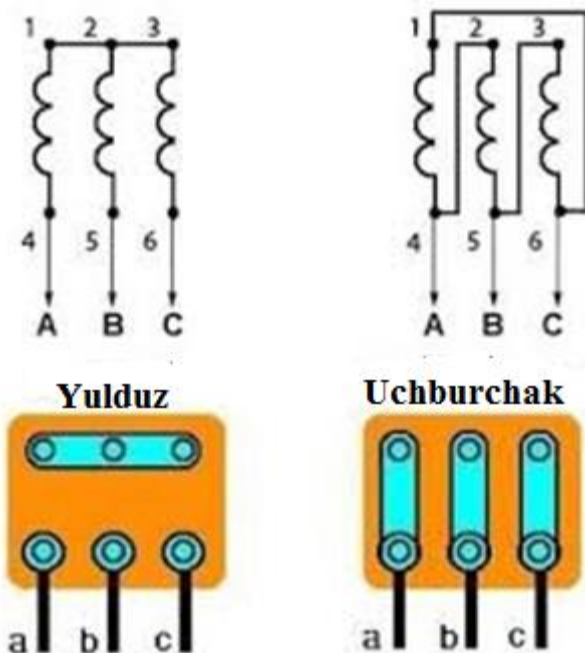




ELEKTR MASHINALARI

OLIY O'QUV YURTLARI UCHUN

DARSLIK



BBK 31.261
K 65
UDK 621.313(075.8)

Elektr mashinalari. Darslik. Shaymatov B.X, Xafizov I.I, Xolmurodov M.B, Sattorov T.A- Buxoro: 2020 -517 bet.

Taqrizchilar: Sadullaev N.N.- BuxMTI, “Energetika” fakulteti dekani, t.f.d.prof.
Taslimov A.D.-TDTU “Elektr ta’minoti” kafedrası professori : t.f.d.
prof.

Ushbu darslik Oliy o’quv yurtlarining «Elektr energetikasi» va «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi, elektr texnologiyalari» ta’lim yo’nalish talabari uchun mo’ljallangan. Shuningdek, muhandis energetik va elektr mexaniklar hamda elektr mashinalarini ekspluatatsiyasi va loyihasi bilan shug’ullanuvchilar uchun ham foydalidir. «Elektr mashinalari» fanidan darslik o’quv va ishchi o’quv dasturiga mos holda tayyorlangan bo’lib, unda elektr mashinalarining elektromexanik energiya o’zgarishlari, ularning tavsiflari hamda turg’un va o’tish ish rejimlari nazariyasi ko’rib chiqilgan. Elektr mashinalar nazariyasi differensial tenglamalar asosida tushintiriladi. Elektr mashinalarining zamonaviy kompleks hisoblash usullari, vektor diagrammalari va almashtirish sxemalarining o’rganish nazariyasi keltirilgan.

"Elektr mashinalari" darsligi qo’lyozmasini ko’rib chiqib, darslikni ta’lim jarayonida qo’llanishdagi sifatini yaxshilashga o’zlarining maslahatlarini bergan t.f.d, prof N. B. Pirmatov, TDTU “Elektr ta’minoti” kafedrası professori t.f.d. prof. A.D.Taslimov, “Elektr mashinalari” kafedrası mudiri t.f.d. prof. O.Z.Toirov va BuxMTI, “Energetika” fakulteti dekani, t.f.d.prof. N.N.Sadullaevlarga mualliflar o’z minnatdorchiliklarini bildiradilar.

Этот учебник предназначен для студентов высших учебных заведений по специальностям «Электроэнергетика» и «Электротехника, Электромеханика, Электротехника». Это также полезно для инженеров в области электрической и механической механики, а также для эксплуатации и проектирования электрических машин. Учебник разработан в соответствии с учебным планом и рабочим учебным планом, в котором рассматриваются электромеханические изменения электрических машин, их характеристики, а также теория устойчивых и переходных режимов работы. Теория электрических машин объясняется дифференциальными уравнениями. Теория изучения современных комплексных методов расчета электрических машин, векторных диаграмм и схем замещения.

Авторы выражают свою благодарность профессору кафедры «Электрические машины» ТГТУ, Пирматову Н.Б., профессору кафедры «Электроснабжение» ТГТУ, Таслимову А.Д., профессору и заведующему кафедрой «Электрические машины», О.З. Тоирову, декану факультета «Энергетика» БухИТИ, д.т.н. проф. Н.Н. Садуллаеву за ознакомление с

рукописью учебника «Электрические машины» и давшие свои советы по повышению качества учебника для применения его в учебном процессе.

This course is intended for students of higher educational institutions in the field of "Electrical Power Engineering" and "Electrical Engineering, Electrical Mechanics, Electrical Technology". It is also useful for engineers in electrical and mechanical mechanics, as well as for the operation and design of electric machines. The textbook is designed in accordance with the curriculum and work curriculum, which discusses the electromechanical changes in electric machines, their characteristics, and the theory of stable and transient modes of operation. The theory of electric machines is explained by differential equations. The theory of study of modern complex methods of calculation of electric machines, vector diagrams and substitution circuits.

The authors express their gratitude to the professor of the Department of Electrical Machines of TSTU, Pirmatov NB, professor of the Department of Power Supply of TSTU, Taslimov A.D., Professor and Head of the Department of Electrical Machines, O.Z. Toirov, Dean of the Faculty "Energy" of BukhITI, Doctor of Technical Sciences prof. N.N. Sadullaev for familiarization with the manuscript of the textbook "Electric Machines" and for giving his advice on improving the quality of the textbook for its application in the educational process.

KIRISH.

Xalq xo'jaligi sohalarining yuqori texnik darajada rivojlanishini ko'rsatuvchi elektrotexnika sanoati va uning asosiy bug'ini bo'lmish elektromashinasozlik sohalariga katta e'tibor berilgan. Elektromashinasozlik jarayonining rivoji elektrotexnik mashinalari sohasida qo'lga kiritilgan yutuqlarga bog'liq. Elektromexanik jarayonlarning energiyaga aylanishini chuqur tushunish faqatgina muxandis-elektromexaniklar uchun emas, balki elektrik mashinalar yaratuvchi va sohasi elektromexanika bilan ekspluatatsiya ishlarini amalga oshiruvchi kasb egalari uchun ham zarurdir.

Ushbu darslik ilgari chiqqan darsliklardan quyidagi jihatlari bilan farq qiladi. Alohida turdagi elektr mashina nazariyalari 1-navbatda differensial tenglamalar bilan boshlangan bo'lib mashinalarning tuzilishi ishlash prinsipi, rejimlari, vektor diagramma va aylana diagramma sxemalari bilan berilgan.

Keyingi 10 yilda EHM rivojlanishi va qo'llanilishi natijasida elektr mashinalari nazariyasi rivojlanmoqda va umumiy kursda elektrolit mashinalarning matematik hisoblarini kiritish imkoniyati paydo bo'lmoqda. Avtor ushbu holdan foydalangan holda yaratilgan keng miqdorda matematikadan foydalanish umumiy kursni chuqur o'rganish shuningdek "Elektr mashinalarini loyihalash" avtomatika qurilmalarini elektr mashinalari va boshqa ko'plab fanlarni chuqur matematik hisoblar bilan o'rganish imkonini beradi.

Elektr mashinalarini nazariyalari energiyaning elektromexanik harakatga aylanishi va berilgan mashinalar tenglamalari bilan boshlangan.

Keyingi 10 yillikda konstruktiv o'zgargan elektr mashinalari liniyalı motor, bir necha bosqichli mashinalar, suyuq va gaz rotorli va boshqalar. Muxandis-elektromexanik har qanday energiyanı elektromexanikaga aylantiruvchi, elektr mashinalarini yarata bilishi kerak. Shu sababli umumiy asoslar faqatgina maxsus kurslarda emas balki elektr mashinalari kursida ham o'qitilishi zarur.

Kitob "Elektromexanikaga kirish" bobi bilan boshlanadi. Unda elektromexanika qonunlari elektr mashinalar klassifikatsiyasi va asosiy konstruktiv tuzilmalari, elektr mashinalari asosiy tiplari ko'rsatilgan. Bu bo'limda odatda o'zgaruvchan tokli mashinaning umumiy savollari bo'limida keltiriluvchi ma'lumotlar keltirilgan.

Elektr mashinalari nazariyasi va konstruksiyasiga bag'ishlangan bobda ularning ishlatish usullari, foydalanishi berilgan bo'lib har bir bobning oxirida esa elektr mashinalari konstruktiv tuzilishi haqida ma'lumot berilgan. Misol uchun: "Transformatorlar" bo'limida yuqori o'tkazuvchanlikka ega induktiv to'plagichlar "Doimiy tokli mashinalar" bo'limida ventil motorlar haqida ma'lumot berilgan.

I-BOB

ELEKTROMEXANIKA KURSIGA KIRISH.

1.1 Elektromexanika va ijtimoiy rivoj.

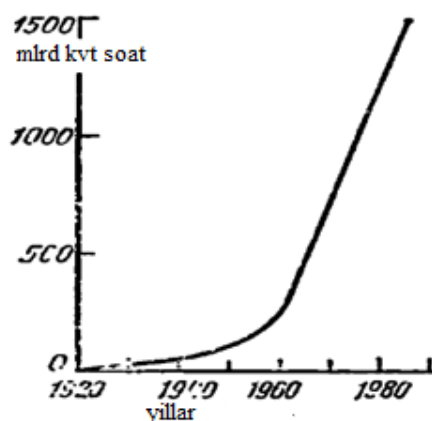
Jamiyatda moddiy madaniyatning rivoj topgani 1-navbatda energiya manbalarini yuritilganligi va ulardan foydalanishiga qarab belgilanadi. Buning qo'llanishi, oxirgi yillarda elektr energiyadan foydalanish sanoatda texnik to'ntarishga olib keldi va ijtimoiy munosabatlar rivojiga katta hissa qo'shdi.

Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda 1 kishiga o'rtacha 10 kVt barcha energiya turlari kiradi. Bu taxminan asosiy kuch muskul kuchi bo'lgan 200 yildan oldingiga nisbatan 100 marta ko'pdir.

Oxirgi yillarda esa elektr energiyasini turli sohalarda qo'llash, ishlab chiqarish rivojlangan mamlakatlarda 1000 martagacha oshdi. Deyarli barcha elektr energiyasini elektr mashinalarining (ximiyaviy manbalarga juda oz miqdorda energiya mos keladi) generator rejimi, motor rejimlarida ishlab elektr energiyasini mexanik energiyasiga aylantiradi.

1-shahar elektr stansiyalari XX asrning oxirlarida paydo bo'ldi. Hozirgi vaqtda yer yuzasidagi elektr stansiyalari quvvati 2700 mln kVtni tashkil etadi. Elektr energiyasini ishlab chiqarish yiliga 12000 mln kVt teng. Agar elektr energiyasini shu darajada o'sishda davom etaversa 50 yildan so'ng ishlab chiqarayotgan elektr energiyasi yerning quyoshdan olayotgan energiyasining 0.1 % ni tashkil etadi. Elektr energiyasini ishchi global bo'lim atrof muhitga o'z tasirini ko'rsatadi.

1.1-rasmda oxirgi 70 yilda elektr energiyasining yutrimizda qanchaga oshgani ko'rish mumkin. Elektr energiyasini ishlab chiqarish 1000 marta ortdi. Ayniqsa elektr energiyasini ishlab chiqarish oxirgi 20-30 yilda keng rivojlandi. Podsho Rossiyasidan bizning davlatga bir nechta quvvati 1000 MVtga ega stansiyalar qoldi. 1920 yilda V. I. Lenin tashabbusi bilan II sezdda Rossiyani elektrlashtirish GOELRO rejasi qabul qilindi. Ushbu reja buyicha 10-15 yil ichida 20 ta issiqlik, 10 ta quvvati 1750 MVt ga teng bo'lgan gidravlik stansiyalar qurildi. GOELRO rejasi muddatdan ilgari 1935-yil bajarildi. Volga va Dnepr daryolarida kaskadli stansiyalar qurildi. 1985-yili sobiq ittifoq davrida 1.3 trln.KVt energiya ishlab chiqarish oxirgi 12 ta besh yillikda deyarli 2 marta oshirish ko'zda tutildi.



1.1 –rasm.

Elektrotexnika sanoati elektr mashinalar qurilmalari va xalq xo'jaligining boshqa sohalarini elektr energiyasi bilan taminlay olishi kerak. Elektr energiyani uzatish, taqsimlash va foydalanish uchun har bir o'rnatilgan quvvatga 5-6 ta transformator yoki elektr motorlar o'rnatish kerak bo'ladi. Oktyabr inqilobiga qadar Rossiya hududi bor yo'g'i sanoqli katta bo'lmagan zavod bor edi. Bugungi kunda ushbu sohada 500 dan ziyod yirik zavodlar, ilmiy ishlab chiqarish birlashmalari mavjud. Xalqaro nufuzga ega bo'lgan ilmiy ishlab chiqarish birlashmasi bo'lmish "Energo pech" zavodi (Leningrad), Vladimir Ilich nomidagi zavod (Moskva), Kirov nomidagi "Dinamo" zavodi (Moskva shahri), Zaparoj transformator zavodi (Zaparoj shahri), "Ural elektr og'ir energo mash" zavodi (Sverdlov), "Elektr og'ir energo mash" va boshqa zavod birlashmalari kiradi. [7]

Elektro texnika sanoati har yili xalq xo'jaligining turli sohaları uchun 10 millionlab elektr mashinalari ishlab chiqaradi. Elektr mashinasozlik kompleksiz ilmiy sistemalar rivojlana olmaydi. Elektr mashinalar kosmosda, chuqur yer osti, okeanlarda atom reaktorlarida, tibbiyot kabinetlarida qo'llaniladi. Elektromexanika ko'plab sohalarning rivojlanganlik darajasini ko'rsatuvchi omil bo'lib hisoblanadi.

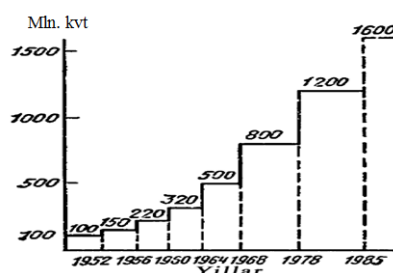
Elektr energiyasini keng miqyosda ishlab chiqarish faqatgina issiqlik va gidravlik stansiyalar o'rnatilgan turbo va gidrogeneratorlarning quvvatini oshirish yo'li bilan amalga oshiriladi. IESlar quvvati 4.8 mln.KVt atrofida bo'lsa Respublika eng yirik Sayana-Shushinskiy zavod quvvati 6.6 mnl.kVtni tashkil etadi. 1980-yili sobiq ittifoqdagi o'rnatilgan elektrostansiyalar quvvati 250 mln.kVtdan oshib ketdi.[14]

IES va AES larda generator sifatida tez aylanuvchi elektr mashinalari turbo generatorlari qo'llanilib, ularning aylanish tezligi 3000 va 1500 ayl/min ega. Hidroelektr stansiyalarida esa sekin aylanuvchi gidrogeneratorlar qo'llaniladi.

1.2-rasmda turbogeneratorlarning oxirgi yillarda quvvati oshishi ko'rsatilgan.

Oxirgi 30 yil ichida muxandis elektriklar harakati bilan turbogeneratorlar o'lchamini o'zgartirmay turib quvvatini 10 martagacha oshirishga erishildi. Turbogeneratorlar quvvatini birinchi navbatda sovitish tizimini yaxshilash yo'li bilan amalga ishirdi. Birinchi navbatta sovituvchi sifatida havo keyin vodorod, oxirgi yillarda esa ichki qismlarini sovitish suv yoki vodorod yordamida amalga oshirilmoqda.

Hozirgi vaqtda asosiy rusumli turbogeneratorlar quvvati 500 va 800 MVt qilib ishlab chiqarilmoqda.



1.2-rasm



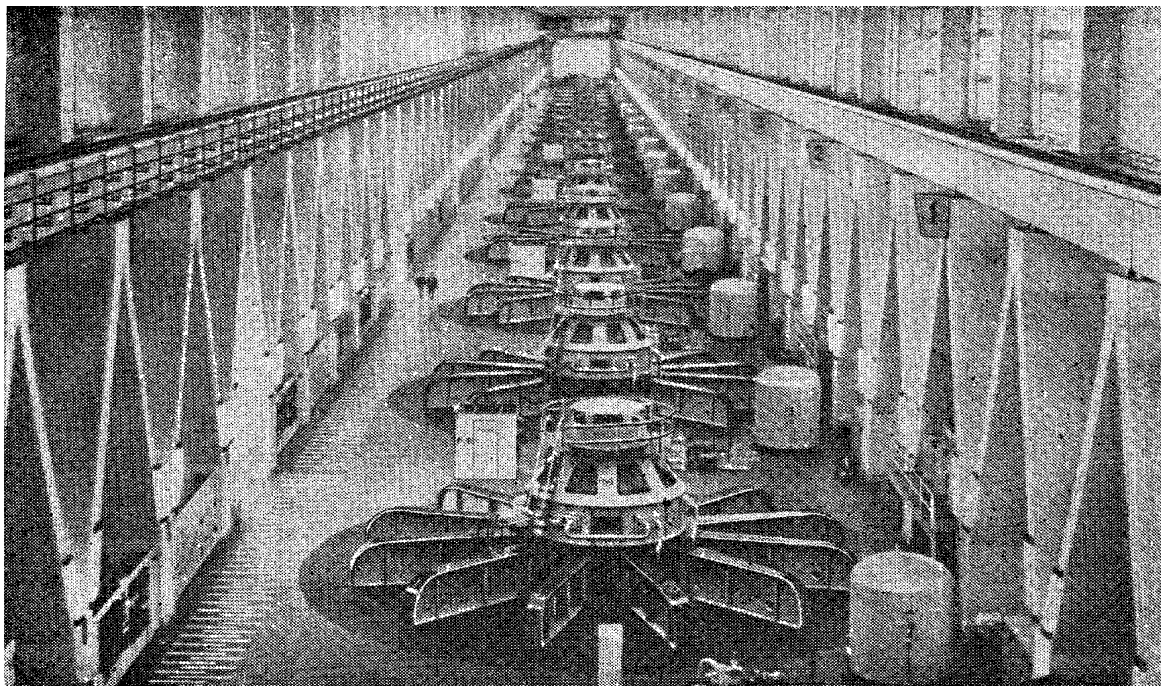
1.3-rasm

Kostromadagi IESda quvvati 1200 MVt (1.3-rasm) ga teng bo'lgan turbogenerator ishlaydi. Atom elektr stansiyalari uchun quvvati 1000 aylanishi chastotasi esa 1500 va 3000 ayl/min va quvvati 1600 MVt.1500 ayl/min.li generatorlar ishlab chiqarildi. Ushbu motorlar inson tomonidan yaratilgan eng qudratli va iqtosodiy tejamkor generator hisoblanadi. Quvvati 1200 MVt li turbogeneratorning F.I.K 99.2 % material sarfi esa 0,5 kg/kVt.

Turbogeneratorlarning quvvatini zahiraviy oshirish uchun 4 K xaroratga yaqin bo'lgan haroratda ishlaydigan yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qotishmalarni qo'llashga erishilmoqda. Yuqori o'tkazgichalarni qo'llash orqali elektr mashinalarning quvvatini 2-3 mln kVt ga oshirish imkonini beradi. Hozirgi vaqtda esa quvvati 20 MVt.li aylanish chastotasi 3000 ayl/min.ga ega bo'lgan krioturbogenerator yaratilgan bo'lib, uning quvvatini oshirish bo'yicha ishlar olib borildi [9].

Sayana-Shushenskoy gidroelektr stansiyasidagi gidrogenerator 712 MV.A quvvatga ega. Bu dunyodagi eng yirik gidrogeneratorlardan biridir. Uning F.I.K 98.4 %, $\cos\varphi=0.9$ ga aylanish chastotasi 142.8 ayl/min.ga teng. Gidrogeneratorning massasi 1790 t. 1967 yildan Krosnayarskiy GES 590 MV.A li generatorlari muvafaqqiyatli ekspluatatsiya qilindi. Bir necha yil davomida IES qurilishi va qayta tamirlash ishlarini amalga oshirildi. Chorak asrdiki Volga, Ust-Ilmskoy GES lari yordamida arzon elektr energiyasi ishlab chiqarildi.(1-4 rasm).

Elektr energiyasini uzatish va tarqatish uchun transformatorlar, avtotransformtorlar va reaktorlar kerak bo'ladi. Sobiq ittifoq elektrotexniklarining erishgan yutuqlari asosida katta quvvatga ega elektr (1150 kV o'zgaruvchan va 1500 kV o'zgarmas) tokni uzoq masofaga uzatish yo'lga qo'yilgan.



1.4-rasm. Bratskoy GESning mashina zali

Hozirgi vaqtda quvvati 1000 MVt.li shuningdek sharqiy Sibir uchun o'ta yuqori quvvatli GES loyihalashtirildi.

Sobiq ittifoq davrida AODST-6670000/1150/500 turdagi dunyodagi eng kuchli avtotransformatorlar ishlay boshladi. Uning nominal quvvati 667000 kV.A, massasi esa 580 tonnaga tengdir. Transformatorlar noyob qurilmalar bo'lib elektrostansiyalarda 800 va 1000 MVt li turbogeneratorlar bilan birga ishlaydi.

Transformator zavodi reaktorlar va maxsus transformator podstansiyalar, ishonchli ish jarayonini ta'minlovchi qurilmalar ishlab chiqaradi.

IES larda ishlab chiqarilgan elektr energiyasining 2/3 qismi turli xil elektr uzatgichlar yordamida mexanik energiyaga aylantiriladi.

Doimiy o'zgaruvchan tokda ishlovchi elektr motorlari tok kuchi qarshilikka asoslanib quriladi. Ularning sutkalik aylanishi chastotasi 500000 ayl/min. ga tenglashadi.

Shuningdek aylanish chastotasi 1-1000 va undan yuqori bo'lgan absolyut nol va 600 K. haroratda ishlaydigan motorlar ishlab chiqariladi.

Elektromotorlarni yaratishda elektromexaniklar oldiga quyilgan barcha muammolarni hal qila oladilar. XX asr yillik elektro texnika sanoati portlashga chidamli elektr motorlar yaratgan bo'lib, bu narsa ko'mir qazib chiqarishni 1,5-2 barobar oshirdi. Karerli va qadamli ekskavatorlar uchun maxsus elektr motorlar kon ishlab chiqarilgan neft sanoati uchun esa 90⁰ C li haroratda ishlovchi elektr motorlar va issiqlikka chidamli elektrdivigatellar ishlab chiqarilgan. Elektromexaniklarning sayi-harakati bilan agrosanoat komplekslari ishini taminlovchi turli xil elektr motorlar ishlab chiqarilmoqda. Xo'jalik ishlari uchunko'p miqdorda turli xil elektr motorlar ishlab chiqarilayotgan bo'lib, ular muzlatgich, chang yutgich, kir yuvgich, meditsinada va boshqa mashinalarda

ishlatilmoqda. Asosiy e'tibor dengiz va kosmik texnik elektr mashinalariga qaratilmoqda. Harakatlanuvchi mashinalarda ishlayotgan elektr mashinalari ko'p miqdorda ishlab chiqarilmoqda. Bu mashinalar yuqori F.I.K ga ega bo'lishi kerak. Elektr mashinalarda shuningdek tezlik datchiklari, holat datchiklarida qo'llanilmoqda. Har qanday buyurtmachi uchun alohida mashinalar qurib bo'lmaydi albatta. Bizning davlatimizda sanoat miqyosida rusumli ravishda 4A asinxron mashinalar ishlab chiqariladi. Ushbu rusumga 0.06 dan 400 kVt. ga teng keladigan 17 xil standartdagi mashinalar kiradi. Bitta rusum asosida turli xillarga ega motorlar ishlab chiqariladi. Ko'p miqdorda sinxron mashinalar, domiy tokda ishlovchi mashinalar, mikromashinalar va transformatorlar ishlab chiqariladi.

Mashinalarni rusumli ishlab chiqarish uning alohida bug'im qismlarini modifikatsiya qilish imkonini beradi. 1984-yildan boshlab asinxron motorlarning yangi rusumi AI (asinxron interelektro) ishlab chiqarilmoqda. U ko'plab ko'rsatgichlari bilan 4A seriadan ustun turadi. Ya'ni energetik va massa o'lchamlari jihatdan ustun turadi. Elektrotexnik mashinalari rusumi 8-10 yillar davomida o'zgarib yangilanib turiladi.

Nazariy va amaliy jihatdan elektr mashinalar sohasida ko'plab yutuqlarga erishilmoqda. Lekin shuni ham unutmaslik kerakki, barcha asosiy ishlar amalga oshirilgan bo'lib endi faqatgina o'zimizdan oldigi muxandislar ishini yaxshilashimiz kerak. hozirgi vaqtda elektro mexaniklar oldida murakkab, qiziq muammolar turibdi. Ushbu muammolari hal qilish uchun yuksak bilim va malaka kerak bo'ladi. Elektromexanikada asosiy muammolardan biri nostandart energiya manbalari uchun mo'ljallangan elektr mashinalarini yaratish hisoblanadi. Hozirgi kunda o'rtacha 80 % elektr energiya organik moddalarni yoqish orqali ishlaydigan IES lardan olinadi. Neft, gaz, ko'mir zahirolari chegaralangan bo'lib yaqin yillar ichida davlat yonilg'i balansida organik moddalar ulishini qisqartirish kerak bo'ladi. Energiyaning elektromexanik energiyaga aylanishi yaqin kelajakda nostandar energiyaga asoslanishi, elektromexaniklarning asosiy vazifasidir. Hozirgacha induktiv elektr mashinalari (elektr energiyani o'zgarishi magnit maydon yordamida amalga oshiriladi) ko'plab qo'llanilmoqda.

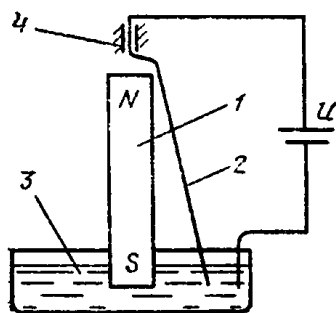
Elektromexanikaning rivojlanishi davomida kelajakda yangi mashinalar yaratishga qattiq iqtisodiy talabkorlik asosida olib borilishi lozim. Yuqori tejamkorlik kam metall sarfi yuqori ko'rsatgichlarga ega elektr mashinalar yaratish asosiy muammolardan biri bo'lib hisoblanadi. Elektromexaniklar oldida shuningdek energetik ko'rsatgichi yuqori, ishonchli, chiqindisiz, shovqinsiz, samarali mashinalarni yaratish bo'lib hisoblanmoqda.

Nazorat savollari.

1. Elektromexanikani ijtimoiy hayotdagi o'rni qanday?
2. Elektromexnikani rivojlanish bosqichlarini ayting?
3. Elektromexanikani rivojini qaysi ko'rsatkichlarda ko'rishimiz mumkin?

1.2 Elektr mashinalarni qisqacha rivojlanish tarixi.

Har qanday sohani yaxshi tushinish uchun uning rivojlanish tarixini bilish lozim. Elektr mashinalarining rivojlanish tarixi o'ziga xos diqqatga sazovordir. Hammamiz bilamizki elektr mashinalari tarixi 1821-yil M. Faradey kashfiyotidan boshlangan (1.5-rasm). U doimiy magnit 1 va 2, uning atrofida aylanib turuvchi tokli o'tkazgich (simob) kontakt idishi 3 va 4-yuqori tayanchdan iborat. Faradey motorida doimiy tok magnit maydoni ta'sirida hosil bo'lgan elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirib bergan.



1.5- rasm. M.Faradey motori.

Faradey kashfiyoti tasoddif emas edi. Ko'plab fiziklar tomonidan tayyorlangan edi. 1799-yilda Italayan olimi Volt elektrokimyoviy generator (rux va mis disklardan tayyorlangan, ho'llangan kislotali doka bilan ajratilgan disk) ustuni yaratildi.

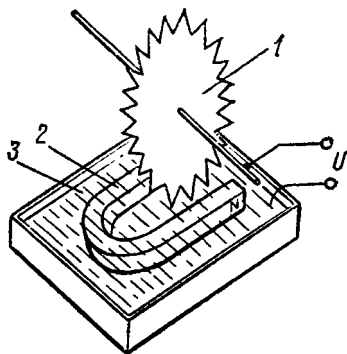
Rus akademigi V. V. Petrov 1802-yilda 4200 mis va rux plastinkalardan quvvati 1700 Vt li, foydali quvvati esa 85 Vt li batareya yaratdi. U 1-bo'lib elektr yoy hodisasini ham tuzdi.

1820-yil fransuz olimi J. Bio va F. Savarman tomonidan tok va magnit qonunlari yaratildi. O'sha yili G. Ersted elektr toki tasirida magnit strelkasining chetlanishi to'g'risida maqola e'lon qildi. F. Arogo esa solinoidni taklif qildi. 1821-yili X. Devi esa harorat materialning o'tkazuvchanlikka tasirini o'rgandi. G. Om (Om qonunini) izlanish natijalarini esa 1827-yili ixtiro qilindi. Elektr bo'yicha birinchi maqola magnit jinslar va katta magnit yer haqida deb nomlangan edi. Bu maqolani ingliz olimi U. Gelbert yozgan edi. Gilbert elektrlanib qolish qobiliyatiga ega jismlarni o'rgangan va fanga elektrlashib qolish atamasini kiritgan.

O. Gereki 1650-yil 1-elektr mashinalarini tasvirlab berdi. Bu mashinaning ishlash prinsipiga asosan oltingugurtli sharcha va inson qo'liga asoslangan edi. Elektr toki bilan ko'p olimlar M. V. Lomonosov, G. V. Rixman, B. Franklinlar shug'ullangan. 1785-yili SH. Kulon elektr zaryadi va magnit qutblarini o'zaro ta'siri haqida qonun yaratdi. Bu vaqtda Rossiyada A. T. Bolotovim, P. Klubnim va boshqa olimlar davolash va psixologik sinovlar uchun mo'ljallangan elektr mashinasini yaratdi.

XIX asrlarda bu mashinalar rivojlanishda davom etdi. Lekin amalyotda induktiv mashinalar keng qo'llanildi. 1823-yili P. Borlou g'ildirak va doimiy

magnitdan iborat elektr motor g'oyasini taklif etdi. Xuddi Faradey mashinasi kabi sirg'anuvchi kontakt simob yordamida yaratilgan bo'lib, bankaga solingan edi va o'tkazgichdan iborat bo'lib nolga ulangan edi(1.5 rasm).

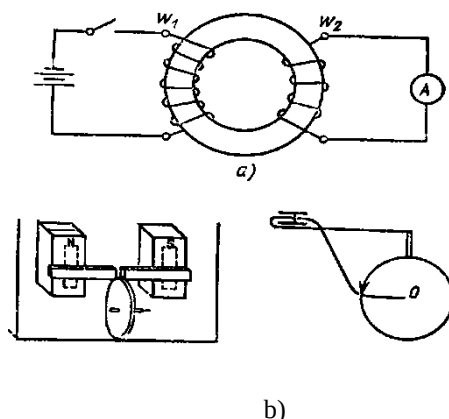


1.6- rasm. Barlou g'ildiragi.

1824-yili F. Arago mis diskni aylantirilganda magnit strelkasi disk aylangan tomonga harakatlanganini kuzatgan. Bu holat elektromagnit induksiya topilgandan keyin o'z isbotini topdi.

1831-yil Faradey minglab sinovlar o'tkazib magnitizmni elektr energiyaga aylanishini isbotladi va elektromagnit induksiya qonuni yaratdi. Faradey o'z tajribalarida induksiyaning 2 turga ajratdi: elektrik induksiya va magneto elektro induksiya yoki magnitoelektirik induksiya. Lekin u keyinchalik ikkala induksiya o'rtasida farq yo'qligini angladi.

Tajribalarning 1-guruhida Faradey induktiv tokning 2 lamchi va 2 lamchi zanjirlarning o'zaro ta'sirlaridan yoki 1 lamchi va 2 lamchi zanjirlarning o'zaro ta'siridan kelib chiqishini aniqladi. Bunda po'lat o'zakdan foydalandi. (1.7, a-rasm). Shuni aytib o'tish joizki ushbu qurilma transformatorning barcha belgilariga ega edi.



1.7- rasm. M.Faradey elektromagnit induksiya hodisasini o'rgangan qurilmaning tuzilishi.

Tajribalarni ikkinchi guruhida induksion tok magnitni yoki g'altakni nisbiy ko'chirish paytida yoki magnit zanjirini qo'shish va ajratish vaqtida paydo bo'ladi. Faradey bu kuzatishlar asosida orasida magnit disk aylanadigan magnit va qutbli diskdan tuzilgan elektromagnit generatorlarni qurish mumkinligini aytgan (1.7.b rasm). Agar bitta cho'tkani diskning chetki qismiga yotqizsak, boshqasini

g'ildirakning o'qiga va zanjirga galvonometrni kiritamiz, shunda diskning aylanish vaqtida elektr toki qayd qilinadi[8].

Nihoyat Faradeyning ishini samarali va asosiy qismida elektromagnit maydon haqida tasavvur hosil bo'ldi, qaysiki u dastlab "materiyaning elektron holatini" qandayligi ko'rsatib berdi. U birinchi marta magnit kuch chiziqlari haqida g'oyalarni kiritdi. Faradey magnit va so'ngra elektr kuch chiziqlarini fizik reallikda qo'shimcha ravishda yozib qo'ydi, og'irlik xususiyatlari bilan bu liniyani tayyorladi, shuningdek bir qancha moddiy muhitlar ya'ni elektromagnit hodisasining hosil bo'lishi va uzatilishi borasida tasavvurlarni shakllantirdi.

Faradey ishlarining davomchisi uning vatandoshi D.K.Maksvell faqat Faradeyning g'oyalarini matematik ifodasini yaratdi. Ammo shu bilan birga o'zining o'tmishdoshining qarashlariga ajoyib sharh berdi:

"Faradeyning ishlarini o'rganishga urinishlarda, men uning metodini, hodisa bo'yicha g'oyalari shuningdek matematik bo'ldim, garchi oddiy matematik simvollar bilan ifodalanmagan bo'lsa ham" Faradey kuch chiziqlarini, barcha bo'shliqni, u yerda matematiklar ko'rgan kuch markazini, ya'ni masofadan tortishishni ko'rgan; Faradey ular masofadan boshqa hech narsani ko'risholmagan joyni ko'rgan; Faradey hodisaning manbai va sababi real harakatlarda, o'rtasidagi oqib o'tishda deb taxmin qilgan, ular qayd etuvchi elektr flyunda bilan ularning masofadan ta'sirlashishini topishdan qoniqishgan.

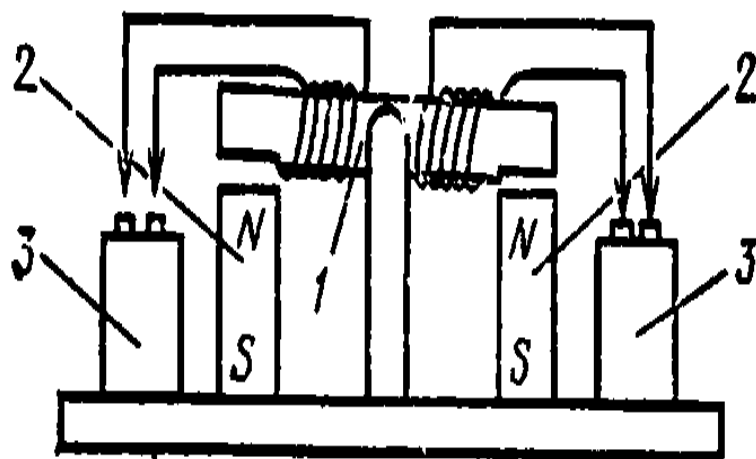
Londonning shaharchasidan temirchining o'g'li, muqovachi, so'ngra kimyo laboratoriyasida laborant M.Faradey elektromexanikada ulkan figura bo'ldi. U 68 ilmiy jamoa va akademiya a'zosi, buyuk olim va kamtar odam, chuqur ilmiy ishlar va ommaviy fanlar muallifi bo'lgan.

1832-yilda E.Lens induktiv tok yo'nalishi haqida qonunni, shuningdek elektr mashinalarining tiklana olish prinsipini shakllantirdi. 1838-yilda E.Lens doimiy tok mashinasini generator va motor rejimida ishlashi mumkinligini tajriba yo'li bilan ko'rsatib berdi.

Bug' mashinalarining yaratilishi elektr mashinalarining konstruksiyasidagi elektromexanikaning rivojlanishining birinchi bosqichida omadli sezilarli ta'sirini ko'rsatdi, qaysiki valning aylanma harakatida porshenning oldinga va orqaga harakati o'zgartirildi. 1831-yilda Amerikalik fizik D.Genri motorning oldinga va orqaga harakatini qo'zg'aluvchan elektromagnit 1 navbati bilan doimiy magnitga tortiladi 2 va undan itariladi, galvanik element batareyasi 3 uziladi va ulanishini taklif qildi (1.8-rasm).

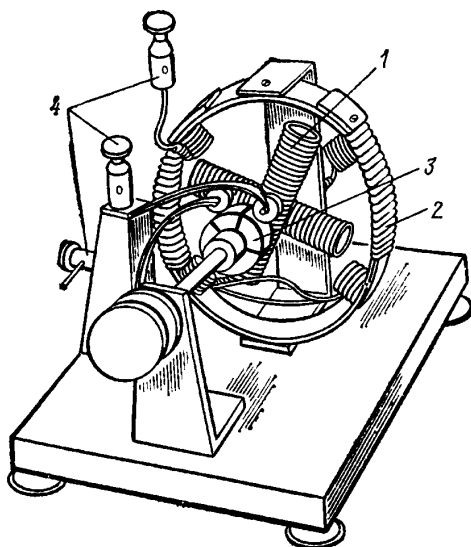
D.Genrining motori 75 ayl/min bajardi va quvvati 0,04 Vt bo'ldi. Navbatdagi urinishda oldinga va orqaga harakatlanadigan elektrmotori yaratildi, ammo navbatdagisi elektr mashinalari uchun aylanma harakat bo'ldi.

1834-yilda Peterburg akademigi B.S Yakobi elektrmagnitni tortilishi va itarilishi hisobiga ishlaydigan eletrmotorini yaratdi.



1.8 –rasm. D.Genrining oldinga va orqaga harakatlanuvchi motori.

B.S.Yakobining motorida ikki xil elektromagnit bo'lgan: biri-aylanuvchi 1, ikkinchisi-qo'zg'almas 2 (1.9-rasm). Qo'zg'aluvchan elektromagnit qutblarini o'zgartirish uchun izolyasion ulamasi bo'lgan xalqalardan tuzilgan kommutatordan 3 foydalanilgan. To'rtqutbli mashinalarda to'rtta misli va to'rtta izolyasion ulamasi bo'lgan. Kontakt xalqa bo'ylab sirpandi va aylanish vaqtida harakatlanuvchi elektromagnit cho'lg'amlarida tokning yo'nalishi o'zgardi. Kuchlanish galvanik elementdan kontaktlar 4 tomon harakatlandi.



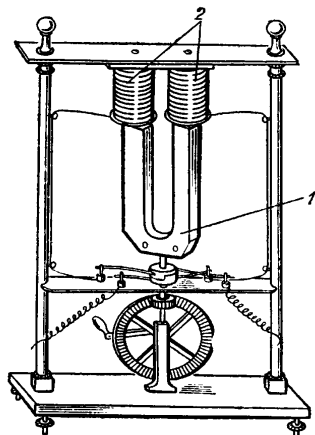
1.9-rasm. B.S.Yakobi motori.

1838 yili B.S. Yakobi ikkita valda ishlaydigan 40 ta elektr motorni birlashtirdi. Galvanik elementlar o'rniga 320 ta elementdan tuzilgan, bu motor kichik qayiqqa o'rnatildi, qaysiki Neva bo'ylab bir necha soat kuchli shamol va qarama-qarshi oqim bo'ylab 12 kishi bilan birga suzdi. Bu elektr mashinalarining birinchi amalda birga ishlashi bo'ldi. Garchi qayiqning elektr harakati atigi 100 yil davomida qo'llanilgan bo'lsada, bu prinsip rivojlana olmadi, B.S.Yakobining ishi elektromexanikaning rivoji uchun katta poydevor bo'ldi [8].

B.S.Yakobining motorini tatbiqi galvanik elektr energiya manbai kuchli elektr motorlarini uzoq vaqt energiya bilan taminlay olmasligini ko'rsatib berdi. Zudlik

bilan elektr energiyaning manbasini yaratish zarur bo'ldi. Ular generator rejimida ishlovchi elektr mashinalari edi.

Ya'na 1832-yilda aka-uka Piksilar Faradey ishlari asosida aylanuvchi doimiy magnit 1 bilan generatorni loyihalashtirdi. Qo'zg'almas g'altakda 2 doimiy magnitning aylanish vaqtida o'zgaruvchan tok hosil bo'ldi (1.10-rasm). Bu birinchi o'zgaruvchan tok generator edi. Ammo o'zgaruvchan tok bu vaqtgacha qo'llanilmagandi va to'g'rilash uchun mexanik kommutatorlar ishlatildi.

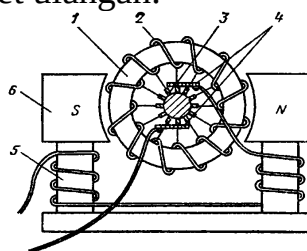


1.10-rasm. Aka-uka Piksilarning generatori.

Ishtiyoq elektr mashinalarining quvvatini oshirdi, doimiy magnitlarning sonini oshishiga olib keldi. Birinchi elektr mashinalari og'ir va beso'naqay bo'lgan. O'tgan asrning 40-60 yillarida fransuz firmasi "Alyans" yakorida 40-50 ta doimiy magnit ketma-ket yoki parallel holda joylashtirilgan o'ntalik g'altakdan iborat o'zgaruvchan tok mashinasini chiqardi. Mashinani asosiy massasi doimiy magnitdan tuzilgan.

V.Simens ketma-ket qo'zg'aluvchi generator uchun mustaqil paydo bo'lish prinsipini tatbiq qilgach, 1867-yildan keyin qo'zg'otish cho'lg'ami yakorga qo'shiladigan mustaqil qo'zg'atuvchi mashinalar paydo bo'ldi. Mustaqil qo'zg'atuvchilar uchun birinchi patentni S.Xiortom 1854-yilda va A.Edlikom 1856-yilda olganlar.

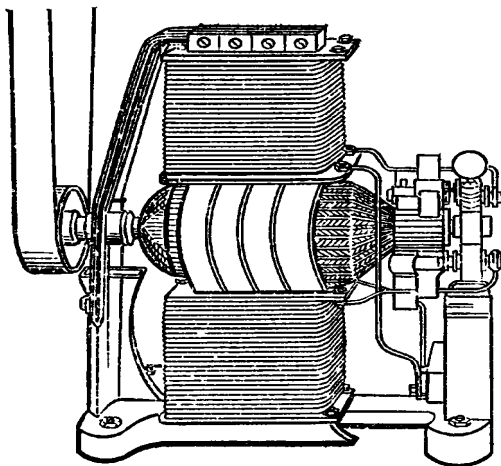
1870-yilda nemis olimi Z.Gramm mustaqil qo'zgaluvchi xalqa yakorli generatorlar uchun patent oldi (1.11- rasm). Xalqasimon yakorga 1 po'lat simlardan o'ralgan, xalqali tutashtirilgan cho'lg'am 2 joylashtirilgan. Simlari kavsharlangan cho'lg'amdan kollektor plastinkalariga 3 chiqadi hamda cho'tka 4 bo'ylab sirpanadi. Staninada qutb poynakli 6 elektromagnit 5 bor. Qo'zg'atish cho'lg'ami yakor va yuklama cho'lg'ami bilan ketma-ket ulangan.



1.11-rasm. Pachinotti-Grammalarning halqasimon cho'lg'amli elektr mashinasi.

Grammagacha 10-yil uchun Italyan Pachinotti halqa cho'lg'amli yakorga patent olgan, ammo u qo'llanilmagan. Xalqasimon yakorni Pachinotti-Gramma yakori deb, taqsimlash cho'lg'amini esa Grammoviyning cho'lg'ami deb atash qabul qilingan. Xalqasimon cho'lg'amning yaratilishi elektr mashinalarining rivoji uchun muhim ahamiyat kasb etdi. Agar M.Faradey motori mazmunan qutbsiz mashina bo'lganda ayni vaqtda chegaraviy qo'llanilgan bo'lardi. B.S.Yakobining motori yakor cho'lg'ami g'altakdan tuzilgan va uzilgan bo'lsa, shunda cho'lg'amning ulanishi barcha zamonaviy mashinalar uchun asos bo'ldi. Cho'lg'amning uzilishi g'altakning o'chishi va yonishiga olib keladi, bu vaqtda qo'shimcha magnit maydonidagi barcha energiya issiqlikka aylanadi. Grammoviyning davriy cho'lg'amida kommutatsiya paytida cho'lg'amlarning bo'limasi bir parallel shoxdan boshqasiga o'tadi, magnit maydon amaliy o'zgarasdan qoladi.

Gramma mashinasining yakor cho'lg'amidagi yakor o'zagi atrofi o'ralgan, foydalanish noqulay bo'lgan, chunki EYUK faqat yakor o'zagining tashqarisida joylashgan qutblardagi shoxlarining qismlarida bo'lardi. 1873-yilda F.Gefner-Altenik va V.Simens zamonaviy o'zgaras tok mashinasidagi asosiy elementlardan iborat baraban yakorli mashina yaratdi (1.12-rasm).

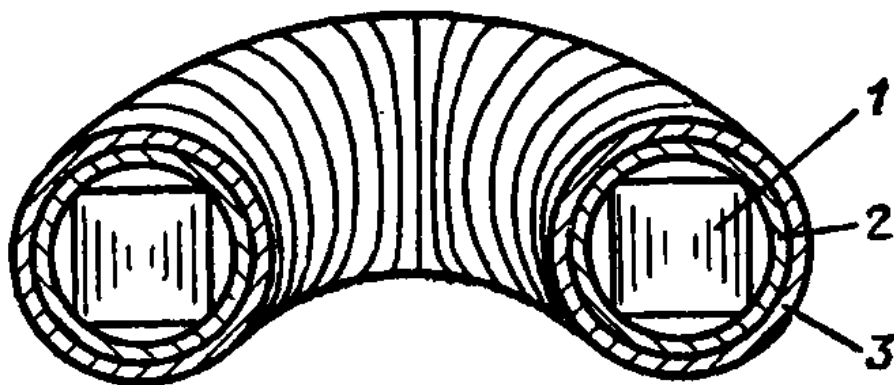


1.12-rasm. Baraban yakorli elektr mashinasi.

1880-yilda T.Edison listlarni bir-biridan izolyasiyalangan temirdan shixta bilan doimiy tok mashinasining yakorini tayyorlashni taklif qildi. Ayni shu yilda sovetishni yaxshilash uchun X.Maksim yakorni paketlarga bo'lishni taklif qildi. 1884-yilda kompensatsiyalovchi cho'lg'amning, 1885-yilda o'zgaras tok mashinalarining kommutatsiyasini yaxshilovchi qo'shimcha qutblarni taklif qilishdi[8].

O'tgan asr 70-yilining oxirlarida elektr energiyasi yoritish uchun qo'llanildi va o'zgaruvchan tokdan ancha vaqtgacha foydalanilmadi. Bir fazali o'zgaruvchan tokning rivojiga katta ta'siri ko'cha va binolarni yoritish uchun chiroqni (1878), Induktor generator (1877) va ajratilgan o'zakli bir fazali taransformatorni (1876) taklif qilgan rus ixtirochisi P.N.Yablochkov ning ishi bo'ldi. Garchi M.Faradey elektromagnit induksiya qonunini yaratgan bo'lsada, B.S.Yakobi va G.Rumkorflar XX asrning 40-50 yillarida induksion g'altaklardan foydalanganlar, ikkita alohida cho'lg'amdan iborat P.N.Yablochkovning yaratgan kuch transformatori elektrotexnikaning rivojida katta ahamiyat kasb etdi.

P.N.Yablochkovning transformatoridagi transformatsiya koeffitsienti 1 ga teng edi. 1882-yilda L.Golyar va E.Gibbs transformatsiya koeffitsienti 1 ga teng bo'lmagan va sudraluvchi o'zak yordamida asosan kuchlanishi boshqariladigan bir fazali transformatorni taklif qilishdi. 1884-yilda Angliyada aka-uka Gopkinsonlar berk o'zakli va yuqori va quyi kuchlanish cho'lg'amlari ketma-ket joylashtirilgan bir fazali transformatorni yaratishdi. 1885-yilda Vengeriyalik elektrotexniklar O.Blati, M.Deri va K.Sipernovskiylar yuqori texnika-tejamkor ko'rsatkichlari bo'lgan halqali, himoyalangan va sterjenli transformatorlarni yaratdi. Ular “transformator” terminini kiritdi. Birinchi transformatorni (1.13-rasm) o'zagi 1 temir o'tkazgichdan tayyorlangan. Kichik kuchlanish cho'lg'ami 2 o'zakka yaqin o'ralgan, uni ustidan esa yuqori kuchlanish cho'lg'ami 3 o'ralgan. Transformatorlarni moyli sovutish D.Svinbergom tomonidan 1880-yilda qo'llanilgan.



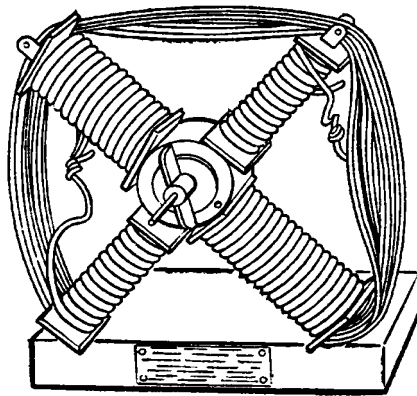
1.13-rasm. O.Blati, M.Deri va K. Sipernovskiylarning transformatori.

O'tgan asrning 70-80-yillarida xotirada qolgan ish qilindi. 1879-yilda V.Simens Berlin ko'rgazmasida birinchi temir tayanchli liniyalarni ko'rsatdi. 1882-yilda M.Depre kuchlanishi 1500-2000 V quvvati 2 kVt li o'zgarmas tokni 57 km masofaga uzatdi.

F.Engels 1883-yilda bu to'g'risida “...bu katta revol Yusiya. Bug' mashinasi bizga issiqlikni mexanik harakatga aylanishini o'rgatdi, ammo elektr energiyasining yaratilishi bizga uni barcha turdagi energiyaga: issiqlikka, mexanik harakatga, elektrga, magnitga, yorug'likga, biridan ikkinchisiga aylantirish ularni sanoatda qo'llash imkonini beruvchi yo'lni ochdi va bu sanoatdagi barcha chegaralarni ochdi, joydagi sharoitlar bilan ta'minladi, shuningdek uzoqdagi suvning energiyasidan foydalanish imkoni berdi, albatta bu ish dastlab faqat shaharlar uchun foydali bo'ldi, lekin oxir oqibat bu shahar va qishloqlar orasidagi qarama-qarshiliklarni bartaraf etish uchun ulkan kuchli richak bilan turdi ” deb yozgan edi.

Bir fazali o'zgaruvchan tok garchi elektr energiyani uzoq masofalarga uzatish imkonini bersada, ishlab chiqarishda o'zgaruvchan tokni qo'llash bo'yicha muammolar hal bo'lmadi. O'zgaruvchan tokning bir fazali motorini ishga tushurish toki yo'q edi, kichik tok ko'rsatkichlariga ega edi va elektr yuritmada qo'llash uchun yaramadi. XX asrning 80-yillarini oxirlarida G.Ferraris va N.Tesla g'altak bilan aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladigan ikki fazali o'zgaruvchan tok mashinasini

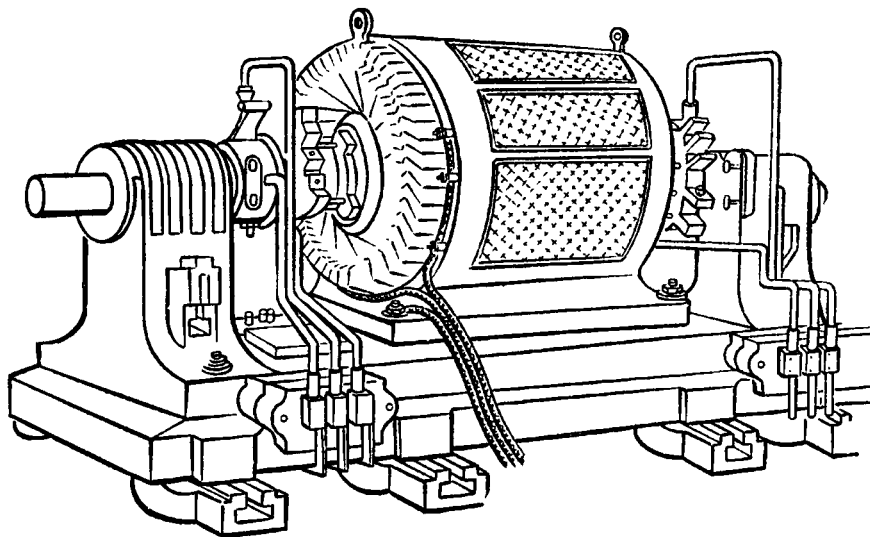
yaratishdi bunda siljish fazoda 90^0 ga, tok va siljish orasidagi fazalar farqi 90^0 ga teng bo'ldi. G.Ferrarisning ikki fazali motorining moduli 1.14-rasmda ko'rsatilgan.



1.14-rasm. Ferrarisning ikki fazali asinxron motorining moduli.

1889-yilda buyuk rus elektrotexniki M.O.Dolivo-Dobrovolskiy o'zgaruvchan tokning uch fazali sistemasini taklif qildi va ayni shu yilda birinchi uch fazali asinxron motorni va transformatorni yasadi.

M.O.Dolivo-Dobrovolskiy uch fazalining manbasi sifatida o'zgarmas tok mashinasidan foydalandi, 120^0 ostida cho'lg'amlardan kavsharlangan simlarni yasadi va ularni uchta halqaga chiqardi. 1889-yilning bahorida birinchi quvvati 180 Vt bo'lgan rotor qisqa tutashgan uch fazali asinxron motor qurildi. So'ngra rotor cho'lg'amlari qisqa tutashtirilgan va faza rotorlarni yanada quvvatli motorni tayyorlash boshlandi (1.15-rasm).



1.15-rasm. M.O.Dolivo-Dobrovolskiyning motorini umumiy ko'rinishi.

1891-yilda uch fazali transformatorlar cho'lgamlari radial joylashtirilgan holda qurildi. M.O.Dolivo-Dobrovolskiy bir tekislikda joylashgan parallel sterjenli uch fazali transformatorlar uchun patent oldi. Hozirgi kunda xuddi shu ko'rinishdagi transformatorlar qo'llanilmoqda.

Allaqachon 1891-yildagi umumjahon elektrotexnika ko'rgazmasida 170 km masofaga 15 kV kuchlanish vaqtida 230 kVA quvvatli uch fazali o'zgaruvchan

tokning uzatilishi ma'lum bo'lgandi. Maksimal uzatishning FIK 75,2 % bo'lgandi. O'tgan asrning 90-yilini boshlaridan o'zgaruvchan tokning uch fazali sistemalari energetikaga kirib keldi.

1899-yilda ilk bor bug' turbinasi quvvati 1 MVt bo'lgan turbogenerator bilan ulandi. Sanoatning barcha tarmoqlarida elektrni tatbiq qilish ishlari boshlandi. Ulkan sinxron va asinxron mashina, transformatorli kuchli elektro stansiya qurildi. Keyinchalik aloxida stansiyalar yagona energosistemaga birlashib 100 million kilovatt quvvatga erishishdi. XX asr sanoatining boshqa tarmoqlari elektr sanoati bilan rivojlandi.

Mashinalarning quvvati 100-1000 baravar oshdi, quvat o'lchovida materiallarning isrofi 10-100 marta kamaydi. Texnikaning turli xil sohalarida ulkan elektr mashinalari nafaqat kuchli o'zgartirgich sifatida balki avtomatikaning aniq navigatorlari va boshqa sistemalari uchun indikator sifatida ham qurildi.

So'nggi o'n yillikning har yilida patent beruvchi tashkilot dunyo bo'ylab avtorlik guvohinoma va "Elektr mashinasi" nomidagi patentlarni topshirdi. Ulkan ixtirolarni bu oqimdan ajratib olish qiyin, chunki murakkab masalalarni yechishga yordam beruvchi noyob elektromexanik sistemalar juda ko'p qurilgan edi. Elektr mashinalari dunyo bo'ylab hayotimizga mustahkam o'rnashdi. Odamlar unga tez ko'nikdi va jamiyat rivojlanish asrida, yutuqlarning hayratlanarli ko'rinishlaridan ajablanmay qo'yishdi. XX-asrning o'rtalarida mashina qurollari va boshqaruv elementlari, magnit kuchaytirgichlar va yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlar bilan elektr mashinalarida o'zgarishlar sodir bo'ldi.

Maxsus mashina sanoati rivojlandi. Kuchaytirgich mashinalar, motorning turli ishlatilishi, oldimlovchi motorlar, impuls generatorlar, MGD-generatorlari va ko'plab noyob elektr mashinalari paydo bo'ldi. Biroq ularning yaratuvchilari uning o'xshashlarini tarixiy izoh sifatida xuddi qoidadek ko'rsatishdi, garchi unchalik o'xshash bo'lmasada o'tgan asrning ixtirochilari, olimlari bo'lgan[8].

Elektr maydonida energiyani elektromexanik o'zgarishlari asosida ishlovchi mashinalar bilan o'z tarixini boshladi, XIX va XX asrda induktiv elektr mashinalari tufayli elektromexanika ulkan yutuqlarga erishdi, qaysiki magnit maydon bilan elektr maydoni hosil qilindi. Bu vaqtga qadar sig'im mashinalarda faqat alohida texnik omadli yechim bo'ldi. 1870- yilda Unimsherst maktablardagi fizika kursida namoyish etgan sirpanish mashinalarini yaratdi. 1936-yilda Van-de-Graf kuchlanishi 6 mln. V va quvvati 6 kVt bo'lgan generatorni qurdi va doimiy yuqori kuchlanish olish uchun sinov o'rnatishlarida qo'llanildi. Buyuk fiziklar A.F.Ioffe, N.D.Papaleksi, L.I.Mandelshtam va boshqalarning urinishlariga qaramasdan xuddi kuchli sig'im o'zgartiruvchi mashinalar kabi amaliy qo'llanma topisha olmadi. Ammo bu hech qanday ahamiyat kasb etmadi, sig'im mashinalarining kelajagi yo'q edi, ular boshqa imkoniyatlarni o'zlariga to'xtatish va elektromexanika rivoji uchun o'zlarining hissalarini qo'shishlari kerak edi.

Elektr mashinalarining yaratilishi bilan bir vaqtda energiyaning o'zgarish elektromexanika nazariyasi ham rivojlandi. XVIII va XIX asrning deyarli barcha buyuk olimlari elektrotexnika rivojiga o'zlarining hissalarini qo'shishdi. Elektr

mashinalarining nazariyasi M.V.Lomonosov, A.Amper, G.Om, D.Djoul, E.Lens, G.Gelmgols va boshqa buyuk fiziklari bilan bog'liq.

Elektromagnit nazariyasining rivojlanishida asosiy xizmat D.K.Maksvellga tegishli, qaysiki "Elektr va magnetizm haqidagi ilmiy asar"da elektromagnit maydonning matematik nazariyasini bayon etgan. Maksvell tenglamasi maydon nazariyasini ta'rifladi va energiya o'zgarishi elektromexanika nazariyasi uchun asos paydo bo'ldi.

Elektr mashinalari nazariyasi uchun professor N.A.Umov va D.Poyitingning ishlari katta ahamiyat kasb etdi.

Elektr mashinalarining loyihasi bo'yicha birinchi nazariy ish deb E.Arnoldning 1891-yilda chiqqan cho'lg'amlarning konstruksiya va nazariyasi bo'yicha ishlarini hisoblash mumkin.

1893-yilda bir fazali motorlar va transformatorlar nazariyasi bo'yicha G.Ferrarisning ishi muhim asos bo'ldi. M.O.Dolivo-Dobrovolskiyning transformatorlarning loyihasi va nazariyasi asoslari, asinxron motorning loyihalash asoslari kabi ishlari muhim asos bo'ldi (1893-yil). O'tgan asrning 90-yillarida transformatorlar nazariyasi bilan G.Kappa, Ben-Eshenburg va boshqalar samarali shug'ullandi.

Asinxron mashinalarning aylanma diagrammasini A.Geyland (1884-yil), yanada aniqrog'ini esa Osanna (1900 -yilda) taklif qildi. Asinxron mashinalarning aylanma diagrammasini mavjud matematik tasdiqlarini K.A.Krug 1907-yilda berdi. Elektr mashinalarining nazariyasining rivojida 1897-yilda I.Shteynmetsomning simvolli metodi va asrimizning 20-yillarida Fortesknining simmetrik tashkil etuvchilar metodining kirib kelishi muhim asos bo'ldi.

Ko'plab olimlarning 30-yillardagi ishlari bilan, birinchi navbatda E.Arnold, A.Blondel, M.Vidmar, L.Dreyfus, K.A.Kruga, B.S.Kulebakin, R.Rixtera, K.I.SHenfera va boshqalar, elektr mashinalarining o'rnatish rejimining klassik nazariyasi yaratildi. Elektr mashinalarining barcha turlari bo'yicha elektr mashinalarining o'rnatish rejimlari nazariyasi ifoda etilgan klassik qo'llanmalar bu vaqtgacha yozib bo'lindi. Elektr mashinalarining rivojiga ikkinchi jahon urushigacha va urushdan keyin sobiq ittifoq olimlari A.I.Voldek, V.T.Kasyanov, M.P.Kostenko, A.N.Larionov, P.A.LYuter, G.N.Petrov, L.M.Piotrovitskiy, P.S.Sergeev, V.A.Tolvinitskiy va boshqalar ulkan xissa qo'shganlar.

Elektr mashinalarining rivojida muhim asr bo'lib G.Kronning umumiy elektr mashinalari bo'yicha 30-40- yillarda qilgan ishlari bo'lib hisoblanadi. G.Kron induktiv mashinalarning barcha ko'rinishlaridan olinishi mumkin bo'lganidan umumiy mashinalarning tenglamasini va modelini taklif qildi. Umumiy xulosa elektr mashinalari nazariyasida G.Kron asosli siljitishlar qildi.

So'nggi o'n yillikning hisoblash mashinalari murakkab sistemadagi differensial tenglamalarni, elektr mashinalarining noxiziqli hisoblari bilan o'rnatish va davriy rejimlari ta'rif, nosinusoidal kuchlanish manbai, analog jarayonida behisob energiya o'zgarishidan oldin stator va rotor hamda boshqa faktorlardagi ko'plab tarmoqlar amallarni yecha oldi.

B.Adkins, G.Vudson, A.A.Gorev, L.N.Gruzov, E.YA,Kazovskiy, I.Kovach, G.N.Petrov, I.Ratsa, I.I.Treshev, D.Uayt kabi ko'plab olimlarning ishlari bilan elektr mashinalarining davriy jarayoni nazariyasi oldinga siljidi.

Elektr mashinalarining rivojlanish tarixi bugungi kunda boshliq I.A.Glebov, I.M.Postnikov, B.B.Romanov, N.S.Siunov, G.A.Sipaylov, V.A.Yakovenko va ko'plab boshqa olimlar bilan minglab ishlab chiqarishlarda, elektromexanikaning ilmiy va o'quv kollektivlarida davom etmoqda.

Nazorat savollari.

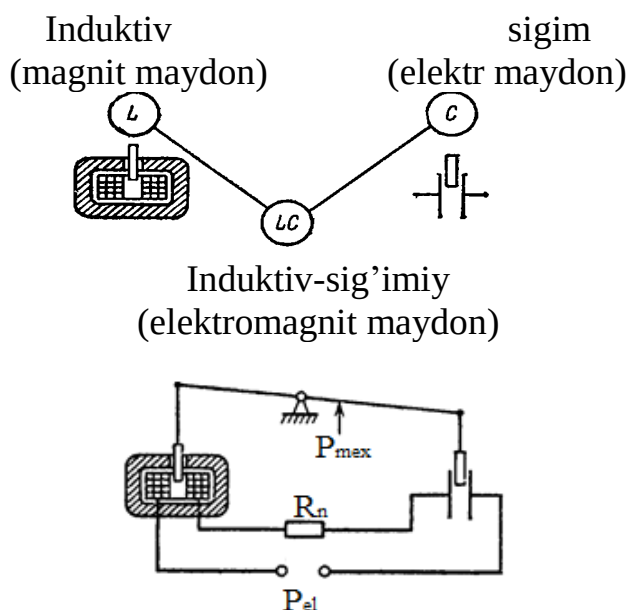
1. Elektr mashina asoschilari kimlar?
2. Elektr mashinalarni rivojlanishiga asos bo'lgan qonunlar qaysilar?
3. Asinxron mashinani qaysi olim loyihalagan?

1.3. Elektr mashinalarining klassifikatsiyasi.

Elektr mashinalari-elektromexanik o'zgartirgichlarni (EMO')-uchta sinfga bo'lish mumkin: magnit maydon bo'lgan ishchi maydon bilan induktiv elektr mashinalar; mavjud elektr maydoni bilan elektr energiyani mexanik va teskari o'zgartirib beruvchi sig'im elektromexanik o'zgartirgichlar; mavjud magnit va elektr maydonlari bilan elektromexanik o'zgartirgichli induktiv-sig'imli elektromexanik o'zgartirgichlar.

Elektr mashinalarining prinsipial sxemasi 1.16-rasmda ko'rsatilgan.

Induktiv EMO' da cho'lg'am (oqim ilashishi) induktivligining o'zgarishi hisobiga, sig'im EMO' larda esa *sig'im* o'zgarishi hisobiga energiyaning elektromexanik o'zgarishi yuz beradi. *Induktiv-sig'imiy* EMO' larda induktiv va sig'im mashinalarning elektr zanjirlarini va harakatlanuvchi qismlarini bitta elektromexanik sistemada oddiy o'zlarining umumiy bo'lishi yuz beradi (1.16-rasm).



1.16-rasm. Elektromexanik o'zgartirgichlarning sinfi.

Garchi EMO'ning elektr ishchi maydonida oldin induktivlik paydo bo'lsada, ular sanoatda tatbiqini xuddi kuch EMO' lardek topa olmadi. Magnitlanish va pezo-elektro effektdan foydalanish vaqtida induktiv-sig'imiyl EMO'larni yaratishda urinishlar qilingan.

Barcha turdagi induktiv mashinalarini manbasiga qarab *o'zgaruvchan* va *o'zgarimas* tok mashinalariga bo'lish mumkin.

O'zgaruvchan tok mashinalari sinxron va asinxron (sinxron emas), o'zgaruvchan tok kollektorli mashinalari va transformatorlarga bo'linadi.

Sinxron mashinalarda rotorning aylanishlar tezligi ω_r va magnit maydonning aylanishlar tezligi ω_s bir-biriga teng .

Asinxron motorlarda rotorning aylanishlar tezligi va magnit maydonning aylanishlar tezligi teng emas: $\omega_r \neq \omega_s$. Bunda ω_r magnit maydonning aylanishlar tezligidan katta yoki kichik bo'lishi mumkin. Rotorning aylanishi va statorda magnit maydonining yo'nalishi qarama-qarshi bo'lishi mumkin.

O'zgaruvchan tok *kollektorli mashinalari* rotor va stator cho'lg'amlari ulangan kollektorning fazalar soni va chastotasini mexanik o'zgartirgichlar borligi bilan sinxron va asinxron mashinalardan farq qiladi.

Transformatorlar esa elektr energiyani elektromagnit o'zgartirgichlaridir. Ularda elektr energiyaning mexanik energiyaga aylanishi va teskari o'zgarishi yuz bermaydi, uning o'rniga esa elektr energiyani bir turdan boshqa turga aylantirib beradi. Transformator shunday vazifani bajaradiki, bunda cho'lg'amlar bir-biri bilan deyarli joyini almashtirishi mumkin emas.

Elektr mashinalari ish rejimiga ko'ra generator va motorlarga bo'linadi.

Generatorlarda mashina valiga uzatiladigan mexanik energiyani elektr energiyaga aylantirib beradi.

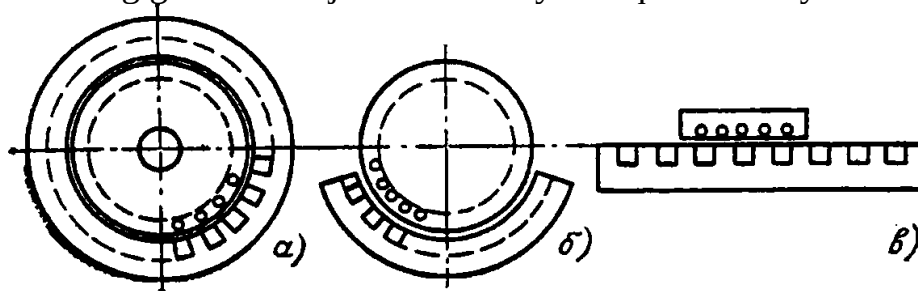
Motorlarda elektr energiyasi mexanik energiyaga aylantiriladi.

Bitta elektr mashinalari ham divigatel, ham generator rejimida ishlashi mumkin. Biroq generator va motorlarda odatda konstruktiv ko'rinishi farq qiladi va bu mashinaning zavod tomonidan o'rnatilgan ustki qismida uning ish rejimi ko'rsatiladi. Sinxron mashinalar reaktiv quvvat tarmog'ida uzatish va iste'molchi rejimida ishlashi mumkin. Bunday turdagi mashinalar *sinxron kompensatorlar* deb ataladi. Elektr mashinalarida qo'zg'almas qismi stator va yagona qo'zg'aluvchi qismi rotor yordamida ishlaydi. Faqat rotorning o'zi aylansa bunda mashina erkinlikning birinchi darajasida bo'ladi. Bunday mashinalar *bir o'lchamli* mashinalar deb ataladi[8].

Elektr mashinalarida elektromagnit maydon rotor va statorda bo'ladi. Agar ikki qismning ham aylanishiga ruxsat berilsa unda ular qarama-qarshi joylashadi. Mashinalarda ikkinchi darajali erkinlikda rotor va stator aylanishi mumkin. Bu *ikki o'lchamli* mashina deyiladi. Harakatlanuvchi qurilmalarda rotor 90° burchak ostida joylashgan ikki tomonga aylanuvchi shar bo'lishi mumkin. Bunday mashinalar uchinchi darajali erkinlikda bo'ladi. Fazoviy elektromexanikada *olti o'lchamli* elektromexanik sistemani hisoblashga to'g'ri keladi, qaysiki rotor va statorlar uchinchi darajali erkinlikda bo'ladi.

Elektr mashinalari oldinga va orqaga harakatlanishi mumkin. Biroq mashinalarda orqaga va oldinga harakat bilan stator va rotor ulanadi va magnit maydon havoli oraliqda maydon xatoligiga chetidan qaytadi. Chiziqli elektr mashinalarida chetki effektning energetika ko'rsatkichlari yomonlashadi. Past energetik ko'rsatkichlar elektr mashinalarini oldinga va orqaga harakatini chegaralaydi.

1.17-rasmdagi *a-v* lardagi silindrsimon stator va rotorli odatiy mashinalardan segmentli stator mashinalar va chiziqli elektr mashinalari olinadi. Chiziqli mashinalar segment mashinalarning rotorini cheksizlikgacha kattalashishi vaqtida olinadi. Chiziqli mashinalarning generator rejimidan amaliyotda qo'llanilmaydi.



1.17-rasm. Mashina o'zgartirgichlar chiziqli mashinalar va segment statorli mashinalarning an'anaviy konstruksiyalari.

Elektr iste'molchilarlar (EI) orasida asosiy o'rinni avtomatik moslamalarning indikator mashinalari egallaydi. Bu alohida datchiklar, burchakli va chiziqli ko'chirishda raqamli axborotlarga o'zgartiriladi, vaqt moslamalari va boshqa harakatlanuvchi sistemaning elektromexanik moslamalari.

Elektr mashinalarining suv ostida, fazoda, yer ostida va oddiy sharoitlarda ishlovchi cheksiz konstruksiyalaridan foydalaniladi. Deyarli barcha induktiv elektr mashinalarida aylanma harakat mavjud, bunga sabab oddiy mashinaning aylanuvchi qismi rotor, stator esa harakatlanmaydigan qismi ekanligidir. Biroq mashinalarning rotorini oldinga-orqaga, tebranma, impulsli harakati va tatbiqi topildi. Mashinalar suyuq va gaz ko'rinishidagi rotorlar bilan qo'llanilmoqda.

Nazorat savollari.

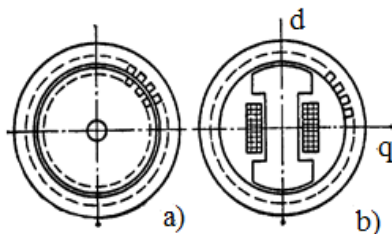
1. Elektromexanik o'zgartirgichlar nechta sinfga bo'linadi va ularni tavsiflang?
2. Transformator ham elektromexanik o'zgartirgichmi?
3. Elektr motorlar necha xil ish rejimida ishlaydi?

1.4. Elektr mashinalarining asosiy konstruktiv ijrosi

Manbaning turidan qat'iy nazar doimiy yoki o'zgaruvchan tok elektr mashinalarini *ayon qutbli* va *ayon bo'lmagan qutbli* turlarga bo'lish mumkin. Ayon bo'lmagan qutbli mashinalarda shuningdek ayon bo'lmagan qutblilarda tor tirqish bir xil va magnit qarshiliklar barcha yo'nalishlarda bir xildir (1.18, a-rasm). Qo'zg'atish cho'lg'ami turli xil ariqchasimon o'yi bo'yicha tarqaladi.

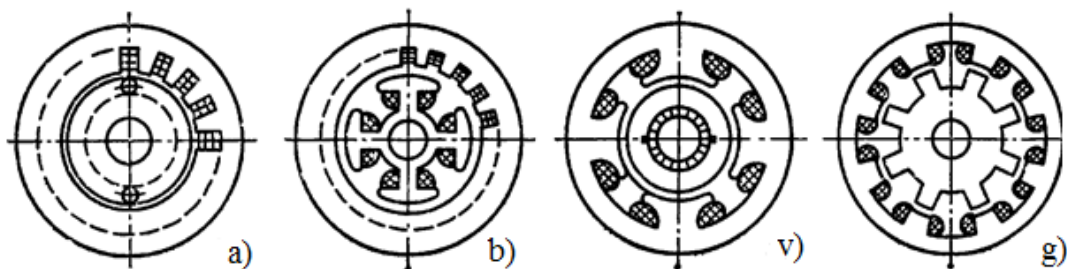
Bir nuqtaga qaratilgan qo'zg'atish cho'lg'amli va ayon qutbli mashinalarda turli havo oraliqlar va magnit qarshilikli bo'ylama va ko'ndalang o'qlar aniq ifodasi

bo'ladi (1.18-rasm, b). Qo'zg'atish cho'lg'aming bir nuqtaga qaratilgan g'alagini stator yoki rotor ustiga joylashtirish mumkin.



1.18-rasm. Ayon bo'lmagan (a) va ayon (b) qutbli mashinalar.

Juda ko'p tarqalish ayon bo'lmagan (1.19-rasm, a) va ayon (1.19-rasm, v) qutbli elektr mashinalar egallaydi. Asinxron mashinalar—bu ayon bo'lmagan qutbli mashinalarning qismi. Sinxron mashinalar rotorda ayon qutbli magnit sistemasi bo'lishi mumkin. Statoragi ayon qutbli magnit sistemalar doimiy tok mashinalari uchun xarakterlanadi (1.19-rasm, v). Stator va yakordagi qutblarning ayon ifoda konstruksiyalari tor tirqish magnit qarshiligining davriy o'zgarishlari uchun energiyani o'zgarishi vujudga keladigan induktor yoki parametrik mashinalarga tegishlidir (1.19-rasm, g).



1.19-rasm. Elektr mashinalarining asosiy konstruktiv ijrosi.

1.20-rasmda 4A rusumli asinxron motorning bo'laklarga ajratilgan holati ko'rsatilgan. Motorning stator va yakori ayon bo'lmagan qutblidir. Statorning magnit o'tkazgichi o'yiqli bo'lgan va elektro texnik po'lat listlardan yig'iladi qaysiki cho'lg'amlar taxlanadi. Rotor shuningdek shixtali. Statorning o'yiqlarida qisqa tutashtirilgan yoki faza cho'lg'amlar o'rnatiladi.

Agar stator bo'ylab o'zgaruvchan oqim va massivlik bilan berilsa, agar magnit o'tkazgich bo'ylab doimiy oqim berilsa magnit o'tkazgich shixtali bajariladi.

Sinxron mashinalarning rotoriga doimiy tok beriladi, shu sababli turbogeneratorning rotori quyma qilinadi, qo'zg'atish cho'lg'ami esa rotor bochkasidagi o'yiqlarga tahliladi.

O'zgaras tok mashinalarida (1.21-rasm) quyma (yoki shixtali) po'lat magnit o'tkazgich bilan bir vaqtda bo'ladi. Asosiy qutb 2 qo'zg'atish cho'lg'ami 3 bilan, ikkinchi qutb cho'lg'am 4 bilan stanokga mahkamlanadi. O'zgaras tok mashinasining yakori 5 qo'zg'almas maydonda aylanadi, shu sababli yakorning magnit o'tkazgich po'lati qayta magnitlanadi. Yakor cho'lg'ami 6 kollektorga 7 ulanadi. Kollektor bo'ylab cho'tkalarni ushlab turuvchiga o'rnatigan cho'tkalar 8 sirpanadi. Qolgan belgilar: 9-ventilyator, 10-podshipnikli himoya, 11-val.



1.20-rasm. 4A rusumli asinxron motor.

Odatda rotor stator ichida joylashadi. Ba’zida slindrli statorning tashqarisida joylashadi. Bunday mashinalar *tashqi rotorli mashinalar* deb ataladi. Tashqi rotorli mashinalar yuqori inersiya momentiga ega, ulardan qayerda inersiya momenti katta bo’lgan joylarda va transporter yuritmalarida foydalaniladi. Doimiy tok mashinalarining bir qancha tadbirlarida qo’zg’atish cho’lg’ami aylanishi bilan bo’lishi mumkin, sinxron mashinalarda esa qo’zg’almas qo’zg’atish cho’lg’ami bilan. Bunday mashinalarni *o’girilgan* deb atash qabul qilingan. GOST 2479-79 ga binoan ijrosi bo’yicha mashinalar 8 ta guruhga bo’linadi. Elektr mashinalarining 8 ta ijro forma guruhi 161 ta ijro formasi kiritilgan 49 ta ko’rinishga bo’linadi.

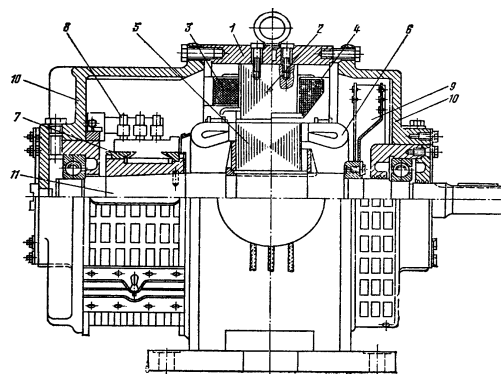
GOST 17494-72 bo’yicha ta’sir etuvchi tok va harakatlanuvchi qismlari bilan tutashishidan himoya darajasiga ko’ra ijro bo’ladi, mashinaning ichki barcha qismlari tegib turadi, shuningdek mashina ichiga suv kirishidan himoya darajasi mavjud.

Bundan tashqari, portlashga qarshi, yuqori namlik uchun namlikka chidamli mashinalar, muzlashga chidamli, kimyoviy moddalarga chidamli va tropik tadbirlar uchun mashinalar kiradi.

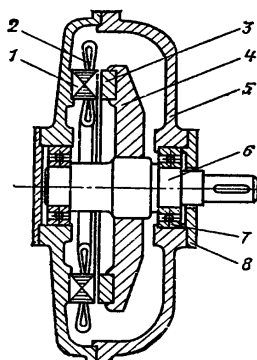
Mashinalarning konstruktiv jihatlari bilan farqlanadi, shuningdek sovutish bilan. Havo sirkulatsiyasi yordamida sovutish mashinalari aylanuvchi qismning ventilyasion harakati va konveksiya hisobiga vujudga keladi. Mustaqil shamollatgichli mashinalarning valida ventilyator bo’ladi. Yopiq havo purkovchili mashinalarda faqat mashinaning tashqi yuzasi bo’ylab majburiy sovutish bo’ladi. Mashinaning havo puflagichida havo orqali mashinaning aktiv qismi yuviladi va tashqariga tashlanadi. Ichki shamollatishli mashinalar aksial, aksial-radial va radial shamollatishli mashinalarga bo’linadi.

Mashinalarni sovutish uchun havo, vodorod, moy va suvdan foydalaniladi. Sovutish suyuqliklarning bug’lanishi hisobiga vujudga kelishi mumkin. So’nggi paytlarda ichki sovutishdan keng qo’llanilmoqda, qachonki sovutish moddasi maxsus ichki o’tkazish kanallari bo’ylab o’tadi[8].

Statori va rotor disk shaklida (1.22-rasm) bo’lgan frontal elektr mashinalari tadbiri topildi. Frontal mashinalarda magnit maydon energiyasini diskning o’rtasiga jamlaydi.



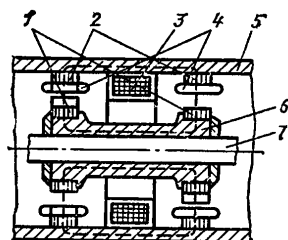
1.21-rasm. O'zgaras tok mashinasi.



1.22-rasm. Frontal elektr mashinasi.

1-statorning magnit o'tkazgichi; 2-stator cho'lg'ami; 3-doimiy magnit; 4-rotorning magnit o'tkazgichi; 5- podshipniklar qopqog'i; 6-val; 7-podshipniklar; 8-podshipniklar qopqog'i

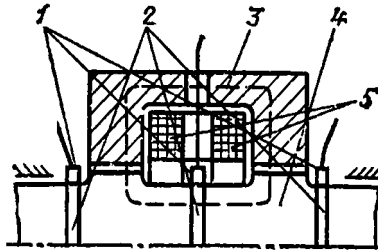
Induktor mashinalarning konstruktiv o'zgarishi juda ham turlichadir. Juda katta tarqalish ikkita rotorli 1 va statorli 2 induktiv mashinalarning konstruksiyasidan olinadi. (1.23-rasm). Rotorning 90^0 ga siljishi vaqtida mashinaning umumiy magnit qarshiligi o'zgarmaydi va qo'zg'atish cho'lg'amida 3 o'zgaruvchan tashkil etuvchi kuchlanish oqib o'tmaydi. O'zgaruvchan tok cho'lg'am 4 bu vaqtda har bir stator qutblarining joylashuvi o'zgaruvchan kuchlanishda olinadi. Mashinalarni qo'zg'atish oqimi stator oqimi 5, rotor tiqini 6 va o'tkazish vali 7 bo'lab tutashtiriladi.



1.23-rasm. Induktor mashinalarning konstruktiv tuzilishi.

Doimiy yuqori o'zgaruvchan tok olish uchun (100 kA gacha) kichik kuchlanish vaqtida nayob (kamdan-kam uchraydigan) mashinalar qo'llaniladi (1.24-rasm). Bunday mashinalarda kollektor mavjud, ammo amaliy jihatdan ular sirpanish kontaktlarisiz ishlay olmaydi, qaysiki cho'tka 1 va xalqadan 2 tuzilgan. Doimiy magnit oqimi stanokga 3 rotorning umumiy og'irligi 4 va ikki magnit oralig'iga

tutashadi. Qo'zg'atish oqimi (1.24-rasmda shtrixlangan chiziq bilan ko'rsatilgan) qo'zg'atish cho'lg'amini 5 vujudga keltiradi. Doimiy tok umumiy rotordan o'tadi va cho'tkalardan olinadi. Elektr isrofini kamaytirish uchun, rotor mis sterjenlar qoplangan o'yiqlarga bo'lingan. Mis sterjen xalqa kontaktlariga kavsharlanadi, rotorda qisqa tutashtirilgan cho'lg'am yasaladi.



1.24-rasm. Nayob (kamdan-kam uchraydigan) elektr mashinalari.

O'zgaruvchan tok shixtovinli magnit o'tkazgich bo'ylab tutashadi. Qisqa tutashuv tokini chegaralash uchun reaktorlar qo'llaniladi, qaysiki po'lat yoki po'latsiz induktiv g'altak bilan o'zini tasavvur qiladi.

So'nggi yillarda magnit maydon energiyasining konsentratsiyasi (boyitish) uchun va induktiv o'ta o'tkazgich to'plovchilarni qo'llashni saqlash zarur. Bunday turdagi g'altaklarda kichik hajmdagi 5 Tl gacha magnit maydoni hisobiga 100 MDj gacha energiyani boyitishga erishiladi.

Yuqori ko'rinish faqat elektr mashinalarining asosiy konstruksiyalarida bo'ladi. Maxsus mashinalarda o'zgarish cheksiz bo'ladi. O'zgaruvchan va o'zgarmas tok elektr mashinalarining aniq umumiy konstruksiyasi o'rganiladigan turli-xil mos kurslar vaqtida ko'rib chiqiladi.

Elektr mashinalarining konstruktiv munosabatida farq qilmaganidek, ularni alohida, ular elektromexanik yoki elektromagnit o'zgartirgichlar bo'ladi, bir qonuniyatga bo'ysunadi va umumiy matematik ta'rifi bo'ladi. Elektr mashinalarining qisqacha konstruktiv kuzatuvida umumiy elektromexanika qonunida barcha elektr mashinalarining xarakteristikallari bilan kuzatiladi.

Nazorat savollari.

1. Manbaning turidan qat'iy nazar doimiy yoki o'zgaruvchan tok elektr mashinalarini nechta urga bo'lib o'rganamiz?
2. Eng sodda konstruktiv ko'rinishga ega bo'lgan elektr mashina turini ayting?
3. Noyob va kamdan-kam vaqtda ishlatiladigan elektr mashinalari qaysilar?

1.5. Elektromexanika qonunlari.

Elektromexanika fizika kursining bo'limlaridan biri bo'lib, unda elektr energiyaning o'zgarishlari kuzatiladi. Elektromexanik o'zgartirgichlarda-elektr mashinalarida- elektr energiyaning o'zgarishini texnik ijrosi vujudga keladi.

Elektromexanika fundamental fan bo'lib, bu fan uchun qonunlarni shakllantirish mumkin. Bu qonunlar 3 ta bo'lib o'rganiladi:

Birinchi qonuni. Elektromekanik energiya foydali ish koeffitsienti 100% bo'lishi mumkin emas (bo'la olmaydi). Agarda biz, bizni o'rab turgan dunyo o'zgartirgichlarda iborat desak kata xato qilmasdik. Barcha elektr o'zgartirgichlar, oddiy va murakkab bo'linishi mumkin.

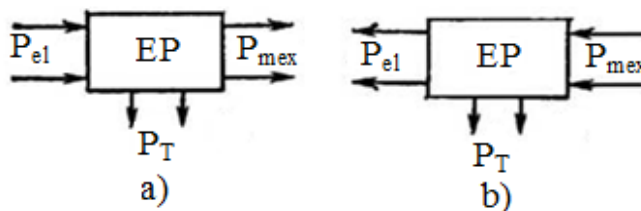
Oddiy o'zgartirgichlarda bir turdagi energiya boshqa turdagi energiyaga to'lig'icha o'tadi. Misol uchun, elektr isitkichlarda elektr energiya to'lig'icha issiqlik energiyasiga aylanadi.

Murakkab o'zgartirgichlarda esa, bir turdagi energiyani bir necha turdagi energiyaga aylantirishi mumkin. Murakkab o'zgartirgichlarga misol qilib aytsek, yorug'lik energiyasini-elektr energiyasiga, ximiyaviy energiyani-mexanik energiyaga, yadroviy energiyani - elektr energiyasiga va boshqalarni olishimiz mumkin. Murakkab o'zgartirgichlarda odatda issiqlik energiya bilan birgalikda ishlash e'tiborga olinadi.

Samaradorligini gapirganda, foydali ish tushunchasi ichida deb ta'kidlash lozim. Elektrpechlar (elektr isitgichlar) bilan shug'ullanuvchi muhandislar, pechning (isitgichning) FIKni bir qismigina issiqlik energisi uchun sarflanadi deyishadi. Shu sababli elektrpechlarda FIK 100% deb hisoblanmaydi.

Elektr mashinalarda energiya isiqlikga aylanadi, bu yo'qotishdir, va tarmoqqa beruvchi (generator rejimi) elektr quvvatini mexanik quvvati nisbati yoki tarmoqdan oluvchi (motor rejimi) foydali mexanik quvvati elektr quvvatiga nisbati FIKni ifodalaydi.

Elektromexanik energiya o'zgartirgich murakkab o'zgartirgich hisoblanadi, chunki elektromexanik energiya o'zgarishida elektr P_{el} yoki mahanik P_{mex} energiya doim issiqlik P_T energiyasi bilan birga keladi (rasm. 1.25, a, b) .



1.25-rasm. Elektromashinalarda energiya oqimining yo'nalishi, a-motor rejimi; b - generator rejimi.

Umumiy ko'rinishda EI (yoki elektr mashinani) ichki qarshiligi Z_{ei} ikki elektr, ikki mexanik va ikki issiqlik chiqishli oltiqtutblik deb tasavvur qilishimiz mumkin[8].

Eini yaratish jarayonida-issiqlik energiyasi oqimini kamaytirishga harakat qilinishi natijasida uning gabaritlari kamayadi va elektromexanik o'zgartirgichni arzonlaniga olib keladi. FIK 99 % bo'lgan elektr mashinalar va 99,8 % transformatorlar yaratilgan. Bunday yuqori FIK maxsus texnik muvaffaqiyat tufaylidir. Aytish joizki bunday yuqori FIK faqatgina yuqori quvvatli elektr mashinalarga tegishlidir. Kichik quvvatli elektr mashinalarda FIK past foizga ega bo'lishining sababi, energiyaning malum bir qismi issiqlik energiyasiga aylanishidir.

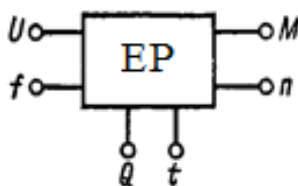
Elektr mashinalari uchun, unda elektr-mexanik energiya o'tkazish, mashinada uchraydigan jarayonlarni aks ettiradi matematik tavsifi yetarlicha berilgan. Matematik modellar, elektr kabellar energiya o'zgarishlarni tushuntirib beruvchi

tenglamalar-juda xilma-xil. Elektr mashinalari energiya o'zgartirish jarayonlarning eng umumiy matematik ta'rifi differensial tenglamalar beradi, o'zgaruvchi va tashkil etuvchi jarayonlar uchun to'g'ridir. Elektr mashinalarini va boshqa ob'ektlar o'rganish jarayonida matematik model va real mashinalardan foydalanish tavsiya etiladi.

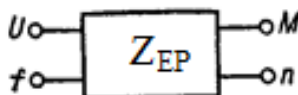
Tenglama, elektr mashinalarda energiyani o'zgartirishni tariflaganda, yechimga ega bo'lmaydi, bunda tenglama ichiga kiruvchi aktiv qarshilik koeffitsienti nolga teng bo'ladi. Agar matematik model yechim bermasa, real mashina ham elektr energiyani mexanik energiyaga aylantira olmaydi.

Barcha elektr energiyani-mexanik energiyaga va mexanik energiyani-elektr energiyaga o'zgartiruvchi o'zgartirgichni yaratib bo'lmaydi, chunki issiqlik energiyasini butunlay yo'qotgan bo'lardik. Issiqlik energiyasini yo'qotish uchun, mashina temirdan yasalmagan bo'lishi, o'ta yuqori o'tkazgichli g'altaklardan va mexanik qarshilikli bo'lishi lozim. Bunday elektrotexnik qurilmani qurish mumkin. Biroq, u elektromexanik o'zgartiruvchi bo'lmaydi, u energiya saqlagichdir.

Elektromexanika-yopiq kontur haqidagi fan. Elektro mexanikani olti qutblikdek tassavvur qilish mumkin, ya'ni ikki elektr chiqishli, kuchlanish U va f chastotali, ikki mexanik chiqishli moment M bilan aylanish tezligi n shuningdek issiqlik konturi bilan bog'liq bo'lgan issiqlik miqdori Q vaharorati t .



1.26-rasm.Elektr mashinaning olti qutblilik ko'rinishi.



1.27-rasm.Elektr mashinaning to'rt qutblilik ko'rinishi.

O'zgarishlar jarayonini analiz qilganda, elektr mashinalarda tashqi qarshilikni elektr, mexanik va issiqlikni nolga teng deb olinadi. Bunda elektr tarmoq quvvati cheksiz, shu sababli elektr mashinaning rejimini o'zgarishi kuchlanganlik va chastotaga tasir etmaydi. Mashinaning issiqlik ajratishi tashqi muhitga tasir etmaydi. Valdagi mexanik yuklama odatda o'zgarmas deb olinadi.

Elektr mashinalarni jarayonida ichki qarshilik, chastota va kuchlanganlik o'zgaradigan elektr tarmoq haqida unutish kerak emas. Mashina chegaralangan muhitda ishlashi mumkin, bunda mashinani o'rab turgan muhitning harorati o'zgarishi mumkin. Mashinaning validagi ta'sir etuvchi massa va yuklanish (kuchlanganlik, bosim) momenti mashinani ishiga tasir ko'rsatadi.

Bu o'ta yuqori o'tkazuvchilar g'altaklari bilan mashinalari ishlamaydi, deb tasavvur etish mumkin, chunki, elektr mexanika qonunlariga rasmiy yondashuv bo'lishi mumkin emas. Lekin bunday mashina energiya isrofi amalga oshirilgan uchun mumkin, u mashina tashqi tokning oqimi natijasida zarur qarshilik bo'lishi

hisoblanadi. Bu yerda elektromexanik tizimidagi isrof e'tiborga olinadi va elektromexanik energiya almashtirishni o'ta yuqori o'tkazuvchi g'altak hisobiga mashinada sodir bo'ladi.

Elektr mashina issiqlik energiyasidan ajratilgan bo'lsa. Ammo, issiqlik, sovuq almashinuv haqida mashinaning ichida sovish ta'siri tufayli so'riladi, natijada bir elektr mashina yaratishilishi mumkin, va qaysiki muhim emas. Mashina tashqarida joylashgan issiq almashinuv haqida bir vaqtning o'zida, issiqlik energiyasi ozod etiladi. Afsuski, joylari, o'ta yuqori o'tkazuvchi materiallari, mashina hajmi va quvvat ko'rsatkichlarini kamaytirish uchun o'sishiga olib keladi, bu esa, kam oqim zichlikda sovutish taminlaydilar. Masalan, elektr mashina yopilgan holatida issiqlik elektron, shuningdek mexanik va elektr kabi, qaralishi kerak.

Ikkinchi qonun. Barcha elektr mashinalar shunday xususiyatga egaki, ular ham motor o'rnida ham generator o'rnida ishlatilishi mumkin.

Elektr mashinalarning 2 xil rejimda ishlay olish xususiyati boshqa energiyani o'zgartirib beruvchi qurilmalar oldida ustunligi bilan ajralib turadi (par turbinasi, dizel, reaktiv motorlar va boshqalar). Bir vaqtning o'zida ham motor, ham generator sifatida ishlaydi. Misol uchun elektrovoz tezlanish paytida tarmoqdan energiyani olib motor rejimida ishlaydi, lekin sekinlashish paytida generator vazifasini bajarib tarmoqqa energiyani qaytaradi. Elektr mashinalarning rejimi valga tushayotga qarshilik mamentiga bog'liq.

Agar elektr energiya tarmoqdan olinayotgan bo'lsa, elektr mashina motor rejimida ishlayotgan bo'ladi (1.25, a-rasmga qarang). Agarda mexanik energiya oqimi valdan kelayotgan bo'lsa, mashina generator rejimida ishlayotgan bo'ladi (1.25, b-rasmga qarang).

Induktiv elektr mashinalarida stator va rotor chulg'amlari magnit maydon bilan uzviy bog'langan. O'zgaruvchan tokda cho'lg'amlarda aylanayotgan magnit maydoni bog'lanishni taminlashda ular cho'lg'amlar orasidagi havoda aylanuvchi magnit maydon hosil qilinadi. O'zgarmas tokda aylanish maydonini hosil qilinishda, tok o'tayotgan cho'lg'amni aylantirish lozim. Bunda cho'lg'amni aniq bir holatida va maydonning aniq bir vaqtdagi harakatida bir biriga nisbatan qo'zg'almas cho'lg'amning oraligida aylanish maydonini olishimiz mumkin.

O'zgaruvchan tokda ishlaydigan mashinalarda magnit maydonni hosil qilishda reaktiv quvvat lozim bo'ladi. Bunday mashinalarning cho'lg'amlarida aktiv va reaktiv tok o'tadi. Reaktiv tok aylanish magnit maydonini hosil qiladi, aktiv tok mashinaning aktiv quvvatini tashkil qiladi. Reaktiv quvvat barqaror rejimda statordan ham, rotordan yoki ikkalasidan birgalikda hosil bo'lishi ham mumkin. Aktiv va reaktiv magnit oqimining energiyasini yo'nalishi elektr mashinaning rejimiga bog'liq bo'lmay, ketma-ket va qarama-qarshi bo'lishi mumkin. Bu esa aktiv quvvat statordan hosil bo'lib, reaktiv quvvat rotordan kelishi mumkin va buning teskari holati ham bo'lishi mumkin[8].

Elektr o'zgartirgichlar elektr va mexanik energiyani issiqlik energiyasiga ham aylantiradi. Bunday rejim salt ishlash rejimidir. Sinxron mashinalar salt ishlash rejimida tarmoq bilan parallel ishlaganda sinxron kompensator deb ataladi.

Motor va generator rejimida aktiv quvvat yo'nalishi o'zgarsa, lekin issiqlik energiyasining yo'nalishi o'zgarmasdir. Elektr o'zgartirgichlarda isrof bo'lmaydi. Lekin elektr o'zgartirgichlar shunchalar xilma xilki, ular issiqlik energiyasini elektr va mexanik energiyaga aylantirishi mumkin. Harorat o'zgarishi kyuri nuqtasini oldida yuzaga keladi.

Birinchi va ikkinchi qonunlar elektr mashinalar energiya to'yinganligini ko'rsatib turibdiki. Elektromagnit energiya, elektr o'tkazgich liniyasi bo'ylab cheksizlikda taqsimlanadi, induktiv elektr mashinalarda energiyaning to'yinishi stator va rotor oralig'ida joylashadi. Transformatorlarda energiyaning to'yinishi magnit o'tkazgichida va cho'lg'amlar oralig'ida yig'iladi (joylashadi).

Bunday kichik hajmdagi oraliqda juda katta quvvat to'yinishi mumkin. Shuni aytish lozimki, turbogeneratorlarning yuqori chegaradagi quvvati va asinxron mashinalarning bir xil rusumidagi solishtirma quvvati havo bo'shlig'ida $0,5 \text{ vt/mm}^3$ ga teng.

Uchinchi qonun. Elektromexanik o'zgartirgichidagi energiya bir biriga nisbatan qo'zg'almas bo'lgan maydonlar tufayli yuzaga keladi. Bir biriga nisbatan qo'zg'almas bo'lgan rotor va stator orasidagi havo bo'shlig'ida natijaviy maydon va elektromagnit momenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$M_{em} = \omega_c^{-1} \cdot P_{em} \quad (1.1)$$

Bu yerda: W_c —maydon burchakli tezligi;

P_{em} – tor tirqishdagi elektr magnit quvvati.

Bir biriga qo'zg'almas bo'lgan maydon, havo bo'shliq orasida harakatlanuvchi M_{em} ni hosil qiladi, shuningdek issiqlik energiyasi ham hosil bo'ladi, bu esa mexanik va elektr energiya oqimining tasirini ko'rsatadi. Yo'qotishlarning ko'payishi FIK kamayishiga olib keladi.

Elektr mashinalarning cho'lg'amlari shunday tayyorlanadiki, ulardan oqadigan tokning o'tib borishi natijasida havo bo'shligida aylanma magnit maydon hosil bo'ladi.

Aylantiruvchi magnit maydon tokning ikki fazali sistemasida hosil bo'ladi, agarda qo'zg'almas cho'lg'amlar orasi 90° hosil boladi, uch fazali sistemada cho'lg'amlar orasi 120° hosil bo'ladi. Umumiy olganda magnit maydonning aylanishlari m -fazali va tokning vaqt bo'yicha olingan qiymati 360° aylanishi yuzaga keladi.

Sinxron mashinalarda statorda joylashgan cho'lg'amlari aylanish maydoni hosil bo'lib, uning burchak tezligi ω_c yuzaga keladi. Rotor ham shunday burchakli tezlik bilan aylanadi, bunday holda rotorning aylanishlar tezligi stator cho'lg'amidagi magnit maydon tezligiga teng bo'ladi $\omega_r = \omega_c$. Shu sababli rotor cho'lg'amdagi tok chastotasi $f_2 = 0$ bo'lib, bunda o'zgarmas tok o'tadi. Sinxron mashinalarning stator va rotorlarida maydoni bir-biriga nisbatan qo'zg'almasdir.

O'zgarmas tokda ishlovchi mashinalarda qo'zg'atuvchi cho'lg'amlar statorda joylashgan va qo'zg'atuvchi maydon qo'zg'almasdir. Yakorda aylanish maydoni hosil bo'lib, aylanish maydoni rotorning aylanishlar chastotasiga teng va aylanish yo'nalishi rotorning aylanishiga qarama-qarshidir. Shu sababli o'zgarmas tokda ishlovchi mashinalarda maydon stator va rotor bir-biriga nisbatan qo'zg'almasdir.

Asinxron mashinalarda rotordagi tok chastotasi

$$f_2 = f_1 s, \quad (1.2)$$

bunda sirpanish s (nisbiy tezlik) bo'lib,

$$s = \frac{(\omega_c - \omega_p)}{\omega_c} \quad (1.3).$$

Shu sababli, rotor ω_r va rotor maydonining tezliklari yig'indisi doimo maydon tezligiga teng ω_c . Agar rotor maydoni aynalish yo'nalishi ω_c dan yuqori tezlikda aylansa, rotor hosil qilgan tok, rotor maydoni rotor aylanishiga teskari aylansa stator va rotor bir biriga nisbatan qo'zg'almasdir.

Transformatorlarda birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar magnit o'zagida mahkam qotirilgan va cho'lg'amlardagi chastota bir xildir. Uch fazali transformatorlarda maksimal oqimlar birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlardan o'tadi deb olsa ham bo'ladi.

Ko'pchilik elektr mashinalarda elektr va mexanik hodisalar rezonansga moslashgan. Elektr mashinalar elektromexanik rezonansga ega, bunday holda tarmoqning chastotasi f va mexanik aylanish chastotasi n , ayl/sek, quyidagiga bog'liqdir:

$$f = rn \quad (1.4)$$

bu yerda: r -juft qutblar soni

Ikki qutbli mashinalarda rotor aylanish chastotasi bilan tarmoq chastotasi bir-biriga tengdir.

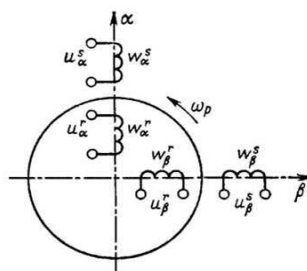
Elektr mashinalar turlari hilma xildir. Sig'imli va induktiv sig'imli mashinalarda induktiv mashinalardagi kabi maydonning bir biriga nisbatan qo'zg'almasligi ahamiyatga ega emas.

Nazorat savollari.

1. Elektromexanikaning birinchi qonunini ta'riflang?
2. Elektromexanikaning ikkinchi qonunini ta'riflang?
3. Elektromexanikaning uchinchi qonunini ta'riflang?

1.6. Elektr mashinalar-elektromexanik o'zgartirgichlar.

Elektr mashinalar vaqt birligi ichida siljigan, tok o'tuvchi cho'lg'amlardan tashkil topgan kombinatsiyadan iborat. Bunda holda loyihalashtirishda aylanma maydon bo'shlig'i orasidagi burchak ikki fazali mashinalarda 90° va uch fazali mashinalarda 120° hosil qilishga intiladi. Elektr mashinalar odiy sxemasi bu ikki fazali mashina bo'lib, bunda rotor va stator ikki juft cho'lg'amlardan iborat (1.28-rasm).



1.28-rasm. Umumlashtirilgan mashinaning modeli.

1.28-rasmda stator cho'lg'ami ω^s_α va ω^s_β magnit maydon va muallaq holatda 90° siljigan va rotor cho'lg'ami ω^r_α va ω^r_β bir biriga nisbatan 90° siljigan. Stator cho'lg'amlariga u^s_α va u^s_β , rotor cho'lg'amlariga u^r_α va u^r_β kuchlanishlar berilgan.

Ikki fazali mashinaning havo bo'shlig'ida aylanish magnit maydonini hosil qilishda, vaqt birligi ichida 90° burilgan stator yoki rotorga kuchlanishni ulash lozim. Shunda cho'lg'amlarda tok o'tib aylanma magnit maydoni hosil bo'ladi. Elektromexanikaning uchinchi qonuni shuni ko'rsatadiki bir-biriga qo'zg'almas bo'lgan rotor va stator maydonlari elektromexanik energiya o'zgarishi burchak tezligining aniq bog'liqligini ko'rsatadi.

$$\omega_c = \omega_r \pm \omega_{p.r} \quad (1.5)$$

Bu yerda: ω_c , ω_r , ω_{pr} -stator, rotor va rotor qurilmasiga nisbatan rotor maydoning burchakli tezlik.

Bunda rotor va stator orasidagi havo bo'shligi magnit maydoni bir biriga nisbatan o'zgarmasdir. ω_c va ω_r o'zgarganda rotordagi tok chastotasi ham o'zgaradi (1.2), lekin stator va rotor maydoni bir biriga qo'zg'almas bo'lib qolaveradi.

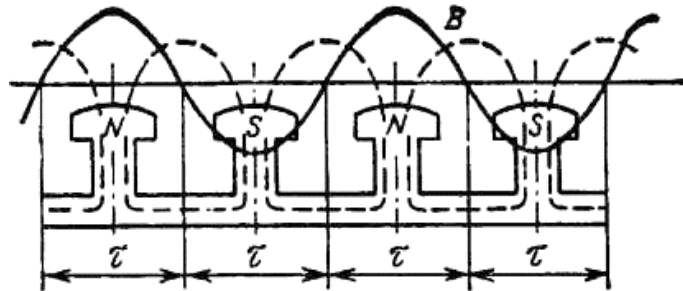
Mashinaning tor tirqishi orasida aylanma magnit maydoni aniq bir holatda yuzaga keladi (1.28- rasm). Maydon sinusoidal bo'lishi uchun elektr ulanishning chiqishlarida sinusoidal kuchlanish bo'lib va mashina esa ideal bo'lishi kerak. Ideal elektr mashinada tor tirqishi bir tekis va silliq bo'lishi kerak va (mashinaning rotor va statorida bo'rtmalar va chuqurchalar bo'lmaydi), cho'lg'amlar tokli qatlamlardan iboratdir. Bunda mashina to'yingan, magnit singdiruvchanligi μ_a cheksizdir. Mashina simmetrik, ya'ni cho'lg'am, magnit sistemasi, tor tirqishiga α va β o'qlariga nisbatan simmetrikdir.

Aylanma magnit maydon faqatgina ideal mashinani tor tirqishida mavjud bo'ladi. Real mashinalarda mashinaning simmetrik emasligi, magnit yurituvchi kuch (MYUK) sinusoidal taqsimlanmaganligi, bo'rtmalar va havo bo'shliqlarni rotor va statorida mavjudligi mashinaning havo bo'shlig'ida garmonik maydonda cheksiz spektr mavjud bo'lishiga olib keladi. Yuqori garmonikalar elektr mashinalarda elektr energiyani o'zgartirish jarayonida murakkab ta'sir etadi, shu sababli mashinaning tor tirqishida bir maydonda qanday ishlashini bilib olishimiz lozim. Ikki qutbli ikki fazali mashina umumlashtirilgan mashina deb ataladi (1.28- rasm). Umumlashtirilgan elektr mashina deb aytilishiga sabab, induktiv elektr mashinalarda asosiy energiya o'zgarish jarayonlari keltiriladi.

Real mashinalarda kechadigan jarayonlarni to'g'ri ifodalanishi, elektr mashinalar umumiy nazariyasi negizida energiyani elektr o'zgarish tenglamasida ifodalanadi.

Elektr mashinalarning matematik madellari juda keng tarqaldi. Elektr mashinalar energiya o'zgarishi elektrmexanikasining murakkab muammolarini hal qilishda matematik modellash jarayonlari yordam beradi. Fanga birinchi bo'lib elektr mashinalarni umumlashgan nazariyasini G. Kron 30-yillarda mashinalarning umumlashgan tenglamasini kiritgan. Oxirgi yillarda EHM (EXM) qo'llab juda ko'p elektromexanik olimlar yordamida elektr mashinalar umumiy nazariyasi yanada rivojlanib ketdi[7.14].

Ikki qutbli mashinani kuzatsak, bunday holda energiyani o'zgartirish jarayonida simmetrik ko'p qutbli mashinalarni ikki qutbli mashinalarga almashtiramiz. 1.29-rasmda to'rt qutbli mashinaning $2r = 4$, magnit sistemasini ochib berildan, bu masini-nada juft qutblar soni $r = 2$. Bu mashinani ikki qutbli bo'limida 2τ magnit induksiya β formasi qaytalanyapti. Shu sababli simmetrik mashinalarda EYUK, quvvat va qutblardagi boshqa ko'rsatkichlarni hisoblab chiqish mumkin, shundan keyingina, mashinaning barcha qiymatlarini topishda ularni juft qutblar r soniga ko'paytirish lozim.



1.29-rasm. Ko'p qutbli mashinalarda energiyani o'zgartirish jaryoni.

Ko'p qutbli mashinalarda maydonining sinxron aylanish chastotasi p marta kichik:

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (1.6)$$

Bu yerda: **f-tarmoq chastotasi 50 Hz va $p=1$ bo'lganda, $n_s=3000$ ayl/min, $p=2$ bo'lganda, $n_s=3000$ ayl/min va hokoza.**

Elektr mashinalarni o'rganishda elektr burchak tushunchasidan foydalaniladi, va u geometrik burchak bilan quyidagi nisbatga tengdir:

$$\alpha = p\alpha' \quad (1.7)$$

Bu yerda: α -elektr burchak; α' -geometrik burchak.

Umumiy nazariyada ikki fazali elektr mashinalar ko'rib chiqiladi, chunki uch fazali va ko'p fazali cho'lg'amlar simmetrik bo'lib ikki fazaliga keltiriladi, ikki fazali mashinada kuchlanish tenglamasining eng kami 4 tadir.

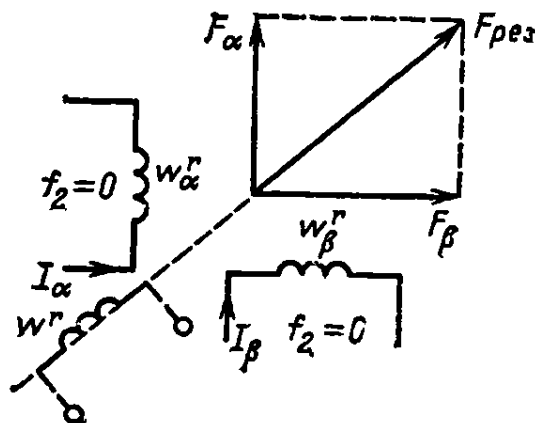
Asinxron (sinxron bo'lmagan) mashinalar sxemasi umumlashgan mashina singari, stator cho'lg'amlari ω_a^s va ω_b^s ga tarmoqdan vaqt bo'yicha 90° siljigan va f_1 chastotali sinusoidal kuchlanish berililadi. Rotor cho'lg'amlaridan chastotasi $f_2=f_1s$ bo'lgan tok o'tib, rotor kuchlanishi hosil bo'ladi yoki stator cho'lg'amlariga o'tadi. Asinxron mashinalarda burchakli tezlik $\omega_r \neq \omega_c$, rotor va stator maydoni bir biriga nisbatan qo'zg'almas, chunki rotor va rotor maydonchasining burchakli tezliklar yig'indisi ω_c tengdir.[1.5 ga qarang]

Sinxron mashinani umumlashgan modeldan olish mumkin, agarda stator o'zgaruvchan tok va rotorga o'zgaras tok (va teskarisi) bersak. Bunda $\omega_r = \omega_c$, ya'ni stator va rotorning magnit maydoni bir biriga nisbatan qo'zg'almasdir. Agar stator cho'lg'amlariga o'zgaras tok kuchlanish bersak, rotorga nisbatan maydon teskari harakatlanib, rotorga nisbatan teskari aylanadi natijada stator va rotor maydonchasi koordinatalar sistemasiga nisbatan qo'zg'almas bo'ladi.

Cho'lg'amlarga o'zgarmas tok berganda faqat bitta qo'zgatish cho'lg'ami kifoyadir, bunda MYUK ning natijasi MYUK ning geometrik yig'indisiga tengdir (1.30- rasm):

$$F_{rez} = \sqrt{F_{\alpha}^2 + F_{\beta}^2}$$

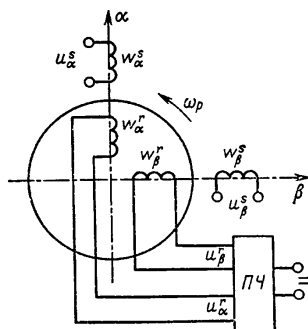
Agar ikkita qo'zg'atish cho'lg'ami o'rniga bitta qo'zgatish cho'lg'ami tayyorlansa, u holda cho'lg'amga 1,4 baravar mis kam talab qilinadi.



1.30- rasm. Ikki cho'lg'ami o'zgarmas tokga ulangan natijaviy MYUK sxemasi.

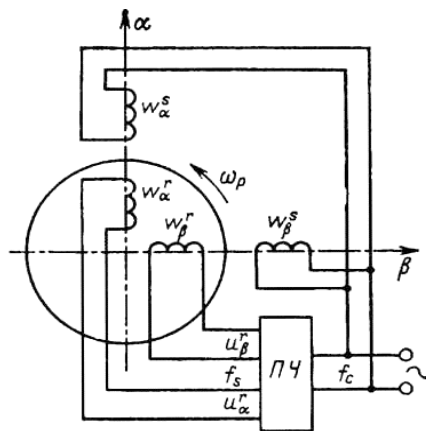
O'zgarmas tokda ishlovchi mashinalarning yakor cho'lg'amlaridan ko'p fazali o'zgaruvchan tok o'tadi, buni kollektor yordamida o'zgarmas tokni hosil qiluvchi chastota o'zgartirgich ChO' amalga oshiradi. Agar ko'p fazali sistemani ikki fazaliga o'tkazsak, o'zgarmas tokda ishlovchi mashinaning sxemasini hosil qilamiz (1.31- rasm). Sinxron mashinalar kabi, yakordagi magnit maydoni yakorga nisbatan teskari aylanadi. Bunda $\omega_r = \omega_c$ teng bo'ladi va bu holatda yakor maydoni qo'zg'alish cho'lg'amiga va koordinatalar sistemasida nisbatan qo'zg'almasdir. Sinxron mashinalar va o'zgarmas tok mashinalarida sirpanish nolga tengdir.

Kollektorlarni yarim o'tkazgichli qurilmalarda gerkon yoki boshqa chastota o'zgartirgich bilan almashtirish mumkin. Bunday hollarda havo bo'shlig'ida o'zgarishlar bo'lmaydi, lekin kollektor bor joyda chastota ω_r tezlikga bog'liq holda bo'ladi, yarim o'tkazgich hisobiga f_2 va ω_r bo'lgan holda egiluvchan qayta bog'lanuvchi aloqaga ega bo'lamiz. Tarixga nazar tashlasak, bunday mashinalar bir necha turda nomlanadi, ya'ni ventilli mashina, yarim o'tkazgichli mashin, o'zgarmas tokli kontaktsiz mashina va boshqalar.



1.30- rasm. O'zgarmas tok mashinasining sxemasi.

O'zgaruvchan tok kollektorli mashinalarda stator va rotorda o'zgaruvchan tok o'tib, chastota o'zgartirgich tarmoqning o'zgaruvchan tokini o'zgaruvchan tok chastotasining sirpanishiga o'zgartiruvchi o'zgartirgich bo'lib xizmat qiladi (1.32 rasm).



1.32- rasm.O'zgaruvchan tok kollektorli mashinasining sxemasi.

Barcha elektr mashinalar kabi stator va rotor maydoni bir biriga nisbatan qo'zg'almasdir. Bu mashinalar bir fazali, uch yoki ko'p fazali bo'lishi mumkin; stator va rotor cho'lg'amlari ketma-ket yoki parallel yoki magnitli bog'langan bo'lishi mumkin. Chastota o'zgartirgichlar tarmoqdan o'zgaruvchan tok iste'mol qilganda, o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokga o'zgarishga nisbatan juda qiyin holatda ishlaydi.

Umumlashtirilgan mashinalar sxemasida rotor tezligi $\omega_r=0$ bo'lgan elektromagnit o'zgartirgich-transformatoridir. Bunday holatda stator va rotorning alohida cho'lg'amlarini α va β o'qlarda qarash mumkin. Qachonki qo'zg'almas rotor cho'lg'amlarida bog'liqlik 90° ni tashkil etadi. Transformatorlarda faqat elektromagnit energiya o'zgarishlar yuz berasada, yasali texnologiyasi yaqin bo'lganligi sababli ular elektr mashinalar sanaladi[8].

Elektromagnit o'zgartirgichlarning aktiv quvvati birinchidan ikkichi cho'lg'amga o'tishi va teskarisi ham bo'lishi mumkin. Bunday holda reaktiv quvvat birlamchi cho'lg'amdan ikkilamchi cho'lg'amga o'tishi mumkin.

Elektr mashinada elektromagnit momentini hosil qilishni tassavur qilsak, umumlashgan mashinaga o'zgarmas tok bersak kifoya (1.28-rasmga qarang).

Elektromagnitli aylanish momenti α va β o'qida joylashgan stator va rotor cho'lg'amlaridan o'tuvchi toklar yordamida hosil bo'ladi:

$$M_{em} = M(i_\beta^s i_\alpha^r - i_\alpha^s i_\beta^r) \quad (1.8)$$

Bu yerda: M-stator va rotor cho'lg'amlaridagi o'zaro induktivlik.

Stator va rotor bittada o'qda hosil bo'luvchi tok $i_\beta^s i_\alpha^r$ va $i_\alpha^s i_\beta^r$ simmetrik mashinada aylanish momentini hosil qilmaydi, bunday holatda yuklanish va tebranishni hosil qiladi.

Agar elektr mashinaning stator va rotor cho'lg'amlaridan o'zgarmas tok o'tsa, ma'lum vaqt o'tib cho'lg'amlar neytral holatda to'xtaydi. Elektromagnit

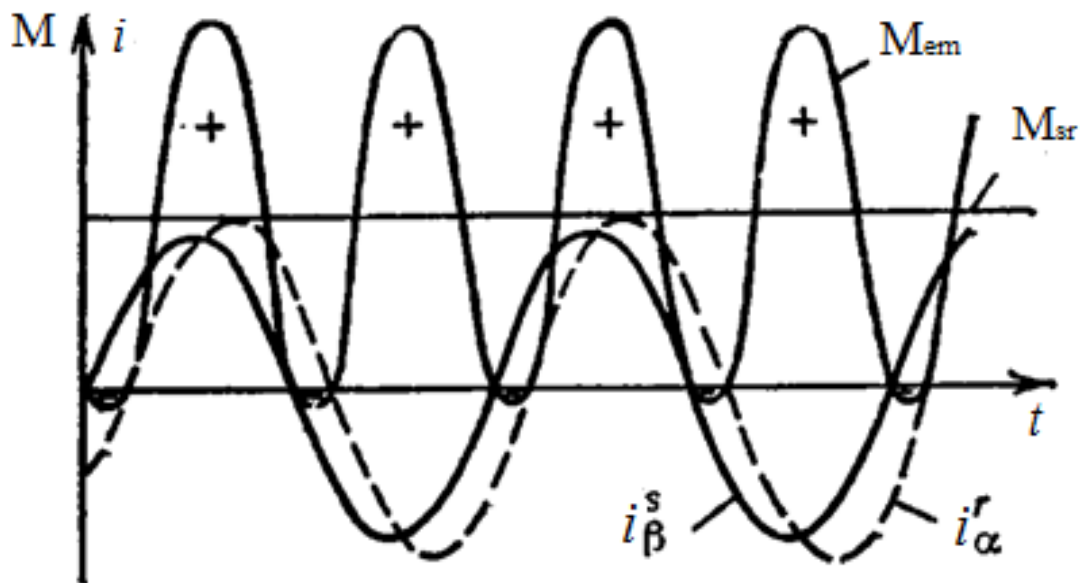
momentini to'xtovsiz hosil qilishda, aylanish momentini hosil qilish lozim. Bunda stator va rotor cho'lg'amlarida o'zgaruvchan tok o'tishi yoki cho'lg'amlarning biridan (stator yoki rotor) o'zgarmas tok, ikkinchisidan o'zgaruvchan tok o'tishi lozim.

O'zgaruvchan tok o'tganda elektromagnit momentni hosil bo'lishi 1.33-rasmda ko'rsatilgan. Tokning ta'sirida stator va rotordagi tokning ishorasini o'zgartirilsa ishora o'zgarmas bo'ladi, agar stator va rotordagi tokning yo'nalishi har xil bo'lsa, elektromomentning ishorasi o'zgaradi.

Elektromagnit momentni aniqlashda simmetrik ko'p fazali mashinani ikki fazali mashinaga aylantirish lozim:

$$M_{em} = \frac{m}{2} (i_{\beta}^s i_{\alpha}^r - i_{\alpha}^s i_{\beta}^r) \quad (1.9)$$

Bu yerda: m-fazalar soni.



1.33-rasm. Elektr mashinada elektromagnit momentni hosil bo'lishi.

Ko'p fazali mashinani ikki fazali mashinaga aylantirish 1.8.§ da to'liq berilgan.

Elektro mashinasi elektr energiyani mexanik energiyaga va teskarisini bajarmasa, u elektromagnit o'zgartirgich hisoblanadi. Tarmoqdan o'zgaruvchan va o'zgarmas tok bilan bog'langan chastotani o'zgartirgich yordamida bitta elektr mashina sinxron va asinxron bo'lib ishlashi mumkin, shuningdek elektronagnit o'zgartirgich transformator kabi ishlashi mumkin.

Nazorat savollari.

1. Umumlashgan elektr mashina modulini tushuntiring?
2. Ko'p qutbli mashinalarda energiya almashish jarayonini tushuntiring?
3. Elektr mashinalarda elektromagnit moment hosil bo'lish jarayonini tushuntiring?

1.7. Mashinaning magnit maydoni

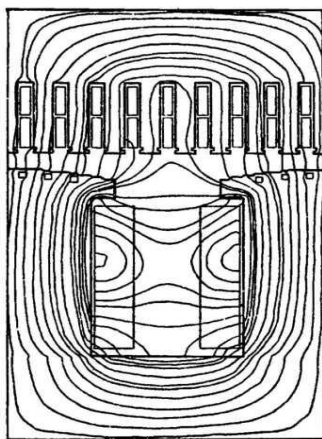
Elektromexanik energiya o'zgarishi elekt mashinaning havo bo'shlig'ida magnit maydon yig'ilgan holatida yuzaga keladi. Shuning uchun mashinaning magnit maydoni elektr mashinalarning energiyani o'zgartirish jarayoni tushunchasi bilan o'ta muhim ko'satgichni egallaydi. Mashinaning magnit maydoni mashina cho'lg'am-laridan o'tuvchi tok orqali yuzaga keladi. Maydonning hosil bo'lishida atrof muhitning tasiri ham bo'ladi. Elektr mashinalarning nazariyasining rivojlanishida M.Faradeyning magnit maydon haqidagi fizik qarashlari katta ahamiyatga ega bo'lgan. Faraday magnit maydonni bo'shliqdagi yopiq magnit chiziqlari bilan to'lgan deb tasavvur qilgan. Energiyaning elektromexanik o'zgartirish tenglasi D.Maksvelni ishlarida yaqqol ifodalangan, buning asosida Faradeyning matematik formasi tasavvur qilinadi.

Qiziquvchi tadqiqotchilar uchun magnit maydon induksiyasi va maydon kuchlanganligida elektr mashinaning boshqa parametrlarini ham aniqlab olish mumkin. Lekin mashinaning maydonini taqriban hisoblash mumkin. 1.34 rasmda yuklama ostida to'rt qutbli asinxron motorning magnit maydon joylashishini ko'rishimiz mumkin. Kuchlanganlik chiziqlari maydonda deformatsiyalanib, magnit maydonda notekis tarqalganligini ko'rishimiz mumkin.



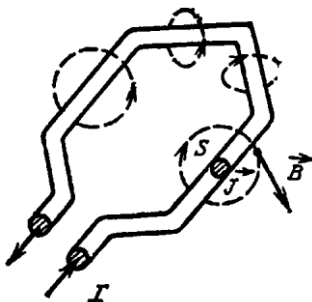
1.34- rasm.Yuklama ostida to'rt qutbli asinxron motorning magnit maydoni.

Sinxron mashinaning maydon ko'rinishi bo'lingan bir qutbli yaqqol qutbli holati 1.35-rasmda ko'rsatilgan.



1.35- rasm. Ayon qutbli sinxron mashinaning magnit maydoni.

Mashinaning maydon ko'rinishi magnit tizimining ish rejimi o'rnatilgan kuchlanishning yuklamasiga bog'liq. Magnit maydonini hisoblash uchun magnit oqimining zichligini aniqlash lozim, ya'ni magnit induksiya vektori barcha nuqtalarda kuchlanganlik chizig'i bilan ustma-ust tushadi (1.36-rasm).



1.35- rasm. O'ramda tok bilan magnit maydoni.

Maksvelning magnit maydon uchun kuchlanganlik vektori:

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J}. \quad (1.10)$$

Tok zichli J deb olsak, o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi S , bo'lsa

$$J = \frac{I}{S} \quad (1.11)$$

Induksiya va maydon kuchlanganligi orasidagi bog'liqlikdan

$$\vec{B} = \mu_a \vec{H}, \quad (1.12)$$

Bu yerda: μ_a —absolyut magnit singdiruvchanlik

Magnit maydonning kuchlanganlik chiziqlari yopiq ekanligini hisobga olganda

$$\text{div} \vec{B} = 0, \quad (1.13)$$

Bundan ko'rinadiki, magnit maydonning kuchlanganlik chiziqlarida oqish bo'lmaydi.

Elektr mashinalar magnit maydoni 1.36 rasmda ko'rsatilgandan murakkabroq. Odatda mashinada maydoni havo bo'shlig'ida to'yingan bo'ladi va ularni hosil qilishda ishtirok etgan bir nechta tok konturi ishtirok etadi. Mashinaning cho'lg'amlari uning pazlarida joylashadi, natijada cho'lg'amlar atrofida, magnit o'zakda magnit maydon hosil bo'ladi.

Uyurmaviy xarakterga ega bo'lmagan maydon ($\text{rot } H=0$) uchun skalyar maydon potentsiali φ_m tushunchasini kiritish lozim [27]. Bunda

$$\vec{H} = -\text{grad}\varphi_m. \quad (1.14)$$

Magnit potentsiali uchun Laplas tenglamasi

$$\nabla^2 \varphi_m = \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial z^2} = 0 \quad (1.15)$$

Elektr mashinalarning ko'pida uyurmaviy harakterga ega bo'lmagan maydonni Dirihlining shartlaridan yaqinlashgan javobni olishimiz mumkin. Hisoblash natijasiga ko'ra maydon kuchlanganligi uchta o'q orqali tashkil etadi.

$$H_x = -\frac{\partial \varphi_m}{\partial x}; H_y = -\frac{\partial \varphi_m}{\partial y}; H_z = -\frac{\partial \varphi_m}{\partial z}; \quad (1.16)$$

$\vec{B} = \mu_a \vec{H}$ yordamida induksiya vektori, oqim va ilashish oqimini aniqlanadi. Magnit potentsiali birligi amper, va magnit potentsiali MYUK birligiga mosdir. Potensial maydonda maydonning vazifasi magnit oqimga mos keladi. Uyurmali elektromagnit maydonini hisoblash uchun magnit potentsialining vektoridan foydalaniladi $\vec{A}$:

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}. \quad (1.17)$$

(1.14)-(1.17) tenglamalarni birgalikdagi hisoblansa Puasson tengligiga olib keladi.

$$\nabla^2 \vec{A} = -\mu_a \vec{J} \quad (1.18)$$

Vektor potentsiali harakatlanishi natijasida konturning yuqori qismida teng magnit oqimi xosil qiladi. (1.18) tenglik uch usulda va alohida tenglikda yozilgan tekisli kordinatalar o'qida joylashadi. Elektr mashinalarda odatda 2 o'lchamli yassi maydon holatda, masalan z o'qi tokni tashkil qiluvchi I_z bo'ladi.

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = -\mu_a J_z. \quad (1.19)$$

Bunday holatdan vektor magnit maydoniga aylanadi va z yo'nalishi bo'yicha butun uzunlikni beradi.

$$B_x = \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2}; B_y = -\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} \quad (1.20)$$

Magnit maydonini topish uchun (ushbu) fizikaviy va matematik modellashtirish usullardan foydalaniladi [18].

Laplas tengligining yechimi faqat oddiy chegaralarga tegishli. Magnit maydonlaridagi atamalarni integral tengliklari asosida ishlatiladi. Oxirgi o'n yilda maydonni sonli hisoblash usulidan foydalanish rivojlandi. Bu hisob har-xil chekli elementlarga asoslangan. Tez ishlovchi EXM maydon hisoblashda ko'p vaqt sarflangan mashina soatlariga ketgan hisob-kitobni solishtirib o'rganadi.

Bu usulning kamchilgi shundaki, unda umumiy tushuncha va maydondagi har-bir o'zgaruvchi faktor va ularning maydonga ta'siri haqida aniq bir xulosaga kela olmaydi. Lekin yangi texnikalar orqali buni to'g'rilash mumkin. Olimlarning izlanish-lari natijasida magnit maydonini hisoblash usuli o'ylab topildi. Maydon mashinalarini ular oddiy maydon konturlari asosida yuritiladi. Elektr mashinalarning magnit maydonini hisoblash usuli maxsus kurslarda yanada ko'proq o'rganiladi

[6,7,28]. Elektromexanik energiya elektr mashinalarini hosil qiluvchi elektromagnit kuchlari bilan bog'liq. Bu kuchlarni aniqlash bir necha turlarga bo'linadi.

Mexanik yoki motor toklari harakati Amper qonuniga asoslanadi. O'tkazgichlar uchun elektromagnit kuch- $\vec{F}$, tashqi magnit maydonida joylashishi $-\vec{B}$, tok o'tkazuvchi $-i$ lar vektor ko'rinishida aniqlanadi.

$$\vec{f} = [\vec{i} \cdot \vec{B}]i, \quad (1.21)$$

Bu yerda: i -tok $\vec{i}$ -uzunlikdan o'tuvchi vektor

Maksvell tenglamasi qo'llanganda magnit maydoni aniqlanadi.

$$\vec{T}_n = \mu_0 H_n \vec{H} - \frac{\mu_0 \vec{n} H^2}{2}, \quad (1.22)$$

H_n -bu vektorning magnit maydon kuchlanganligiga ta'siri $\vec{H}$ to'g'ri burchakli yo'nalishi $\vec{n}$,

μ_0 -vakumda magnit singdiruvchanlik .

Undan keyingi magnit maydon quyidagicha

$$\frac{\partial w}{\partial v} = \frac{1}{2} \vec{A} \vec{J} = \frac{1}{2} \vec{B} \vec{H}, \quad (1.23)$$

Maksvellning keyingi asosiy tenglamasi elektr kuchlanganlikning $\vec{E}$ magnit induksiyasi bilan bog'liqligidir: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.24)$$

Integral xolatda u konturda EYUK hosil qiladi.

$$E = \int_S -\left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) d\vec{S} + \oint_L [\vec{V} \cdot \vec{B}] dl \quad (1.25)$$

Magnit induksiyasining vektori va magnit maydoni kuchlanganligi haqida ma'lumot beradi va integral kattaliklar (tok, EYUK, kuchlanish, bosim va moment) haqida ma'lumot beradi. Ayniqsa L qiymatga ega bo'lgan bo'lgan induktivlik belgilangan munosabatlar maydon oqimining bog'langanligining oniy qiymati Ψ va mavjud bo'lgan tok i orqali aniqlanadi.

$$L = \Psi / i \quad (1.26)$$

Agar tok va oqimlar bitta u yoki bu cho'lg'amga yoki o'tkazgichda bo'lsa, bu induksiya o'zinduksiya deyiladi. Maydonga tegishli Laplas tenglamasini topish uchun magnit induksiyaga kerakli manba tokini birlashtirish va o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi S magnit manbaini tutashtiradi. Magnit vektorini oqimlash issiqlik manbai A_0 belgisi bilan aniqlanadi, vektor potentsiali A_1 ko'ndalang kesim yuzasi S aniqlanadi:

$$\Psi = \int_S (A_i - A_0) dS_i / S \quad (1.27)$$

Maydon bog'lanishi oddiy arifmetik tahlil bilan (amaliy usulda) aniqlanadi; agar manba chekli sonli va oddiy maydonga bo'linsa har bir maydon uchun magnit maydonning vektor potentsiali o'rganiladi; A_i

Maydon bog'lanishi o'tkazgich yoki aylanishlar soni ω qachonki oqim Φ hamma nuqtalar kesuvidan o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi doimiy bo'lib $\Psi = \omega \Phi$ deb belgilanadi va induktivlik quyidagicha aniqlanadi.

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{\omega\Phi}{i} \quad (1.28)$$

Magnit o'tkazuvchanlik tushunchasi Λ ni kiritsak:

$$\Lambda = \frac{\Phi}{F} \quad (1.29)$$

Bu yerda: F —cho'lg'amning MYUK

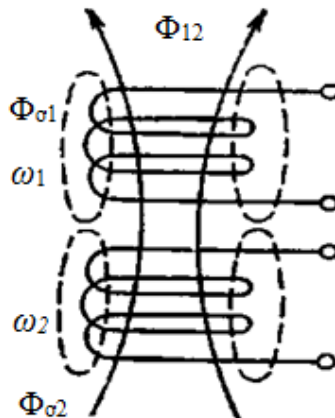
Induktiv g'altak endi shunday qiymatga ega bo'ladiki, tokning va maydonning qiymatiga bog'liq bo'lmaydi va faqat magnit o'tkazuvchanlik bilan aniqlanadi.

$$L = \frac{\omega F \Lambda}{i} = \frac{\omega i \omega \Lambda}{i} = \omega^2 \Lambda. \quad (1.30)$$

Ba'zi holda havo bo'shliq quydagicha bo'ladi:

$$L = \omega^2 \Lambda = \omega^2 \mu_0 \lambda. \quad (1.31)$$

Bu yerda: $\lambda = \frac{\Lambda}{\mu_0}$; F MYUK tashkil topganda maydon uchun magnit o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti. Natijaviy maydon mashinalarda o'zaro induksiyali magnit maydoni va maydonning tarqalishi qabul qilinadi. 1.37-rasmda ikki cho'lg'amli har ikkala cho'lg'am Φ_{12} ham o'zaro magnit bog'langan holda bitta cho'lg'amning maydon kuch chiziqlari bog'langanligi tasvirlangan. (ω_1 -birlamchi cho'lg'amda $\Phi_{\sigma 1}$ moydonning tarqalishi, ω_2 -ikkilamchi cho'lg'amda $\Phi_{\sigma 2}$ moydonning tarqalishi)



1.37 –rasm. O'zaro magnit bog'langan va maydonni tarqalishi.

Elektr mashinalarini konstruksiya maydon oqimining katta qismi stator va rotorda joylashgan, maydonning tarqalishi esa bir necha magnit oqimi orasidan tashkil topgan o'zaro induksiyadir. Magnit maydonni hisoblashda ba'zi hollarda o'zaro induksiya ikki o'lchamli maydon foydalaniladi, agar maydonning tuzilishi va z o'qida yo'nalishi hisobga olinmasa ustma-ustlash keng qo'llaniladi.

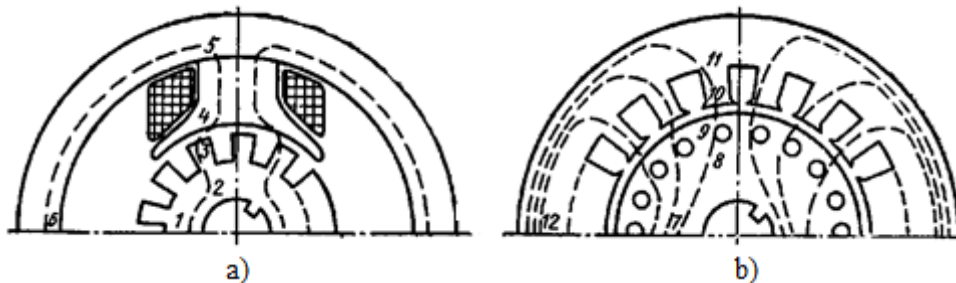
Induksiya $\mathbf{B}$ va tok orasidagi bog'liqlik, maydon hosil qiluvchi, to'la tok bilan aniqlanadi. Shuning uchun yopiq konturdagi magnit maydoni kuchlanganligi integral vektori to'la tokka teng.

$$\oint H_l dl = \oint \frac{B_l}{\mu_a} dl = \sum i_k \quad (1.32)$$

Bu yerda: H_l, B_l - magnit maydoni kuchlanganligining vektori $\vec{H}$ va induksiyasi $\vec{B}$. Integral kuch chizig'i maydon yo'nalishiga mos kelsa H_l va B_l kuchlanganlikga teng bo'ladi va induksiya shu nuqtada tenglashadi (H va B) Integral yopiq kontur uchun hisoblanadi (1.32). Chiziqli integral qaysidir qismda $\int H dl$ bo'lib bu qism

MYUK deb ataladi. Yakor cho'lg'aming tokini nolga yaqin yoki teng bo'lganda, ya'ni salt ishlashda magnit zanjirida hisoblash olib boriladi.

Magnit zanjiri ayon qutbli (1.38.a-rasm) va ayon bo'lmagan qutbli (1.38.b-rasm) mashinalarni beshta bo'lakga ajratiladi.



1.38-rasm. Magnit tizimi ayon qutbli (a) va ayon bo'lmagan (b) mashina.

$$\sum F = F_{\delta} + F_z + F_m + F_a + F_c, \quad (1.33)$$

Bu yerda: F_{δ} -tor tirqishdagi MYUK (3-4,9-10 qismlarda);

F_a - rotor yarmosidagi MYUK (1-2,7-8 qismlarda);

F_z -tishlardagi MYUK (2-3,8-9,10-11 qismlarda) ,

F_m -MYUK qutblar (4-5 qismlarda) ;

F_c ,-statori yarmosidagi MYUK (5-6,11-12 qismlarda)

Tor tirqishdagi MYUK F_{δ} quyidagicha

$$F_{\delta} = k_{\delta} H_{\delta} \delta \quad (1.34)$$

Bu yerda: H_b - tor tirqish kuchlanganligi; $H_{\delta} = (B_{\delta}/\mu_0)$

δ - havo tor tirqishi uzunligi k_{δ} –havo tor tirqishi koeffitsienti $k_{\delta}=1.1 \div 1.5$.

Tishlarda magnit yurituvchi kuchi

$$F_z = H_z l_z \quad (1.35)$$

Bu yerda: H_z - tishlarda o'rtacha magnit maydon kuchlanganligi;

l_z - tish balandligi.

O'rtacha kuchlanganlik tishlarni 3 usulda induksiya bo'ylab aniqlanadi. Agar tishlarda induksiya o'zgarmasa, unda H_z tishlarning butun uzunligi bo'ylab aniqlanadi. Qutblarda magnit yurituvchi kuch quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$F_m = H_m l_m \quad (1.36)$$

Bu yerda: H_m –qutb kuchlanganlik; l_m -qutblar uzunligi.

Rotorning yarmasida magnit yurituvchi kuch quyidagiga teng;

$$F_a = H_a l_a \quad (1.37)$$

Bu yerda: H_a – Rotor yarmosining kuchlanganligi;

l_a – mashina rotor yarmosidagi kuch liniyasining uzunligi.

Statorning yarmasida magnit yurituvchi kuch quyidagiga teng;

$$F_c = H_c l_c \quad (1.38)$$

Bu yerda: H_c –stator yarmosining kuchlanganligi;

l_c – mashina rotor yarmosidagi kuch liniyasining uzunligi.

Ayon bo'lmagan magnit o'zaklarda MYUK stator va rotor yarmalarini hisoblash MYUK ning notekis induksiyali bog'liq bo'lgan koeffitsient bilan hisoblanadi.

$$F_a = \xi H_a l_a \quad (1.39)$$

Magnit zanjirlarni hisoblashda mashinaga tor tirqishda induksiyasi B_δ keyin maydon aniqlanib, qolgan uchastkalardagi induksiya aniqlanib mashinaning geometrik qiymatlari hisoblanadi.

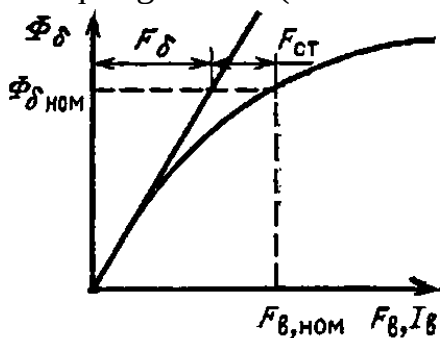
MYUK yig'indisi orqali butun tok topiladi (1.38):

$$\sum F = I\omega = F_v \quad (1.40)$$

Bu yerda: F_v -MYUK qo'zg'atuvchi tok

MYUKni hisoblash B_δ ningbir nechta qiymati olinadi, keyin esa magnitlanish xaraktrestikasi yoki magnit xarakteristikasi quriladi. $F_\delta = f(B_\delta)$ (rasm-1.39). Xarakteristikaning boshlang'ich qismi to'yinish holati $F_\delta = f(B_\delta)$ bilan aniqlanadi.

$F_{\delta nom}$ oralig'iga maydonning mos keluvchi qiymati ishlayotgan qismi axamiyatga ega bo'lib magnit xarakteristikasining ustunlarida tanlanadi. Odatda $\sum F$ juft qutbliklardan hisoblanadi. Bunday holatda maydon konturga, qachonki maydon tutashganda ikkita tor tirqishiga, ikkita tishlar uzunligiga, qutblarga va stator va rotor yarmalarining to'liq kuch chiziqlariga kiradi (1.38-rasmga qarang).



1.39 –rasm. Mashinaning magnit xarakteristikasi.

Magnit sestema xisoblangandan keyin bitta qutbdagi qo'zg'atish cho'lg'amidagi MYUKni aniqlash mumkin.

$$I_v \omega_v = F_v / 2 \quad (1.41)$$

Bu yerda: I_v -qo'zg'atuvchi tok;

ω –qo'zg'atuvchi cho'lg'amning o'ramlar soni

Ko'p qutbli mashinalarda juft qutblarda maydon holati takrorlanadi, shuning uchun juft qutblarda magnit tizimini hisoblash olib boriladi.

Mashinaning magnit yurituvchi kuchininig ko'rinishi quyidagicha (1.39-rasm).

$$\sum F = F_\delta + F_{st} \quad (1.42)$$

Bu yerda: F_{st} –po'latli qismining MYUK
Munosabat:

$$k_n = (F_\delta + F_{st}) / F_\delta \quad (1.43)$$

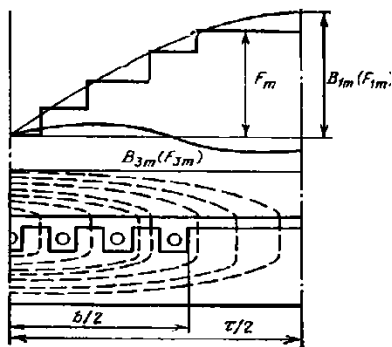
Mashinaning to'yinish koeffitsienti, u havo bo'shlig'i va mashinaning magnit zanjiridagi po'latning to'yinishiga bog'liqdir. $k_t = 1.1 \div 1.6$; sinxron va o'zgarmas tok mashinalari uchun $k_t = 1.1 \div 1.3$; asinxron mashinalar uchun $k_n = 1.2 \div 1.6$.

Agar po'latning magnit singdiruvchanligini $\mu_{st} = \infty$ deb qabul qilsak unda F_{st} -nolga teng bo'ladi, va induksiya oralig'i $I\omega$ ga proporsional bo'ladi.

$$B_{\delta} = \frac{\mu_0}{\delta'} I\omega = kI\omega \quad (1.44)$$

Bu yerda: $\delta' = k_{\delta}\delta$

To'yingan mashinalarning maydon ko'rinishi salt ishlash rejimida cho'lg'amlarda MYUK ning taqsimlanishi bilan aniqlanadi, unda magnitlovchi tok hosil bo'ladi (1.40-rasm).

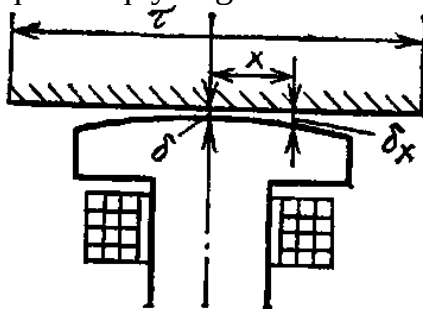


1.40-rasm. Ayonmas qutbli mashinaning magnit maydoni.

Ayonmas qutbli mashinalarning teng taqsimlangan tor tirqishdagi hamda silliq stator va rotorlarning havo bo'shliqdagi maydonning shakli MYUK ning taqsimlanishi bilan aniqlanadi.

To'yingan aniqmas qutbli mashinaning tor tirqishdagi induksiyaning MYUKning sinusoidal tarqalishini olish mumkin, agar nazariy jihatdan sinusli cho'lg'am bilan taminlaydi va o'ramlar sinusoidal qonuni bo'yicha taqsimlanadi.

Aniq qutbli to'yinmagan quzg'atish cho'lg'am jamlangan g'altak ko'rinishidagi mashinani tor tirqishdagi maydon shakli tor tirqishdagi magnit qarshiligi orqali topiladi. Tor tirqishdagi maydon shaklini sinusdagi maydon yaqinlashtirish uchun tor tirqishni quyidagi usulda filtrlash kerak (1.41-rasm).



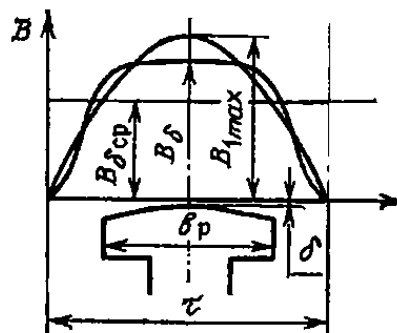
1.41-rasm. Ayon qutbli mashinaning tor tirqishni ko'rinishi.

$$\delta_x \approx \frac{\delta}{\cos\left(\frac{\pi x}{\tau}\right)}, \quad (1.45)$$

Bu yerda: δ - qutbning orasidagi tor tirqishi

Qutbli poynyak qirrasidagi tor tirqishi (1,2 dan 1,6) δ ga teng bo'ladi (1.45) ga ko'ra bajarilgan teng bo'lmagan tor tirqishili ayonmas qutbli mashinani oralig'i trapetsiya shaklga ega yuqori garmonikalarni uncha ko'p bo'lmagan

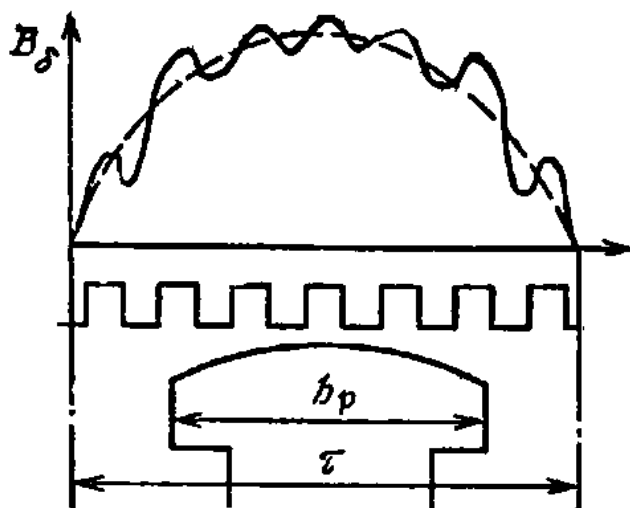
tebranishlari bor. 1.42-rasmda $\beta_{1\max}$ tebranishning 1-chi garmonikasi, β_{bsr} -tor tirqishdagi induksiyaning o'rtacha qiymati. Elektr mashinalarini hisoblashda $\beta_{\delta o'r}$ formuladan EYUK ni aniqlanadi.



1.42-rasm. Ayon qutbli mashinaning magnit maydoni.

Statordagi o'yiqlar tor tirqishdagi magnit qarshilarini o'zgartiradi va tor tirqishning maydon shakliga egilish kiritadi.(1.43-rasm)

Rotor va stator o'yiqlarining mavjudligi maydon tasirini yanada murakkablashadi. Lekin 1-chi garmonikadagi tebranish uncha o'zgarmaydi.



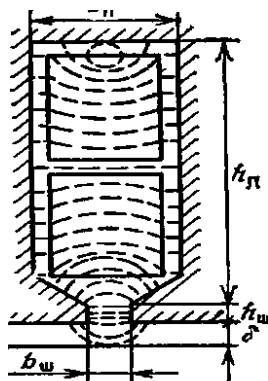
1.43-rasm. Stator o'yiqlaridagi mashinaning maydoni.

Yuklama paytidagi o'zaro induksiya maydonli stator va rotordan o'tadigan toklar orqali topiladi. Shu bilan birga tor tirqishda maydon shaklining egilishi sodir bo'ladi va F_{δ} oralig'ida to'lqin salt ishlash rejimiga nisbatan kamayadi. Yuklama tokning mashina hususiyatiga tasiri yakor reaksiyasi deyiladi. Yakor reaksiyasi turli xil mashinalarda turlicha namoyon bo'ladi va shunga tegishli kursda o'rganiladi[8].

Mashinaning tarqalish maydonini 3 ga bo'linadi: o'yiqlardagi tarqalish maydoni; old tomondagi qismlari tarqalish maydoniga va difrensial tarqalish maydoniga .

O'yiqlardagi maydonning tarqalishi o'yiqlarda tarqalish maydoni va tishlarning bosh qismlari maydoniga bo'linadi (1.44-rasm). O'yiqlardagi maydonning tarqalishi o'yiqlarning geometriyasiga bog'liq (b_p -o'yiqning eni va h_n -balandligi) undan tashqari o'yiqning b_{sh} ochilish hajmiga va o'yiqlar h_{sh} bo'laklariga bog'liq.

O'yoqlardagi maydonning tarqalishini hisoblashda o'yoqdagi toklarning murakkab formasi bilan qiyinlashadi, shuning uchun analitik yechimlarni faqat oddiy hollarda qo'llash mumkin.



1.44-rasm. O'yoqlardagi tarqalish maydoni.

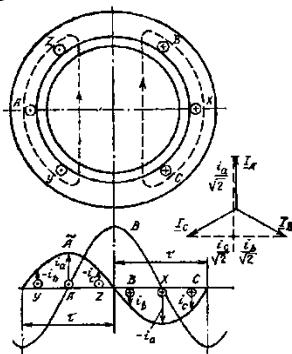
Elektr mashinalarning tor tirqishdagi maydonning asosiy gamonikalari maydonning yuqori garmonikalari orqali hosil bo'ladi. Elektr mashinalarni hisoblashda ishchi maydon 1-chi garmonika hisoblanadi, maydonning yuqori garmonikasi esa o'yoqlardagi maydonning tarqalishi yoki differensial taqalishga bog'liq bo'ladi.

Nazorat savollari.

1. Elektr mashinada magnit maydoni qaysi oraliqda hosil bo'ladi?
2. Elektr mashinani magnit xarakteristikasini tushuntiring?
3. Stator va rotor pazlaridagi hosil bo'luvchi magnit maydon qanday shaklda?

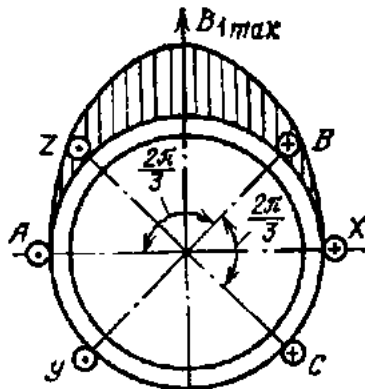
1.8. Aylanuvchi magnit maydoni

Elektr mashinalarining magnit maydonini soddalashtirish uchun ko'chmas holatda va birinchi yaqinlashuv yassi parallel bo'ladi. Elektromexanik energiyaning vujudga kelishi deyarli hamma elektr mashinalarida magnit maydonining aylanishi bilan bog'liq. Bunda turg'un magnit maydonida xohlagan vaqtda magnit maydon tebranishi va shakli nomalumligicha qoladi. Uch fazali sistemada aylanuvchi magnit maydonini qo'zg'almas qism cho'lg'amlarda hosil qilishi mumkin. Tor tirqishdagi maydonda birdaniga hosil bo'ladigan toklar vaqtga bog'liq bo'lib 1.45-rasmda ko'rsatilgan vektor diagrammasiga o'xshash bo'ladi.



1.45-rasm. Uch fazali mashinalarda aylanma magnit maydon.

1.45-rasmga asosan fazalarda vaqt bo'yicha tokning oniy qiymati $i_a = I_{max}$ va $i_a = -1/2 I_{max}$ ga teng. Mashinaning o'ng va chap tomondagi toklar moduliga mos keladi, tor tirqishdagi maydonda esa, faza cho'lg'amlarida perpendekulyar tekislikda B_{max} induksiyasi bo'lib maksimal va aralash munosabatda bo'lib, tokining zichligi $\vec{A}$ 90° ga teng.



1.46-rasm. Simmetrik cho'lg'amli uch fazali mashinaning sxemasi va vektor diagrammasi ($m=3, p=1, q=3, z=18$)

Tokning vaqt davomida o'zgarishi natijasida tor tirqishdagi maydonda aylanish hosil bo'ladi. Shunday qilib elektr mashinalarida alanma tok maydoni natijasida aylanma magnit maydoni hosil bo'ladi.

Generatorda aylanuvchi magnit maydoni, ya'ni qo'zg'atish cho'lg'ami aylanishida uch fazali stator cho'lg'amidavaqt bo'yicha 120° burchakga siljigan o'zgaruvch tok va kuchlanish hosil qiladi.

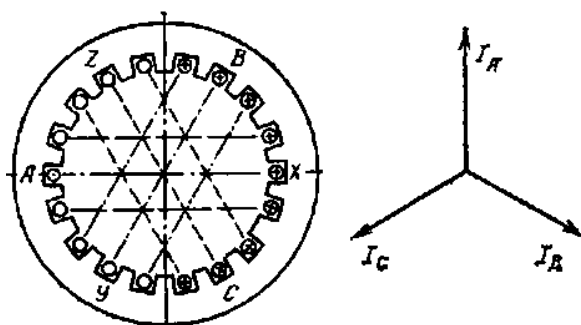
Aylanuvchi magnit maydoni tor tirqishdagi maydonda bir xil bo'lmagan tezliklarni aralashtirib yuborishi mumkin, maydon tuzilishi esa sinusoidan farq qilishi mumkin. Bunda maksimal ahamiyatdagi induksiyaning qiymati statorning ichki diametri bilan har-xil bo'lishi mumkin.

Sinusoidal bo'lmagan paytda tor tirqishdagi maydonda yuqorida aytib o'tilgan maydonlarning asosiy va quyi garmonikalarini tasavvur qilish mumkin. Simmetriyaga ega bo'lgan mashina maydonlarida asosiy va quyi garmonikalari to'g'ri va teskari tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi. Shunday qilib, umumiy holatda tor tirqishdagi maydonda garmonikalarining spektri turlicha chastotada joylashgan. Agar quyi garmonikalar bo'lmasa, unda teng taqsimlangan aylanuvchan chastotali maydon va o'zgarmas amplitudada aylanadigan maydon aylanma yoki sinusoidal deyiladi. Tor tirqishdagi maydonda magnit maydonning to'liqlanishi juft son bo'lishligi uchun tirqishlarni ma'lum bir sonlarni tanlash zarur.

$$z = 2mpq, \quad (1.46)$$

Bu yerda: q -qutblarning tor tirqishlar va fazalar soni.

Cho'lg'amlar uchun 1.47- rasmga ko'rsatilgandek qutblarning tor tirqishlar soni 18 ga teng, shunday holda $m=3, p=1, q=3$



1.47- rasm.Cho'lg'ami $q=1$ ga teng bo'lgan to'rt qutbli uch fazali mashinaning sxemasi va vektor diagrammasi.

Fazadagi har bir o'ramlar o'tkazgichlari bir-biridan qutb bo'lagi oralig'ida joylashgan bo'ladi.

$$\tau = \frac{\pi D_a}{2p}, \quad (1.47)$$

Bu yerda: D_a - statorning ichki diametri.

Ko'rilayotgan cho'lg'amning qutb bo'lagi aylananing yarmini tashkil qiladi. Shuning uchun cho'lg'amning qadami y qutb bo'lagi τ ga teng. Cho'lg'amlari $y=\tau$ bo'lsa, diametr uzunligi deyiladi. 2 qutbli mashinada ikkilamchi qutb bo'linmali 2τ 360° li elektr burchagiga mos keladi. Boshlang'ich A,B,C fazalari bir biridan 120° li elektr burchagini hosil qiladi, 2 qutbli mashina aylananing $\frac{1}{3}$ qismini tashkil qiladi.

Metodik qarashlarga binoan cho'lg'amlarning bosh uchlari A,B,C yoki a,b,s; cho'lg'amlar oxirgi uchlari X,Y,Z yoki x,y,z harflar bilan belgilanadi. GOST-183-74 ga asosan stator cho'lg'aminin boshlang'ich fazasi- S_1, S_2, S_3 oxiri esa S_4, S_5, S_6 kabi va rotor cho'lg'aminin boshlang'ich fazasi- R_1, R_2, R_3 oxiri esa R_4, R_5, R_6 lar bilan belgilanadi.

1.45-rasmda ko'rinadiki, stator aylanasi atrofida toklarning taqsimlanishi sinusoidal qonuniga yaqinlashayotganini ko'rish mumkin.

Agar magnit qarshiligini stator va rotor ning magnit o'zagida 0 ga teng deb oladigan bo'lsak, unda asosiy energiya magnit maydoni tor tirqishlarda joylashgan bo'ladi. Bunday holatda tor tirqishlarda induksiyaning o'zgarishi sinusoidal bo'ladi.

Faza toklarning o'zgarishi natijasida tokning vektor diagrammasi burilishimagnit maydonning egri tarqalgan stator toki va magnit oqimi tor tirqish va faza yuklanishi bo'ylab aylanadi. Shu yo'l bilan elektr mashinalar orasida aylanuvchi magnit maydoni hosil bo'ladi. Ikki qutbli mashinada chastota aylanishi magnit maydoni va chastota o'zgarishi tok statorinikidek bo'ladi, f_1 . Qutblar sonini ko'payishi $2r=4$; u $1/4$ qismiga, $2r=6$; bo'lsa $1/6$ qism bo'laklarini tashkil qiladi.

1.48-rasmda $q=1$ bilan ifodalangan to'rt qutbli uch fazali cho'lg'amlari ifodalanangan sxema keltirilgan. Bunday holatda ikki qutbli mashinalar kabi aylanma maydon hosil bo'ladi, lekin bir davr yarim aylanada maydon buriladi va maydonning aylanish chastotasi quyidagiga teng bo'ladi.

$$n_1 = \frac{f_1}{2}. \quad (1.48)$$

r juft qutblari uchun magnit maydon quyidagicha .

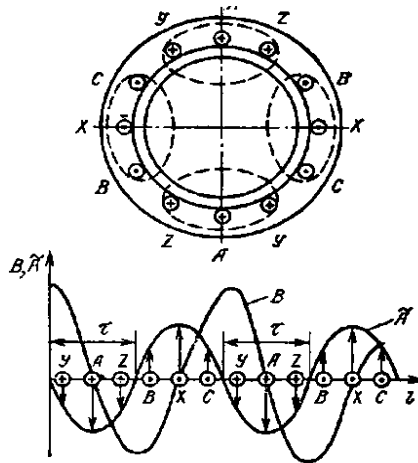
$$n_1 = \frac{f_1}{p}. \quad (1.49)$$

Yoki aylanma minut bo'yicha quyidagicha.

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}. \quad (1.50)$$

Bunda chiziqli magnit maydonining aylanma tezligi quyidagicha

$$v_1 = \pi D_a n_1 = 2p\tau \frac{f_1}{p} = 2\tau f_1 \quad (1.51)$$



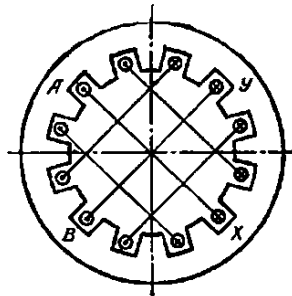
1.48-rasm. Uch fazali elektr mashinalarning tor tirqishidagi aylanma maydon.

50 Gs chastotada maydonning aylanish chastotasi standart holati 1.2-jadvalda ko'rsatilgan. Magnit maydon yo'nalishi cho'lg'amlarga tarmoqdan kuchlanish berilganda A,B,S faza toklari bilan aniqlanadi. Bunda A,B,S fazalari uch fazali sistemaning vektor diagrammaga to'g'ri kelishi kerak. Magnit maydoning yo'nalishini o'zgartirish uchun cho'lg'amning tarmoqqa ulangan fazalar ketma-ketligini almashtirib ulash kifoya.

Jadval-1.2

p	1	2	3	4	5	6	8	10	30	50
$n_1, \text{ ayl/min}$	3000	1500	1000	750	600	500	375	300	100	60

Magnit maydoni tor tirqishlarda taqsimlanishi davriy xarakterga ega. Egri chiziqli magnit induksiya ko'p qutbli mashinaning tor tirqishida har ikki davrda qaytariladi. Aylanuvchi magnit maydon faqatgina 3 fazada emas, balki 2 va ko'p fazali cho'lg'amlarda hosil bo'lishi mumkin.



1.49-rasm. Ikka fazali simmetriyali cho'lg'am ($m=2, p=1, q=3, z=12$).

1.49 sxemada 2 fazali cho'lg'am ko'rsatilgan bo'lib, unda tor tirqishda aylanuvchi maydon A va B faza toki siljishida va cho'lg'amda siljish elektr burchagi 90° ga teng bo'ladi. Ikki fazali cho'lg'am 1.49-rasmga asosan $z=2mpq=2*2*1*3=12$. Uch fazali sistemada ham tor tirqishda sodir bo'lgan maydon tokining o'zgarish tezligi maksimal tokni hosil qiladi. Ikki fazali cho'lg'amlarda ham uch fazalarnikidek bajariladi.(1.46) ga binoan $q=2$ bo'ladi. Bunday holatda mis simining hajmi ikki fazali va uch fazali cho'lg'amlarda o'zgarmaydi, tokning zichligida cho'lg'amlardagi MYUK har ikkala holda ham bir xil. Ikki va uch fazali mashinalar xuddi shunday o'lchamlarda tayyorlanib, shunday elektr magnit momentini hosil qiladi. Agar (1.9) ga asosan momentni aniqlashda faza tokini olish kerak, shunda $3/2$ koefitsient hosil bo'ladi.

Shuning uchun umumiy holatda elektromagnit momentni aniqlashda(1.9) formulada $m/2$ koefitsienti o'rinli bo'ladi.

Aylanuvchi maydonni yagona qo'zg'almas cho'lg'amda hosil qilish mumkin emas. Agar bir fazali cho'lg'am o'zgaruvchan kuchlanish bilan ta'minlangan bo'lsa tor tirqish ikkita qarama-qarshi tomonga aylanadigan: to'g'ri va teskari turtki magnit maydoni hosil bo'ladi[8].

To'g'ri va teskari tebranish maydonlari bir xil. Aylanma chastotalari ham bir xil. Shunday qilib bir fazali elektromexanik mashinalarning tor tirqishlarida ikkita aylanuvchi maydon ta'sirida energiya hosil bo'ladi. Bir fazali cho'lg'amlarni ikki yoki uch fazali cho'lg'amlardan olish mumkin, agar cho'lg'am fazalarini to'g'ri ulansa.

Elektr mashinalarning tor tirqishida ikkita qarama-qarshi aylanuvchi bir-xil sinxron chastotaga ega bo'lgan har-xil tebranishli maydon bo'lishi mumkin. Bunday maydon ellipsga oid maydon deyiladi. Simmetriyaga ega bo'lgan mashinaning tor tirqishida mashinaning fazalariga nosimmetrik kuchlanish ulanish natijasida ellips shaklli maydon hosil bo'ladi. Nosimmetrik mashinalar sababli tor tirqishlarda ellips ko'rinishdagi maydon hosil bo'ladi.

Shu paytgacha mashinaning maydoni bitta cho'lg'amda hosil bo'lishi bilan ko'rib chiqilgan. Elektr mashinalarning stator va rotor cho'lg'amlarida yuklama ostida natijaviy maydon ta'sirida tok hosil bo'ladi. Rotor tokini rotordagi magnit maydoni hosil bo'ladi. Salt ishlash rejimida aylanuvchi maydonni $\vec{B}$ vektor induksiyasi yoki mashinaning tor tirqishida sinxron chastotali F maydon ko'rinishida tasavvur qilish mumkin.

Nazorat savollari.

1. Aylanuvchan magnit maydon hosil qilish shartlarini ayting?
2. Aylanuvchan magnit maydonni ikki fazada ham hosil qilsa bo'ladimi?
3. Ko'p fazali aylanuvchan magnit maydonni afzalligi nimada?

1.9.Elektr mashinalari cho'lg'amlari

Cho'lg'am bu – mashinalarda magnit maydonini hosil qiladigan tok o'tadigan konturga aytiladi. Katta o'zgarmas va o'zgaruvchan elektr mashinalarning ko'p fazali cho'lg'amlari turlicha shaklda tayyorlanadi. Elektr mashinalarning cho'lg'ami

asosiy qismlarining biri bo'lib tuzilishiga ko'ra energetik va og'ir o'lchoviga xarakteristikaga bog'liq bo'ladi. Elektr mashinaning cho'lg'amlari bir fazali, ikki fazali, uch fazali va ko'p fazali bo'ladi.

Elektr mashinalar qoida bo'yicha simmetriyali cho'lg'amlar ishlatiladi. Uch fazali simmetriyaga ega bo'lgan cho'lg'am quyidagi talablarni bajaradi. Barcha uch fazalar cho'lg'amlari bir xil sharoitda bo'lishi kerak. Hamma fazalarda bir xil EYUK hosil bo'lishi shart. EYUK lar faza jihatidan 120° ga siljigan bo'lishi kerak.

Cho'lg'am tayyorlanayotganida mexanik va elektr chidamlilik, yetarli darajada issiqlikga bardoshligi, texnologik tayyorlanishi va ta'mirlash qulayligi taminlash kerak. Cho'lg'am minimal qiymatda bo'lishi shart. Mashinaning yuqori energetik ko'rsatgich bo'lishi uchun ishonchli ishlashi zarur. Cho'lg'amlarning o'ramlaridagi maydon bog'langanligi xarakteriga qarab **to'plangan va tarqalgan** cho'lg'amlarga bo'linadi.

Cho'lg'amlarning barcha o'ramlaridagi maydonning to'planishi bilan o'zaro induksiya magnit bog'lanishi bir xilda bo'adi. Maydonning to'planishiga transformator cho'lg'amlari, ayon qutbli sinxron mashina va o'zgarmas tok mashinalarining qo'zg'atish cho'lg'amlari kiradi. (1.38, a-rasmga qarang).

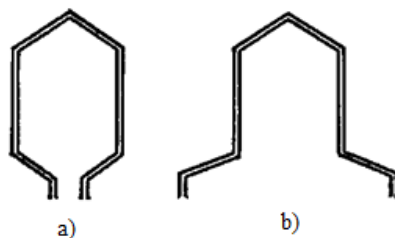
Magnit maydon bog'lanishi har qanday vaqtda cho'lg'am o'ramlarida turlicha taqsimlanadi (1.40-rasmga qarang). Cho'lg'amlarning taqsimlanishiga o'zgaruvchan va o'zgarmas tok mashinalarining yakorlari, asinxron mashinaning rotor cho'lg'ami, kompensatsiyalovchi va maxsus cho'lg'amlar kiradi.

To'plangan yoki g'altak cho'lg'amlari aylana yoki to'g'ri burchakli simlardan alanga yoki qavurg'ali qilib tayyorlanadi. Tayyorlangan har xil ko'rinishdagi qo'zg'atish cho'lg'ami va transformatorlarda kursning tegishli bo'limlarida ko'rib chiqiladi.

Cho'lg'amlarni tayyorlashda quyidagilarga e'tibor berish kerak, ya'ni cho'lg'am elementlari mashinaning magnit maydoni joylashishini va cho'lg'am bo'laklari bir-biri bilan bog'langan bo'lishi kerak.

Sxemaning geometrik o'lchami-cho'lg'am o'ramlari-ahamiyatga ega emas, eng asosiysi, cho'lg'am bo'laklari tomonlarining bir-biriga mosligi va mashina qutblari ahamiyatli.

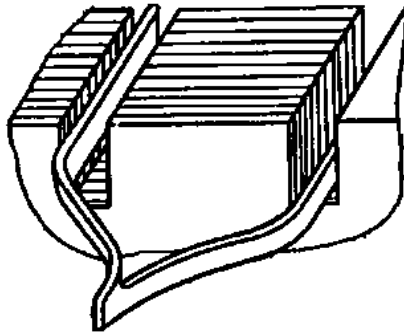
Cho'lg'amlarning taqsimlanishini oddiy va murakkabga bo'lish mumkin. Murakkab cho'lg'amlar ikki yoki uchta oddiy cho'lg'amlardan tashkil topgan.



1.50-rasm.Cho'lg'amning ikki qatlamli bo'lagi: a) halqasimon; b) to'liqinsimon.

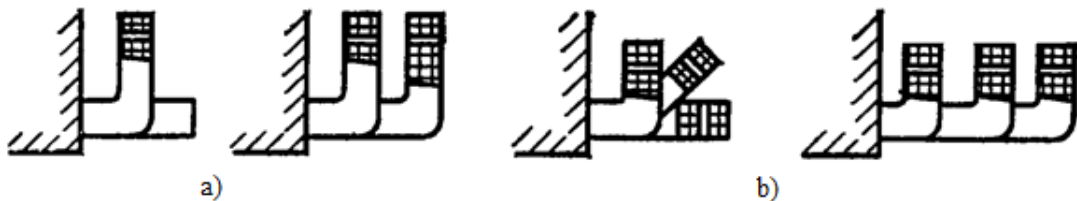
Oddiy cho'lg'am bir qatlamli va ikki qatlamli bo'ladi. Cho'lg'am bo'laklarga bo'linadi. Bo'lak o'z navbatida o'ramlardan iborat. 1.50 rasmda bo'lak bitta

o'ramdan tuzilgan. Cho'lg'amning bo'lagi ikki tomonidan iborat. Ikki qatlamli cho'lg'amda bo'lakning bir tomoni o'yiqlarning pastgi qismida, ikkinchi tomoni yuqorida joylashgan. Cho'lg'am bo'laklarining bir qismi o'yiqlarning pastki qismida, boshqasi ustki qismida joylashi uchun chetki qismlari maxsus moslashtiriladi (1.51-rasm). Cho'lg'amning chetki qismi tik yo'nalishda buklanadi.



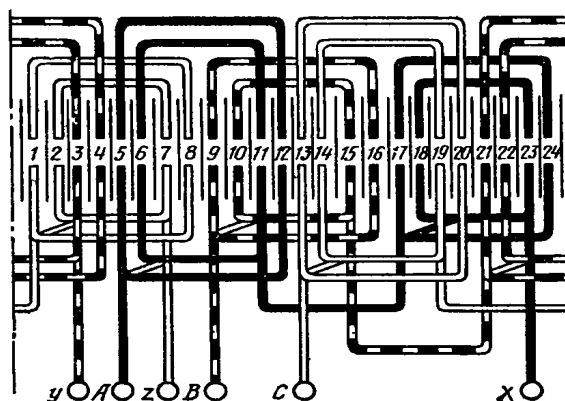
1.51-rasm. Ikki qatlamli cho'lg'amning tirsak qismi.

Bir qatlamli cho'lg'amlar chetlari tik joylashuviga qarab bo'laklarning chetki qismlari bir biriga nisbatan qurshab olinadi va ikki–uch tekislikda joylashgan ikki va uchta tekislikda joylashshga moslashtiriladi (rasm-1.52 a, v) .



1.52-rasm. Bir qatlamli cho'lg'amning chetki qismi: a) ikkitekislikli; b) uchtekislikli.

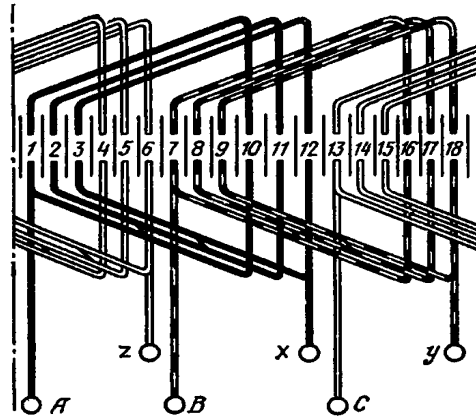
1.53-rasmda uch fazali bir qatlamli ikki tekislikda o'ralgan cho'lg'am sxemasi berilgan. Bunda $2p=4$, $q=2$, $z=2mpq=2*3*2*2=24$ bo'ladi. Ikki va uch tekislikli bir qatlamli cho'lg'am texnologik jihatidan noto'g'ri, chunki cho'lg'am bo'laklari shakli har xil bo'ladi.



1.53-rasm. Uch fazali bir qatlamli ikki tekislikda o'ralgan cho'lg'am.
($m=3$, $2p=4$, $q=2$, $z=24$)

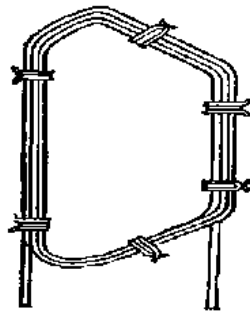
Qoliblangan yoki teng bo'lakli cho'lg'am quvvati 10 kVt gacha bo'lgan mashinaning stator cho'lg'amlarida qo'llaniladi. Bu cho'lg'am yumshoq bir –xil

bo'laklarga ega. $2p=2$, $q=3$, $z=2mp$, $q=2*2*1*3=18$ lar uchun oddiy uch fazali qoliblangan cho'lg'am 1.54-rasmda ko'rsatilgan.



1.54-rasm. Uch fazali qoliblangan cho'lg'am . ($m=3$, $2p=2$, $q=3$, $z=18$)

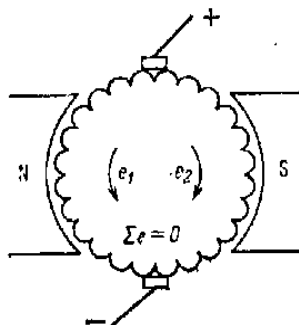
Qoliblangan cho'lg'amning bo'laklari 1.55-rasmda ko'rsatilgan. Odatda cho'lg'amning bunday bo'laklari bir nechta o'ram yoki o'nlab o'ramlardan tashkil topadi.



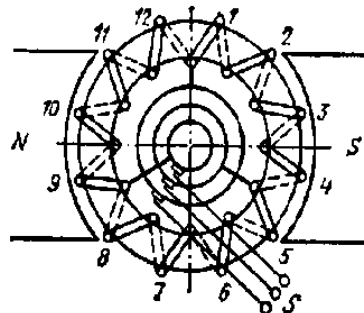
1.55-rasm. Pazlarga joylashtirishdan oldingi qolibli cho'lg'amning o'rami.

Qoliblangan cho'lg'amning har xil ko'rinishi-zanjirli cho'lg'am, chetki qismlari o'ta ixcham joylashgan ko'rinishi mavjud. Cho'lg'amning bo'laklarini o'yiqlarga joylashtirishdan oldin qolibga o'raladi. Chetki qismi qoliblangan cho'lg'amni o'yiqlarga taqlangandan keyin maxsus lakga botiriladi va quritiladi.

Ikki qatlamli cho'lg'amni yasash jarayonini oddiygina, buni o'zgarmas tok mashinasining halqali grammov cho'lg'amini (1.56-rasm) va uch fazali sinxron mashinaning munasabatini tasavvur etish mumkin(1.57-rasm).



1.56-rasm. Grammov cho'lg'amining halqasimon sxemasi.



1.57-rasm. Ko'p fazali o'zgaruvchan kuchlanishni olish.

Uch fazali o'zgaruvchan kuchlanishni olish uchun halqali cho'lg'amning uchta nuqtasidan elektr burchagi bir biridan 120° ga siljishgan kuchlanishni kiritish kerak (1.57-rasm).

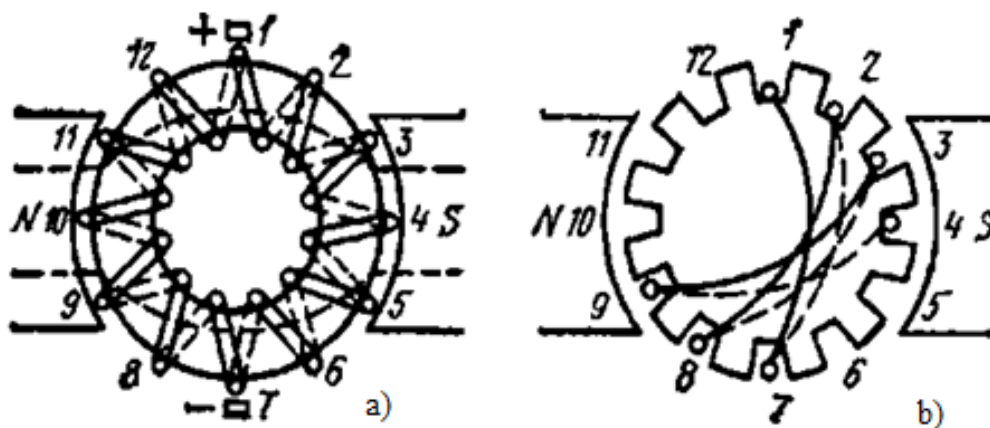
1.57-rasmda 12 o'ramli yoki 12 ta bo'limdan iborat halqasimon cho'lg'am ko'rsatilgan. Bo'lim bitta o'ramdan tashkil topgan, ammo u bir nechta o'ramlardan iborat bo'lishi mumkin.

O'n ikki bo'limli halqasimon cho'lg'amdan sistemaning 12 fazali kuchlanishini olish mumkin, agar bo'limlar halqadan chiqarilgan bo'lsa. Shunday qilib fazalar soni cho'lg'am parametrlariga va undan chiqishidagi kavsharlar soniga bog'liq. Kuchlanish fazalari tushunchasi yoki cho'lg'amlar fazalari miqdori fazaviy kuchlanish vektorlari yoki ikki qutbli mashinalarda cho'lg'am fazasi oralig'idagi faza burchakning elektrli burchak bilan bog'liqligidir. Birta yoki o'sha cho'lg'amda ko'p fazali va uch fazali kuchlanishni olish mumkin, cho'tka va kollektorning mavjudligi esa-o'zgarimas kuchlanishni bildiradi. Halqasimon cho'lg'amda ikki parallel yakor cho'lg'amining shoxalari juda yaxshi ko'ringan.(1.56-rasm). Parallel cho'lg'amning cho'lg'amlari simmetrik bo'lganda EYUKning quyidagiga teng.

$$\sum e = e_1 + e_2 = 0$$

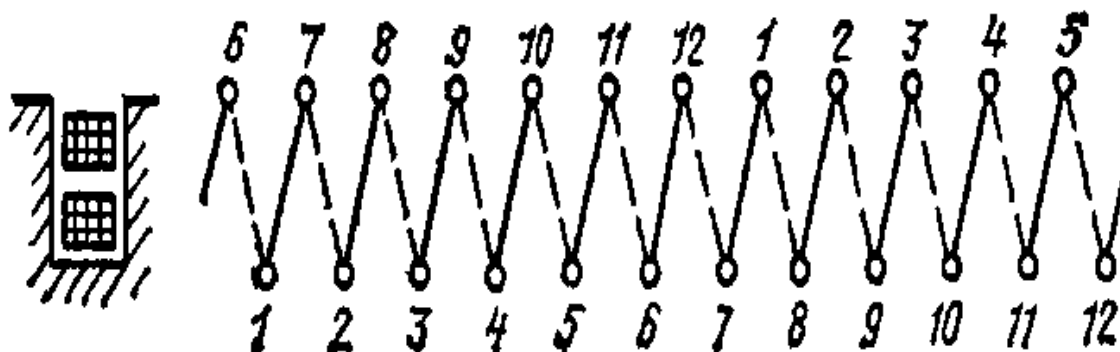
Halqasimon cho'lg'amda EYUK faqatgina cho'lg'am qismiga yo'naltiriladi, ya'ni unda toroidning tashqi yuzasi yotadi, aniqrog'i magnit maydoni kuch chizig'ini kesib o'tuvchi joydagi qismiga to'g'ri keladi. Cho'lg'am materialidan foydalanishni yaxshilash uchun, cho'lg'amlarning aktiv uzunligini oshirish zarur (EYUK yo'naltiriladigan qism). Buning uchun grammov cho'lg'amda toroidni ichki qismida joylashgan cho'lg'am qismini tashqi qismga olib chiqish kerak.

Baraban cho'lg'ami deb aytiladigan prinsip tuzilma yakorning tashqi qismida joylashgan cho'lg'amning ikki qismi 1.58-rasmda ko'rsatilgan. Rasimga tiqishtirmaslik uchun va cho'lg'am sxemasi tahlilini qiyinlashtirmaydi, 1.58,b-rasmda cho'lg'am bo'linmasi qisminigina joylashtirilishi ko'rsatilgan.



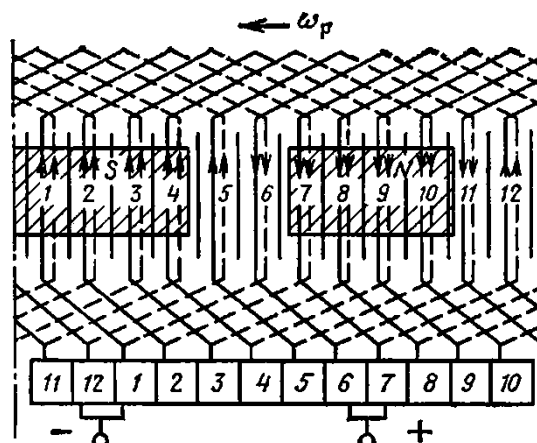
1.58-rasm. Halqasimon(a) va barabanli) b) cho'lg'am.

Barabanli cho'lg'am–ikki-qatlamli, bu yerda bo'limning bir tomonida shunday cho'lg'amlar tubida tirqishda yotadi, boshqasida esa yuqori qismida. Baraban cho'lg'am tirqishida bo'limlarning almashinishi cho'lg'amning prinsipial sxemasida juda yaxshi ko'ringan.(1.59-rasm).



1.59-rasm. 1.58, b rasm bo'yicha ikki qatlamli cho'lg'amning prinsipial sxemasi.

Bu sxemada tirqishning yuqori (yaxlit chiziq) va pastki (kesik chiziq) qismida bo'limning joylashishi ko'rsatilgan.



1.60-rasm. O'zgaras tok cho'lg'ami ($2p=2$, $z=12$, $K=12$).

Grammovskiy cho'lg'amining cho'tkasi qutblar o'rtasida o'rnatiladi, bara-banli cho'lg'amda esa – qutbning o'rtasi qismida, cho'lg'am bo'limi qarama-qarshi qismida tangensial yo'nalishda ega bo'ladi (1.50-rasm). Kommutatsiyaning aylanishida cho'tkalarni turlicha joylashuviga qaramasdan, ya'ni seksiyalar bir parallel cho'lg'amdan boshqasiga o'tadi, ikkala xildagi cho'lg'amda ham zona ro'y beradi, u qutblar oralig'ida joylashadi.

Halqasimon va barabanli cho'lg'amlar prinsipial jihatdan bir-biridan farq qilmaydi. Farqi faqat texnologik jihatdan xolos. Shuning uchun u yoki boshqa cho'lg'amlarga murojaat qilgan holda cho'lg'amni o'rganish foydalidir.

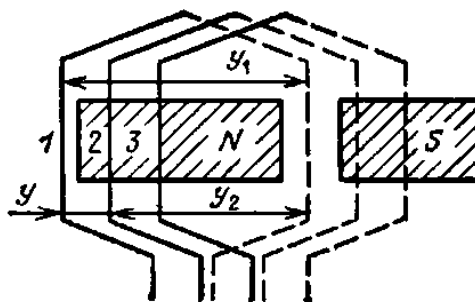
1.56 va 1.57-rasmlardan ko'rinib turibdiki o'zgaruvchan va o'zgaras tok mohiyati jihatidan bir biridan farq qilmaydi. Kollektor mavjudligida bir yoki o'sha halqasimon cho'lg'amdan o'zgaras tok olib tashlanadi, uning halqa va cho'tkalari esa o'zgaruvchan tokni olish imkoniyatini beradi.

1.60.rasmda tirqishlar miqdoridan o'zgarmas tokli ikki cho'lg'amli cho'lg'am sxemasi berilgan $z=12$ va kollektorli plastina miqdori $K=12$. Ilmoqsimon sxemada seksiyalar soni 24. 1.61-rasmda uch fazali ikki qatlamli cho'lg'am sxemasi ko'rsatilgan, xuddi o'zgarmas tok cho'lg'amidagi kabi bu yerda ham juft qutb va tishlar miqdori uchun bajarilgan.

Ikki qatlamli cho'lg'amda ko'pincha bir qatlamlidan foydalaniladi. Ikki qatlamli cho'lg'am eng qulay qadamni tanlash imkoniyatini beradi, ular juda arzon, mis simi va izolyasiya kam sarflanadi va cho'lg'amni tayyorlashda yaxshi mexanizatsiya ruxsat etiladi. Kollektorli o'zgarmas tokli mashinalarda bir qatlamli cho'lg'amlardan qo'llanilmaydi[8].

Ikki qatlamli cho'lg'am **sirtmoqsimon va to'lqinlilarga** bo'linadi.

Elektr mashinalarning cho'lg'ami cho'lg'am qadami bilan tavsiflanadi. Natijasi yuzaga kelgan cho'lg'am qadami **u** - ketma-ket ulangan ikki seksiya oralig'idagi masofa bilan va qisman qadam **u_1** va **u_2** , u qo'shni seksiyaning boshlanishi va birinchisining oxiri va seksiyani oxiri va boshlanishi orasidagi masofa bog'liq holda aniqlanadi.



1.62-rasm. Sirtmoqsimon cho'lg'am seksiyasi.

Odatda cho'lg'am qadami tirqishlar miqdori yoki qutbli bo'linishga nisbatan o'lchanadi.

1.62-rasmda sirtmoqsimon cho'lg'am elementi ko'rsatilgan. Bu yerda: u_1 - qisman birinchi qadam-seksiyaning boshi va oxiri oralig'idagi masofa, u_2 -ikkinchi qisman qadam- birinchining oxiri va ikkinchi seksiyaning boshlanishi oralig'idagi masofa. Tirqishning yuqori qismda yotgan cho'lg'am sxemasida yarim seksiyada yaxlit chiziq tasvirlangan, cho'lg'amning pastki qatlamida yotgan seksiya qismi esa-shtrixli chiziq bilan.

Sirtmoqsimon cho'lg'amni natijalovchi qadami **u** qisman qadamning farqiga teng.

$$y = y_1 - y_2. \quad (1.52)$$

Oddiy sirtmoqsimon cho'lg'amlarda $u=1$.

To'lqinsimon cho'lg'amda (1.63-rasm) natijali qadam qisman qadam yig'indisiga teng:

$$y = y_1 + y_2. \quad (1.53)$$

Agar ikki qatlamli cho'lg'amda seksiya qadami qutbli bo'linishga teng bo'lsa, unda bunday cho'lg'amlar diametral qadam cho'lg'ami deb aytiladi.

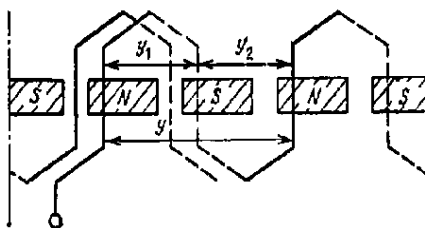
Mis simini tejash uchun va ikki-qatlamli tor tirqishda maydon shaklini yaxshilash qisqartirilgan qadamda bajariladi, $u < \tau$. Bunda $u \approx 0,8$ misni tejashga

erishiladi, bir necha foizni tashkil etgan diametrial qadamga EYUKdan taqqoslash bo'yicha EYUK asosiy garmonikni kamayishi to'g'ri keladi.

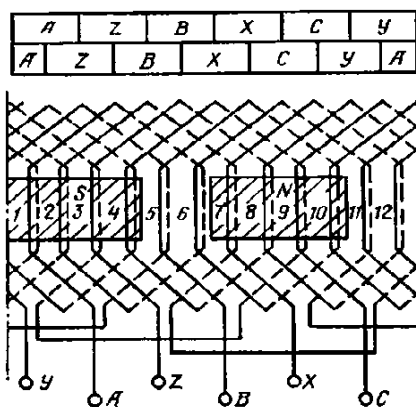
1.61-rasmda diametrial qadamdan sirtmoqsimon ikki qatlamli uchfazali cho'lg'am sxemasi taqdim etilgan

$$m = 3, \quad 2p = 2, \quad q = 2, \quad y = 1, \quad y_1 = \tau, \\ z = 2mpq = 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2 = 12.$$

Qisqartirilgan qadam bilan uchfazali sirtmoqsimon cho'lg'amdan $u=5/6\tau$, o'sha u qutblar miqdori uchun ($2r=2$) va faza va qutbda tirqish soni ($d=2$) bo'lgan holat 1.64-rasmda ko'rsatilgan.



1.63-rasm. To'liqsimon cho'lg'am seksiyasi



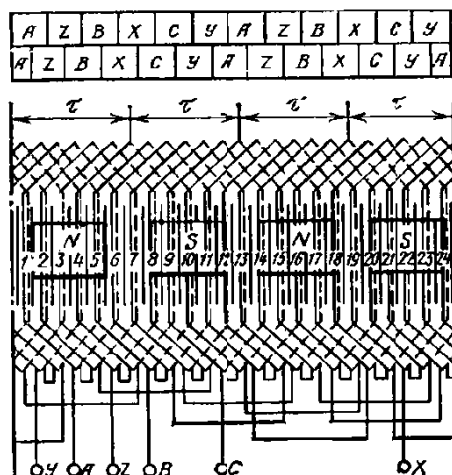
1.64-rasm. Sirtmoqsimon uch fazali cho'lg'am.
($2p = 2, 2a = 2, q = 2, y \approx 0.8\tau = 5, z = 12$)

Fazali zonalarini taqsimlanish bo'yicha qisqartirilgan qadamdan cho'lg'amni ko'rish mumkinki, pastki qatlam fazali zonasiga yuqori qatlam zonasiga nisbatan $\tau - u_1$ ga o'zgartiriladi.

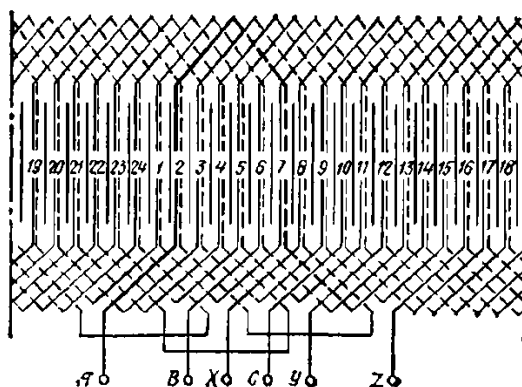
Uch fazali o'zgaruvchan tok cho'lg'am seksiyalari bo'yicha tokning oniy qiymati uchfazali cho'lg'am zonasida diametrial va qisqartirilgan qadamda to'g'ri keladi va aylanuvchi maydon hosil qiladi, bu holat xuddi 1.8§ ko'rib chiqilgandek.

Ko'rilgan sxemalarda sirtmoqsimon cho'lg'amning parallel shoxa miqdori $a=p$. Bunda $p=1$ $a=1$ bo'lganda. $2p=4$ bo'lganda sirtmoqsimon cho'lg'ami ikki paralleli tarmoqni olish imkonini beradi, oltiqutbli mashinalarda esa paralleli tarmoqni uchta va hokazo bo'ladi. Texnologik va kommutatsiya sharoitidan kelib chiqqan holda cho'lg'amning parallel shoxodagi tokni 400 A dan ko'p qilib tanlanmaydi. Shuning uchun ham yirik mashinalarda parallel shoxalari miqdori birdan ko'p bo'lishi kerak.

1.65-rasmda uchfazali sirtmoqsimon cho'lg'am quyidagi parametrlar uchun ko'rsatilgan $m=3$, $2p=4$, $2a=2$, $q=2$, $y=0,8$, $\tau=5$, $z=2mpq=2\cdot3\cdot2\cdot2=24$.



1.65-rasm. Sirtmoqsimon uch fazali cho'lg'am.
($2p = 4$, $2a = 4$, $q = 2$, $y \approx 0.8\tau = 5$, $z = 24$)



1.66-rasm. To'liqinsimon cho'lg'am sxemasi. ($m=3$, $2p=4$, $q=2$, $z=24$)

Ko'p qutbli o'zgaruvchan tok mashinalarda sirtmoqsimon cho'lg'am ko'p miqdorda birlashishga ega, bu misni sarflanishini oshiradi va cho'lg'amning tayyorlash texnologiyasini murakkablashtiradi. Agar parallel tarmoq miqdorini bir yoki ikkiga teng qilib tanlansa, to'liqinsimon cho'lg'amni tanlash maqsadga muvofiqdir. To'liqinsimon cho'lg'amning sirtmoqsimon cho'lg'am oldidagi afzalligi shundaki to'liqinsimon cho'lg'amning oldingi qismining o'zi g'altaklar aro birikma bo'la oladi. (1.63-rasmga qarang). 1.66-rasmda ikkiqatlamli to'liqinsimon cho'lg'am sxemasi $2p=4$, $q=2$, $z=2$ $mpq=2\cdot3\cdot2\cdot2=24$ uchun berilgan.

O'zgaruvchan tokli mashinalarda to'liqinsimon cho'lg'am butun q ko'pchilik seksiyalar uchun natijali qadamda bajariladi, ikki qutbli bo'linishga teng va faqat oxirgi seksiyadan keyin uni seksiya bilan ulash mumkin bo'lishi uchun boshlang'ich qismining yonida yotgan sun'iy qisqartirilgan o'tish qilinadi. Cho'lg'am tayyorlashdagi texnologiyani soddalashtirish uchun odatda bir qadamli seksiya qo'llaniladi, qisqartirilgani esa cho'lg'am boshlang'ich qismiga o'tish ulagich hisobiga erishiladi (1.66- rasm).

O'zgarmas tokda mashinalar yakori cho'lg'amini bajarish prinsip jihatidan o'zgaruvchan tokning ikkiqatlamli cho'lg'amidan farq qilmaydi. Biroq, chastotada mexanik o'zgartirishning mavjudligida kollektorlarga cho'lg'amni tayyorlash texnologiyasining o'ziga xosligini kiritilgan.

Kommutatsiyani yaxshilash uchun seksiyada o'ramlar sonini kamaytirishga harakat qilish kerak. Buning uchun kollektorli plastinalar sonini oshirish zarur. Kichik tirqishlar tayyorlamaslik uchun bir tirqishga ikki qatlam qilib birta emas balki ikki yoki uch seksiya joylashtiriladi. Cho'lg'am sxemasini tuzishda effektiv tirqishlar miqdori tushunchasidan foydalaniladi z_e . Bunday holatda, $z_e = S = R$. Bu yerda S - cho'lg'amdagi seksiyalar miqdori; K - kollektorli plastinalar miqdori. G'altak cho'lg'ami texnologiyasini soddalashtirish uchun u seksiyali qilib tayyorlanadi (birtasidan, ikki yoki uch seksiyali).

O'zgarmas tok mashinaning cho'lg'ami sirtmoqsimon va to'lg'insimonga, oddiy va murakkabga bo'linadi. Murakkab cho'lg'amlar ikki yoki uch oddiy sirtmoqsimon yoki to'lg'insimon cho'lg'amdan iborat.

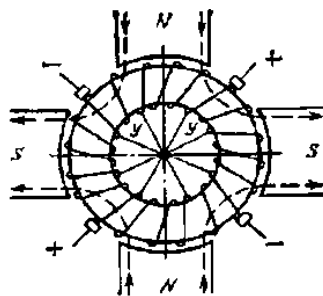
O'zgarmas tok mashinaning oddiy sirtmoqsimon cho'lg'ami $2a=2p$. To'lg'insimon cho'lg'amda qutblar miqdoridan qat'iy nazar $2a=2$ bo'ladi.

Oddiy sirtmoqsimon cho'lg'ami sxemasi $2a=2$, $u=1$, $u_1=6$ 1.60-rasmda ko'rsatilgan. Sirtmoqsimon cho'lg'amda parallel tarmoq miqdori $2a=2p$.

Kollektorli plastinalar soni seksiya va effektiv tirqishlar soniga teng.

Ko'pqutbli mashinalarda parallel tarmoq mavjudligi (1.67-rasm) grammovskiy cho'lg'ami sxemasidan yaxshi ko'rinib turibdi. Bu yerda yakor cho'lg'amida to'rtta qutb, to'rtta cho'tka va to'rtta parallel tarmoq mavjud.

Simmetrik mashinalarining yakorini simmetrik cho'lg'amini ichida berk muvozanatlovchi toklar bo'lmaydi, chunki parallel tarmoqda EYUK teng va qarama-qarshi yo'naltirilgan.



1.67.Rasm. To'rtqutbli halqasimon cho'lg'am.

U- muvozanatlovchi ulanma.

Tor tirqishning nosimmetriyasi sababli $e_1 \neq e_2$, (1.56- rasmga qarang) va $\sum e \neq 0$ bo'ladi. Agar $\sum e \neq 0$ bo'lsa unda parallel tarmoqdagi EYUK turlicha bo'ladi va muvozanatlovchi tok mavjudga keladi. Muvozanatlovchi tok bir nomli cho'tka orqali yakor cho'lg'ami ichida tutashuv hosil qiladi va kommutatsiya yomonlashadi.

Muvozanatlovchi tok cho'tkasini yuksizlash uchun muvozanatlovchi ulanma bajariladi. U (1.67- rasmda) cho'lg'amning nazariy jihatdan teng potensial cho'lg'ami nuqtasi ulanadi. To'lg'insimon cho'lg'am muvozanatlovchi ulanmani talab qilmaydi, chunki uning boshlang'ich qismi teng potensialli nuqtaga ulanadi.

O'zgaruvchan va o'zgarmas tokli mashinalar cho'lg'ami yana ham to'raligicha kitobning tegishli boblari ko'rib chiqiladi.

Nazorat savollari.

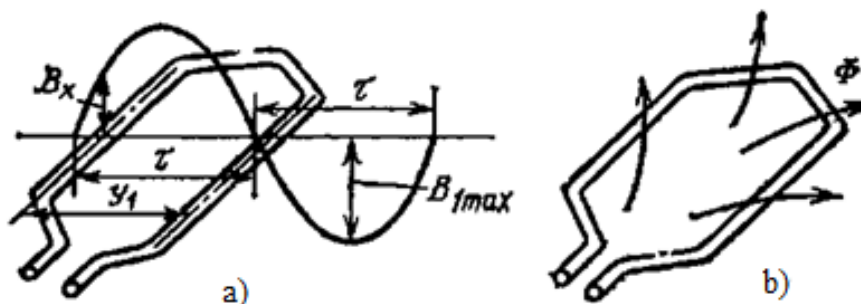
1. Elektr mashina chulg'amlari deb nimaga aytiladi?
2. Elektr mashina chulg'amlari nechta turga bo'linadi?
3. Elektr mashinaning sirtmoqsimon chulg'amlari qaysi turdagi mashinalarda qo'llanadi?

1.10. Elektr mashinalar cho'lg'amida eyukni hosil qilish

O'ramlardagi elektr yurituvchi kuch cho'lg'am o'ramlarida magnit maydoni aylanishi yoki o'ramlarni magnit maydonida nisbiy siljishi natijasida hosil qilingan bo'lishi mumkin. (1.68- rasm, a).

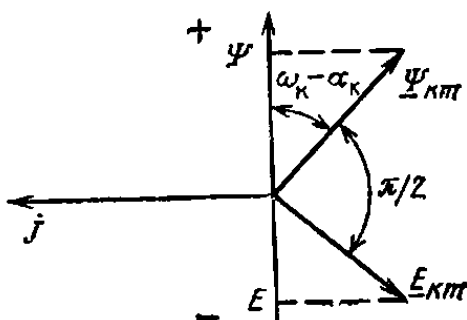
O'ramlarda ham xuddi shunday elektr yurituvchi kuch hosil bo'ladi, agar magnit oqimi vaqtida qo'zg'almas o'ram uni o'tkazib yuborsagina hosil qilinadi. (1.68- rasm,b). O'ramlarda EYUK umumiy holatda maydonning fazoviy siljishida va bir-biriga nisbatan o'ramda esa vaqtga qarab o'ramlarga bog'langan oqim o'zgarishida ta'sirlanadi.

Elektr yurituvchi kuch maydon va tarmoqni siljishiga nisbatan shartlanganligi aylanuvchi EYUK deyiladi. Elektr yurituvchi kuch vaqtga bo'yicha oqimning o'zgarishiga bog'liq bo'lishini transformatorli EYUK deyiladi.



1.68-rasm. O'ramlarda EYUKni hosil qilish

Aylanuvchi elektr yurituvchi kuchni Faradey tomonidan tavsiya etilgan formula bo'yicha aniqlash mumkin (1.68 a, rasm)



1.69-rasm. Kompleks tekislikda magnit oqimining bog'lanishi va EYUK.

$$E_x = B_x l_\delta v, \quad (1.54)$$

Bu yerda: l_δ - tarmoqning aktiv uzunligi; v - chiziqli tezlik.

Seksiyada elektr yurituvchi kuchni (g'altakda), bir nechta o'ramdan iborat bo'lgan holati

$$E_x = -\omega_k \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi_k}{dt}, \quad (1.55)$$

bu yerda magnit oqim bog'lanishi

$$\Psi_k = \omega_k \Phi = \Psi_{km} \cos(\omega t - \alpha_k). \quad (1.56)$$

Bu yerda: Ψ_{km} - g'altakning maksimal magnit oqim bog'lanishi (1.69- rasm). Kompleks tekislikda oqim bog'lanishi va EYUK $\underline{\Psi}_{km}$ - va $\underline{E}_k$. vektorlarda tasvirlangan. Shu vektorlar proeksiyasiga haqiqatdan ham o'qga ana EYUK va magnit oqim bog'lanishlarining oniy qiymati mos keladi.

G'altakdagi elektr yurituvchi kuch

$$E_x = -\frac{d\Psi_k}{dt} = -\frac{d\Psi_{km} \cos(\omega t - \alpha_k)}{dt} = \omega \Psi_{km} \sin(\omega t - \alpha_k). \quad (1.57)$$

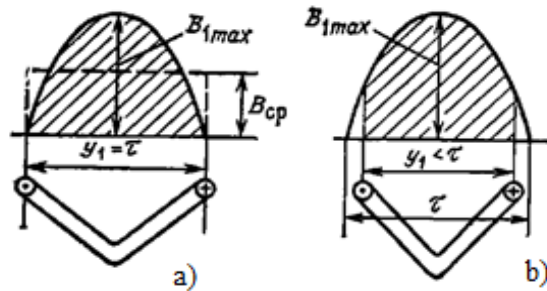
G'altak EYUK haqiqiy qiymati

$$E_k = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Psi_{km}. \quad (1.58)$$

(1.57) dan kompleks tekislikda

$$E_k = -j \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Psi_{km}. \quad (1.59)$$

G'altakda hosil bo'ladigan elektr yurituvchi kuch g'altakning tayyorlanishiga bog'liq bo'ladi. G'altak o'ramlaridagi sharsimon qadamdan iborat bo'lgan (1.70,a-rasm), 1-chi garmonikada maksimal oqim induksiyasi quyidagiga teng.



1.70-rasm. EYUKni sharsimon g'altakda (a) va qisqartirilgan (b) qadamda aniqlash.

$$\Phi_m = B_{st} l_\delta \tau = \frac{2}{\pi} B_{1m} S, \quad (1.60)$$

Bu yerda: B_{1m} - induksiya tebranishining birinchi garmonikasi; $S=l\sigma\tau$ – maydondan o'tib ketadigan oqim.

Unda o'tkazgichning EYUK

$$e_{pr} = E_{prm} \sin \omega t, \quad (1.61)$$

EYUK tebranishi

$$E_{prm} = B_{1m} l_\delta v = 2f B_{1m} l_\delta \tau. \quad (1.62)$$

Xuddi shunday

$$v = 2\tau f. \quad (1.63)$$

Unda

$$E_k = \frac{E_{prm}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}fB_{1m}l_\delta\tau. \quad (1.64)$$

G'altak uchun qisqartirilgan o'ramdan (1.70 b- rasm)

$$\Phi = k_u \Phi_m, \quad (1.65)$$

Bu yerda: k_u - g'altak o'ramida qadamni qisqarishi hisobiga EYUKni kamayishini hisobga oluvchi qisqartirilgan koeffitsient.

Qisqartirilgan qadamdagi nisbiy qadam birdan kam.

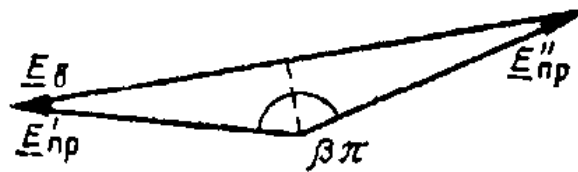
$$\beta = \frac{y}{\tau} \quad (1.66)$$

Shu bilan ikki o'tkazgichli o'ramda EYUK $E_{o't'}$ va $E_{o't''}$ bir xil, ammo faza bo'yicha $\beta\pi$ burchakka siljigan (1.71-rasm). Shuning uchun o'ramdagi EYUK quyidagi formulada ifodalanadi

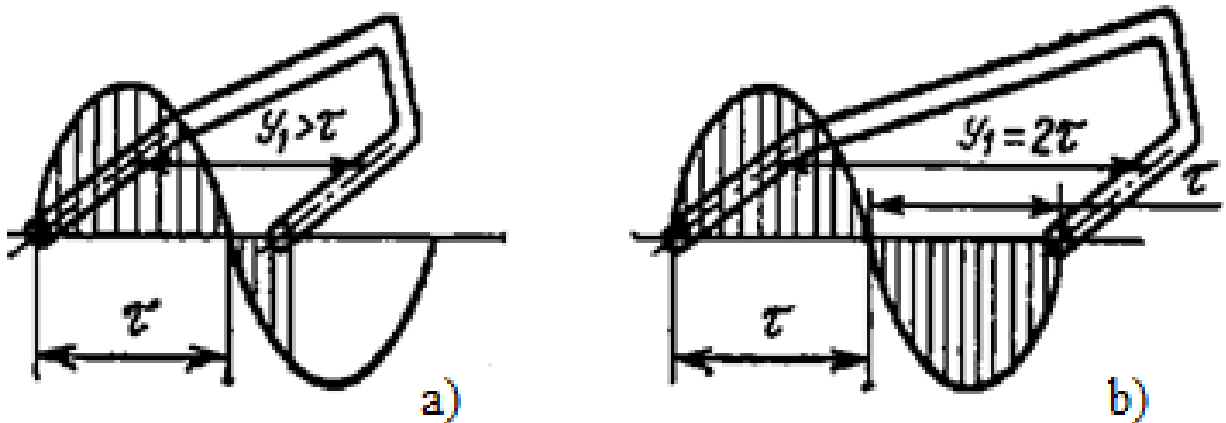
$$E_v = 2E_{pr} \sin\left(\frac{\beta\pi}{2}\right) \quad (1.67)$$

Qisqartirilgan koeffitsientning geometrik yig'indisi EYUKning arifmetik yig'indisi nisbati teng:

$$k_u = \sin\left(\frac{\beta\pi}{2}\right) \quad (1.68)$$



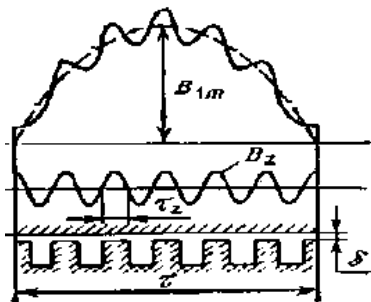
1.71-rasm. E_v o'rami qisqartirilgan qadamda EYUK.



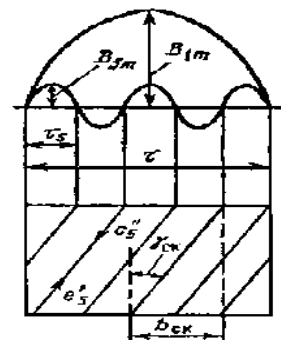
1.72-rasm. Uzaytirilgan qadamda g'altakning qisqartirilgan koeffitsientini aniqlash.

Tarmoq qadamida $y \approx 0.8$ $k_u \approx 0.95 \div 0.98$. G'altakni uzaytirilgan qadamda $u > 1$ bajarish mumkin. Bu bilan boshlang'ich qismida uzunlik ko'payadi va mis sarfi o'sadi. Biroq k_u - koeffitsient birdan kam bo'lsa, natijalovchi oqim kamayadi (1.72, a- rasm). $u=2\tau$ teng bo'lganda esa g'altak konturidan o'tib ketuvchi natijali oqim nolga teng bo'ladi (1.72,b- rasm)

Elektr mashinalarning tor tirqishdagi maydoni sinusoidadan farq qiladi. Yuqori garmonik EYUKning nosinusoidal taqsimlanishi hisobiga boshqa sabablardan to'yingan rotor va stator tishi borligida paydo bo'ladi.



1.73-rasm. Tor tirqishda maydonni buzilishi.



1.74-rasm. Yotgan tirqishni hosil qilish, tarmoqda yuqori garmonik EYUK kompensatsiyasi.

Mashinaning tavsifiga ko'ra yuqori garmonikalarning ta'sirini kamaytirish uchun qisqartirilgan qadamdan cho'lg'am qo'llaniladi, tirqishni qiyaligini amalga oshirish va boshqa choralar ko'riladi. Tirqish qiyaligi rotor va statorni tishli bo'linishida bajariladi va yuqori garmonik ta'sirining kamayishini ta'minlaydi, shunday qilib qiyalikdagi tarmoqda EYUK yuqori garmonikadan kompensatsiyalanadi. (1.74-rasm): tarmoqning bir qismida e_5 EYUK va e_5 boshqa tomonga qarama qarshi yo'natirilgan.

1-garmonikada EYUK tirqishlar qiyalashganda kamayadi. 1-garmonikada EYUK tirqishlar qiyshiqqligi hisobiga kamayishi qiyshiq k_{sk} ko'effitsientini belgilab beradi. Tirqish qiyshiqqligida rotor va stator qandaydir burchaklar ostida joylashadi γ_{sk} (1.75-rasm):

$$\gamma_{sk} = v b_{sk} \frac{\pi}{\tau}, \quad (1.69)$$

Bu yerda: γ -garmonika raqami; b_{sk} - qiyshiqqlikni ko'rsatuvchi kesilmagan o'q bilan taqqoslash bo'yicha kesilgan tirqish o'qi qay darajada siljigani. Qiyshiq tishli bo'linishda yoki millimetrdan o'lchanadi:

Tishli bo'linishga teng qiyalikdan k_{sk} ni 1-chi garmonika uchun olamiz. Yuqori garmonika uchun k_{sk} birdan jiddiy ravishda kam.

$$k_{sk} = \frac{\left[\sin \left(\frac{\gamma_{sk}}{2} \right) \right]}{0.5 \gamma_{sk}} \quad (1.70)$$

Mashinani ishlashida tirqishning qiyshiqqligi EYUK shaklini yaxshilaydi va shovqin va tebranishni kamaytirib, yuqori garmonikaga ta'sir qiladi. Biroq tirqish qiyshiqqligi tarmoq uzunligini oshiradi, bu aktiv qarshilikni kelib chiqishiga va induktiv qarshilik tarqalishiga sabab bo'ladi.

Shunday qilib, k_u va k_{sk} ko'effitsientlarni hisobga olib g'altakda EYUK ni quyidagicha aniqlash mumkin bo'ladi:

$$E_k = \omega_k E_v = 2 \omega_k E_{pr} = 2 \sqrt{2} f \omega_k k_u k_{sk} B_{1m} l_{\delta} \tau \quad (1.71)$$

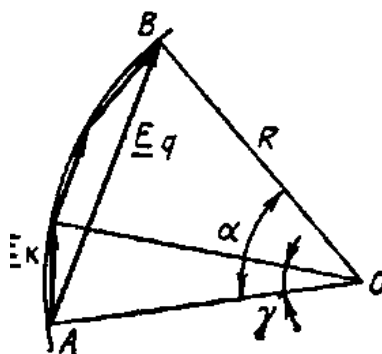
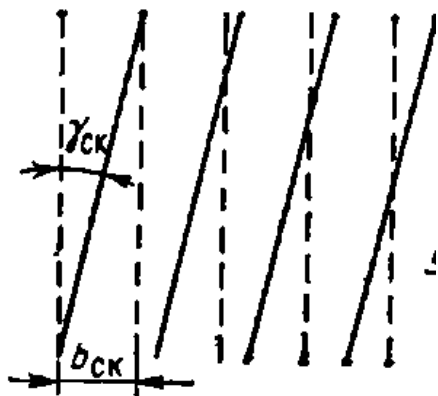
Qutbli bo'linishda oqim

$$\Phi = B_{sr} l_{\delta} \tau = \frac{2}{\pi} B_{1m} l_{\delta} \tau, \quad (1.72)$$

Unda g'altakdagi EYUK

$$E_k = \pi \sqrt{2} f \omega_k k_u k_{sk} \Phi = 4,44 f \omega_k k_u k_{sk} \Phi. \quad (1.73)$$

Odatda elektr mashinalarning cho'lg'ami g'altakli guruhdan iborat bo'ladi. Har bir g'altakli guruh d qo'shni tirqishlarda yotgan va birin-ketin ulangan g'altakdan iborat bo'ladi. E_k G'altakli guruhlarining elektr yurituvchi kuchi alohida g'altaklardagi EYUKning geometrik yig'indisiga teng, arifmetik yig'indisiga teng bo'lmasligiga sabab shundaki g'altaklar pazda



1.75-rasm k_{sk} ni aniqlashga stator tirqishi.

1.76-rasm. k_r ni taqsimlanish koef fitsientini aniqlashga rotor tirqishi.

Rotor va stator silindrlarining ichki va tashqi yuzasida, $a = \pi / m q$ burchakka 1-garmonika magnit maydonida bir-biriga nisbiy siljigan bo'ladi.

Cho'lg'amni taqsimlanish koefitsienti g'altaklarning bir-biriga nisbati bo'yicha siljishi va tengligida EYUKning kamayishini ifodalaydi. (1.76-rasm)

$$k_r = \frac{E_q}{q E_k} \quad (1.74)$$

1.76-rasmdan ko'rinib turibdiki,

$$E_q = 2R \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right); E_k = 2R \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) = 2R \sin\left(\frac{\alpha}{2q}\right).$$

m-fazali cho'lg'amda taqsimlanish koefitsienti quyidagicha ifodada aniqlanadi

$$k_r = \frac{\left[\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right]}{q \sin\left(\frac{\alpha}{2q}\right)}. \quad (1.75)$$

(1.75) dan ko'rinib turibdiki, $q=1$ bo'lganda (bir g'altak uchun) $k_r=1$. $q>1$ bo'lganda $k_r<1$ bo'ladi.

Taqsimlangan cho'lg'amda qachonki $q \rightarrow \infty$ bo'lsa, AV xorda (egri chiziqning ikki nuqtasini tutashtiruvchi to'g'ri chiziq) nisbati k_r mavjud yoy uzunligi AV ga bog'liqdir.

$$k_{r\infty} = \frac{[\sin(\frac{\alpha}{2})]}{(\frac{\alpha}{2})}. \quad (1.76)$$

$k_{r\infty}$ qiymati α belgilangan burchakda k_r o'ta kam qiymatga ega bo'ladi. Elektromashinasozlik amaliyotida eng ko'p faza va qutbga tirqish miqdori ($q=2 \div 12$) k_r birligidan kam farq qilishi tarqalgan.

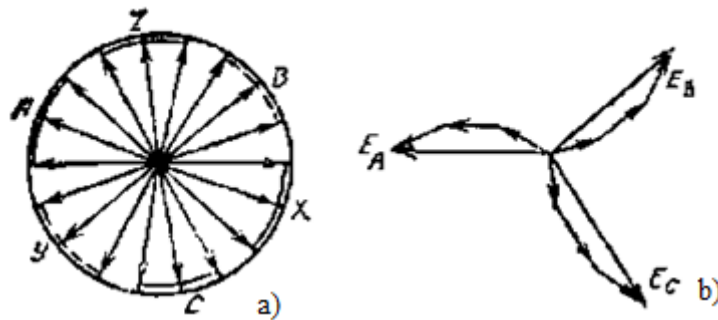
1-chi garmonika uchun g'altakli guruhda elektr yurituvchi kuch

$$E_k = \pi\sqrt{2}fq\omega_k k_{ob}\Phi_m, \quad (1.77)$$

Bu yerda: k_{ob} —cho'lg'am koefitsienti;

$$k_{ob} = k_u k_r k_{sk} \quad (1.78)$$

Qoida bo'yicha cho'lg'amli koefitsienti, birdan kam $k_{ob} \approx 0.9 \div 0.98$. k_{ob} koefitsienti hisobiga EYUKning real mashinada cho'lg'am qadami qisqarishi, tirqish qiyshiligi mavjudligida va rotor yoki stator tirqishlarda uni bajarilishi kamayishini tavsiflaydi.



1.77-rasm. Yulduz ulangan uch fazali cho'lg'amda tirqishli EYUK
($p=1, q=3$).

$k_{ob}\omega$ ko'paytmasi g'altakning effektiv miqdori deyiladi, bunda elektr mashinada aylanayotgan qutb oqimi transformatoridan farq qilgan holda g'altak bilan to'liq tirqalmaydi.

Cho'lg'am fazasidagi EYUKni aniqlash uchun (1.77) ifodadagi foylaniish mumkinki, chunki unda g'altakli guruhda o'ramlar miqdori o'rniga $q\omega_k$ faza o'ramlariga ketma-ket ulangan miqdori qo'yib chiqiladi

$\omega = nq\omega_k$, n — bu yerda ketma-ket ulangan g'altakli guruh miqdori:

$$E_k = \pi\sqrt{2}f\omega_k k_{chorl}\Phi_m = 4.44f\omega_k k_{chorl}\Phi_m. \quad (1.79)$$

G'altakli guruhdagi o'zgarmas tokda mashinasining cho'lg'amida turli qutblar ostida yotgan, bir miqdordagi g'altakdan iborat bo'lgan va rotor va stator (yoki tirqishlar miqdori) ichki aylanmasida bir xil yoyni egallagan, shuning uchun g'altakli guruh simmetrikdir va ularda bir xil EYUK hosil bo'ladi. Bu guruhlarini parallel yoki ketma-ket ulash mumkin.

m- cho'lg'am fazasi o'ramlar soni, cho'lg'am fazalarining o'ramlar soni α parallel o'ramlarda quyidagi formuladan aniqlanadi,

$$\omega = \frac{zS_p}{2am} \quad (1.80)$$

S_p -tirqishdagi effektiv o'tkazgich miqdori

Bir yoki bir nechta parallel o'ramlarda effektiv o'tkazgichdan iborat bo'lishi mumkin.

Cho'lg'am fazasida EYUKni aniqlash uchun g'altakli guruhning EYUK vektorli diagrammasidan foydalaniladi, uni tirqishli yulduz EYUK deb aytishadi (1.77- rasm). EYUK tirqishi yulduz ulangan uch fazali cho'lg'am uchun 1.77-rasmda berilgan bo'lib $m=3$, $p=1$, $q=3$ (1.54-rasmga qarang). Fazalarning elektr yurituvchi kuchi har g'altakda EYUKning vektorli yig'indisi hisoblanadi (1.77- rasm). EYUKning tirqish yulduzi (1.77-rasm,a) taqsimlanish koeffitsientini aniqlash imkonini beradi. Nosimmetrik va simmetrik, ikki fazali va ko'pfazali cho'lg'am qachonki EYUK fazasini hisoblash (1.79) bo'yicha qiyinchilikka uchraydi.

1-chi garmonika uchun olingan yuqori ifodani yuqori garmonikada tarqatish mumkin.

Fazalarning elektr yurituvchi kuchi maydonning yuqori garmonikasidan

$$E_{\Phi v} = \pi \sqrt{2} f_v \omega k_{cho'lv} \Phi_m = 4.44 f \omega k_{ob} \Phi_m. \quad (1.81)$$

Bu yerda: Φ_m , f_v va $k_{cho'lv}$ - v -chi garmonikaning chastotasi, oqimi va cho'lg'am koeffitsienti.

Shunday qilib v -chi garmonikaning qutbli bo'linishi τ_v va v marta 1-chi garmonik qutbli bo'linishidan kam, u holda v -garmonika magnitli oqimi quyidagicha bo'ladi.

$$\Phi_v = \frac{2}{\pi} B_{vm} l_{\delta} \tau_v = \frac{2}{\pi v} B_{vm} l_{\delta} \tau_v, \quad (1.82)$$

B_{vm} - mashinaning tor tirqishida induksiyaning v -chi garmonik tebranishi.

Vaqtinchalik garmonik uchun $f_v = v f$, fazoviy garmonik uchun $f_v = v f_1$ bo'ladi.

v -chi garmonik uchun cho'lg'am koeffitsient $k_{obv} = k_{uv} k_{rv} k_{skv}$, (1.83) k_{uv} , k_{rv} , k_{skv} - qisqartirilgan koeffitsientga muvofiq, v -chi garmonik uchun qiyshilik va taqsimlanishi.

G'altak o'tkazgichlari burchak siljishida v -chi garmonikaga nisbatan $v\beta\pi$ teng (1.73-rasmga qarang) va v -chi garmonik uchun taqsimlanish koeffitsienti

$$k_{uv} = \frac{\sin(v\beta\pi)}{2}. \quad (1.84)$$

$$k_{rv} = \frac{[\sin(v\pi/2m)]}{q \sin(v\pi/2mq)}. \quad (1.85)$$

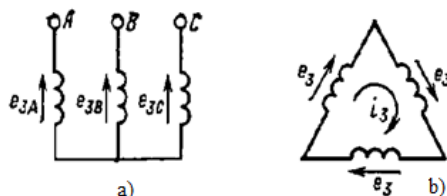
v -chi garmonik maydoniga nisbatan tirqish qiyshiq burchagi (1.74-rasmga qarang) 1-chi garmonikaga nisbatan v marta ko'p va v -chi garmonik uchun koeffitsient qiyshiq ham

$$k_{skv} = \sin\left(\frac{v b_{sk} \pi}{2\tau}\right) / \frac{v b_{sk} \pi}{2\tau}, \quad (1.86)$$

vaqtinchalik garmonik ham birinchi kabi xuddi shunday tezlikda aylanadi. Fazovli garmonika asosiy garmonikaga nisbatan v marta kam burchakli tezlikka ega, shunday qilib $\tau_v = \tau_1/v$ $f=f_1$ bo'ladi.

Yuqori garmonik mavjudligida EYUKning to'la ta'sir etuvchi qiymati

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 + E_5^2 + \dots + E_v^2} \quad (1.87)$$



1.78-rasm. Cho'lg'amni yulduzcha a) va uchburchak (b) ulash
 $E_1, E_3, \dots, E_v$ – tegishli garmonikda EYUK-ning tebranish qiymati.

Yuqori garmonikada EYUKni holati buziladi va uning kuchlanish shakli nosinusoidal bo'ladi. Elektr tarmoqda va iste'molchilarda nosinusoidal kuchlanish qo'shimcha isroflarni keltirib chiqaradi va $\cos \varphi$ FIKni yomonlashuviga olib keladi. Elektr mashinalarda tebranish va shovqinning sodir bo'lishi yuqori garmonikalar sabab bo'lishi mumkin.

Yuqori garmonikadan EYUKni pasaytirish uchun cho'lg'am qadami qisqartirilishi hisobiga, tirqishlar bo'yicha cho'lg'am taqsimlanishi (q dan kattarog'ini tanlash etarli) va tirqishlar tezligida yuqori garmonikani yo'qotishga harakat qilishadi.

EYUK shakliga cho'lg'amni ulanish sxemasini tanlash ham ta'sir ko'rsatadi.

Ko'pfazali sistemalarda asosan ikkita asosiy ulanish qo'llaniladi bu ko'pfazali yulduz va ko'pburchak ulashdir. Harakatlanayotgan mashinaning uchfazali sistemasi energetikada yulduz va uchburchak qilib ulash qo'llaniladi. (1.78 rasm)

Uch fazali sistemalarda 3-chi garmonika va unga takroriyda esa toq garmonika muhim holatga ega. ($v=9;15;15$ va boshqa). Besh fazali sistemada 5-chi garmonika va takroriy uning garmonikasi muhim o'rin tutadi va hokazo.

Uchfazali sistemada A,B,C 1-chi garmonika bir-biriga nisbatan 120° siljiriladi. Garmonikaning elektr yurituvchi kuchi A,B va C uchta fazalarga ko'ra takror, bu garmonikalarni yulduz qilib ulaganda va faza bo'yicha mos kelganda chiziqli kuchlanishda ular yo'q bo'ladi (1.78 rasm). Cho'lg'amlari uchburchak ulanganda EYUKning garmonikasi cho'lg'amining ichini aylanuvchi tok hosil qilinadi.

Bu o'ziga xosliklarni transformator va elektr mashinalarni loyihalashtirayotgan vaqtda hisobga olish zarur.

Qoida bo'yicha, yuqori garmonika elektr mashinalarning energetik ko'rsatkichlarini va tavsifini yomonlashtiradi. Maydon yuqori garmonikada bo'lmaydi faqat ideal elektr mashinalarda bo'ladi, ularning oralig'ida aylanma magnit maydon bo'ladi. Elektr mashinalarni loyihalashtirishda mashinada magnit maydon maksimal darajada sinusoidalga yaqinlatirilishiga harakat qilinadi.

Nazorat savollari.

1. Elektr mashina chulg'amlarida EYuK hosil bo'lish shartlari qanday?
2. EYuK bilan magnit oqim qanday bog'langan?
3. Koeffitsiyent qishiqligi o'zgarishi qaysi kattaliklarga ta'sir etadi?

1.11. Cho'lg'amdagi magnit yurituvchi kuch

Elektr mashinalarda magnit maydoni cho'lg'amdan oqib o'tuvchi tok orqali hosil qilinadi. Agar mashinadagi δ mal silliq oraliq bir tekisda bo'lishiga yo'l qo'yilsa qutbli bo'linish va rotor diametridan taqqoslaganda to'yinmagan bo'ladi, bunda magnit maydonining shakli MYUK shakli bilan belgilinadi.

Diametral qadamdagi g'altak magnit yurituvchi kuchi (1.79 rasm) hisobga olinmasdan yo'l qo'yilgan kamchiliklarda g'altak qalinligiga teng.

$$2F_k = \omega_k i_k \quad (1.88)$$

G'altak ikkita qutbga ega (shimoliy va janubiy) shuning uchun bir qutbga F_k qabul qilinadi.

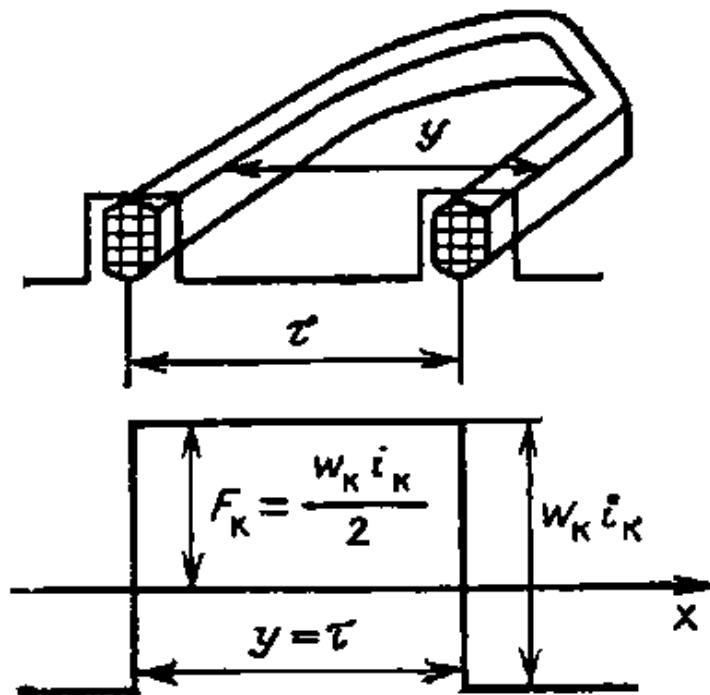
MYUKning to'g'riburchakli to'lqinini Fure qatori bo'yicha yozish mumkin:

$$F_k = \sum_{1,3,\dots,n} F_k \cos(\omega t) \cos(v\alpha). \quad (1.89)$$

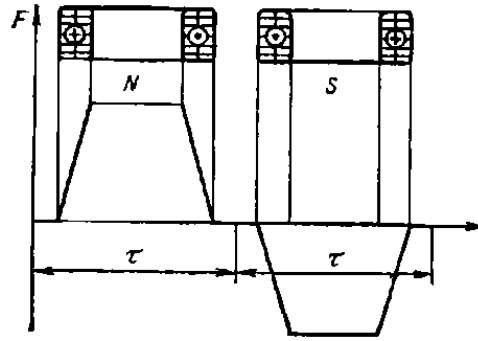
G'altakdagi magnit yurituvchi kuch cheksiz qatordagi toq garmonikadan iborat, ularning har biri bo'shliqda garmonika qonun bo'yicha ($\cos v\alpha$) va vaqtga ($\cos \omega t$) ga qarab o'zgaradi.

O'zgaruvchan tokda g'altakning silliqligida MYUK ning birinchi garmonikasining tebranish miqdori quyidagicha

$$F_{1m} = \frac{4\sqrt{2}}{2\pi} \omega_k i_k \quad (1.90)$$



1.79-rasm. $u=\tau$ bo'lganda g'altagi MYUK.



1.80 -rasm. $u < \tau$ bo'lganda g'altakdagi MYUK.

Qisqartirilgan qadamdan ikki g'altakda magnet yurituvchi kuch $u < \tau$ (1.80 rasm) trapetsiya shaklida taqdim etilgan bo'lishi mumkin. Trapetsiya MYUKni garmonik qatorda tizib chiqishda yuqori garmonika tebranishi MYUK to'g'riburchakliga ko'ra sezilarli darajada kam.

G'altakli guruhda magnet yurituvchi kuch pog'onasimon ko'rinishga ega bo'ladi va bunda u sinusoidaga yana ham yaqinlashadi.(1.81-rasm)

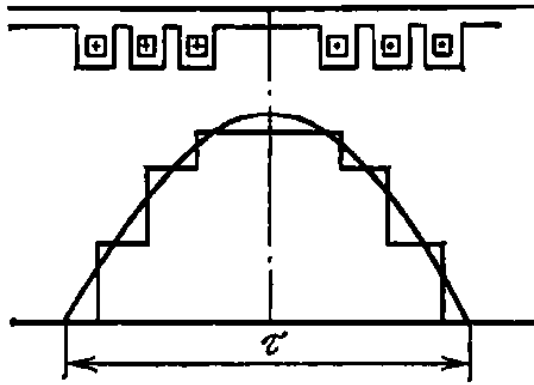
Fazalarning cho'lg'amidan iborat bo'lgan magnet yurituvchi kuchi g'altak sistemasidagi MYUK yig'inidisi tenglashadi.

Uch fazali cho'lg'am uchun faza va qutbda tirqishning butun miqdorida, tok oqib o'tuvchi fazalarda quyidagi formula hosil bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} i_a &= \sqrt{2}\cos(\omega t) \\ i_b &= \sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_s &= \sqrt{2}\cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{aligned} \right\} \quad (1.91)$$

Har bir fazada pulslanuvchi MYUK to'liqini juftliklarini qo'shib chiqish natijasida natijali maydon hosil qilinadi.

$$\left. \begin{aligned} F_{av} &= \frac{1}{2}F_{\phi v} \cos(\omega t - v\alpha) + \frac{1}{2}F_{\phi v} \cos(\omega t + v\alpha), \\ F_{bv} &= \frac{1}{2}F_{\phi v} \cos\left[\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) - v\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right)\right] + \\ &\quad + \frac{1}{2}F_{\phi v} \cos\left[\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + v\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right)\right] \\ F_{sv} &= \frac{1}{2}F_{\phi v} \cos\left[\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) - v\left(\alpha - \frac{4\pi}{3}\right)\right] + \\ &\quad + \frac{1}{2}F_{\phi v} \cos\left[\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + v\left(\alpha - \frac{4\pi}{3}\right)\right] \end{aligned} \right\} \quad (1.92)$$



1.81-rasm. G'altakli guruhlarda MYUK.

$$F_{\phi v} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\omega k_{obv}}{vp} I$$

Bu yerda: v -chi garmonikali MYUK fazalarida tebranish qiymatini bildiradi.

To'g'ri ketma-ketlik yig'indisida MYUK tebranishda sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradigan $3/2 F_{fu}$ hosil qiladi, teskari ketma-ketlikda maydon hosil bo'lmaydi.

Uch fazali cho'lg'amda MYUKning 1-chi garmonik uchun

$$F_1 = \frac{3}{2} F_{\phi 1} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{\omega k_{obv}}{p} I = 1.35 \frac{\omega k_{obv}}{p} I. \quad (1.93)$$

$$F_{\phi 1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\omega k_{obv}}{p} I = 0.9 \frac{\omega k_{obv}}{p} I. \quad (1.94)$$

Bu yerda: fazalardagi tok $I = I_k \alpha$ ga teng (α cho'lg'am parallel o'ramlar qiymat)

Umumiy holatlarda MYUK m fazali cho'lg'am uchun – v li -garmonika

$$F_v = \frac{m}{2} F_{\phi v} = \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{\omega k_{obv}}{vp} I. \quad (1.95)$$

Simmetrik mashinadagi uch fazali cho'lg'amda magnit yurituvchi kuch vaqti-vaqti bilan o'zgaradigan egri holatida ifodalanadi, shuning uchun ham uni garmonika qatoriga tizib chiqqanimizda juft garmonika hosil bo'lmaydi.

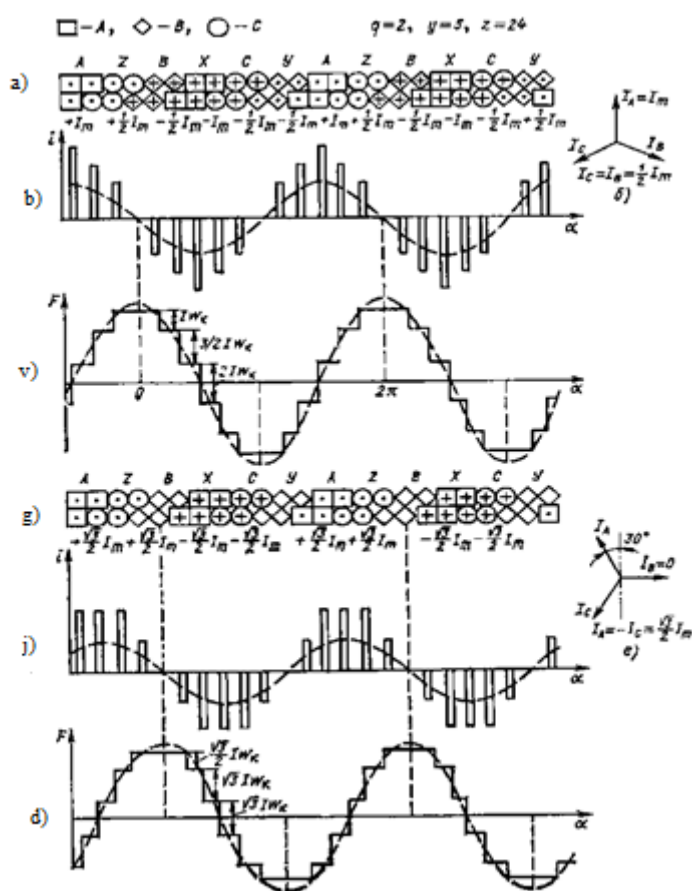
Uchfazali cho'lg'amning tok garmonikasini uchta cheksiz sektorga bo'lish mumkin: $6n+1$, $6n-1$ raqamli yuqori garmonika (n - bu yerda oddiy butun son) va garmoniklar, uch ko'paytmasi (3,9,15 va boshq). $6n+1$ garmonik qatorlari (7,13,19-chi va boshq) 1-chi garmonik aylanayotgan tomonga aylanadi, albatta u tegishli sinxron burchak tezligida, (ω_{s1}) birinchi garmonika sinxron burchak tezligini taqqoslash bo'yicha v –marta kam.

$6n-1$ garmonika qator (5,11,17-chi va hokazo) 1-chi garmonika qarama-qarshi aylanayotgan tomonga sinxron aylanish ω_{s1}/v chastotasiga qarab aylanadi.

ω_{s1}/v . Ana shu garmonika qatori bo'yicha mashinaga nisbatan tormozlash rejimi bo'ladi. Garmonikaning uchtasi takroriy, xuddi shunday 3-garmonika ham uch fazalik sistemada, uchburchak ichida tutashadi va maydon hosil qiladi, nol ketma-ketlikdagi maydonning ishchi jarayonlari tavsifiga yaqin ta'sir qiladi.

Cho'lg'amdagi MYUKni aniqlash uchun ko'pincha grafik usuldan foydalaniladi, uning asosida ustma-ustlash rejimi turadi. G'altak joylashgan joylarda MYUK sakrashi bilan o'zgaradi, toksiz uchastkalarda esa MYUK o'zgarmaydi. (1.82 rasm). Uchastkalardagi MYUKni tuzilishini umumlashtirib F natija yuzaga kelganni aniqlash mumkin.

MYUKning ikki qatlamli uch fazali cho'lg'am uchun tuzilishini keltiramiz . $2r=4$, $q=2$, $z=24$ (1/65 rasmga qarang) $y=5/6\tau$ qadamdan. Shundan so'ng cho'lg'am uchun fazaviy zonalarni rostdash grafigi chizilgan bo'ladi.(1.82, a va d rasm), vektorli diagramma holatidan bittasi uchun cho'lg'am fazasidagi tok va tirqishda natija yuzaga chiqqandagi tok aniqlanadi. (1.82,v va j rasm). Vektorli diagrammaga mos keluvchi vaqt momenti uchun 1.82.b.rasm bu yerda toklar quyidagicha ko'rinishda bo'lsa



1.82-rasm. Uch fazali cho'lg'amda MYUKning tuzilishi.

$$i_B = i_C = -\frac{1}{2}I_m,$$

$$I_m = \sqrt{2}I$$

$i_A=I_m$ bu yerda

Tok yo'nalishi va tebranishini hisoblagan holda tirqishda yuzaga kelgan tokni (1.82,v rasm) va MYUKni stator bo'ylab rostlanishi aniqlaymiz. (1.82, g, rasm)

Ana shunday tuzilishlar vaqtning boshqa momentlari uchun ham va MYUK hamda toklarni rostlash tuzilishlarida ham takrorlanadi. (1.82,e-z). Vektorli diagrammalar uchun 1.82 rasm

$$i_B = 0, \quad i_A = -i_C = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m.$$

Simmetriyali cho'lg'am uchun butun q egri chiziqli toklar va MYUK absiss o'qiga nisbatan simmetrikdir. Fazaviy toklarning vektorli diagrammasi burilishida ya'ni vaqtning o'zgarishida maksimum MYUK statorga nisbatan aralashib ketadi. Shunday qilib, tor tirqishda aylanayotgan magnit maydoni hosil bo'ladi.

MYUK vaqt shakliga qarab o'zgaradi, uning ko'rinishi esa cho'lg'amni bajarishiga bog'liq bo'ladi bir yoki ikki qatlamli, qutbdagi tirqishlar soni va fazalar q qisqaroq. q kattalashsa, egri chiziqlar sinusoidga yaqinlashadi, qisqarog'i esa $y \approx 0,8\tau$. Biroq MYUKni sinusoidal taqsimlashda faqatgina mashina tirqishida cho'lg'amlarni notekis taqsimlashini imkon bor. Sinusoidal MYUKli cho'lg'am sinusli cho'lg'am deb aytiladi. Ulardan faqat maxsus mashinalarda foydalaniladi.

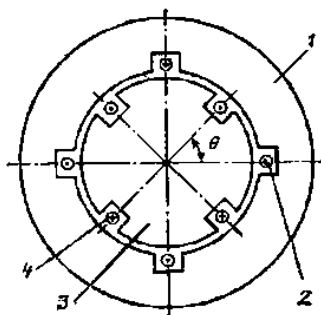
q kasrli cho'lg'am egri nosimmetrik MYUKga ega bo'ladi va u turlicha juft qutblar ostida turlicha ko'rinishga ega bo'ladi. MYUKning grafik ko'rinishidagi tizilishi oddiy cho'lg'am kabi bir xilda q kasrli cho'lg'am uchun xuddi shunday o'tkaziladi.

Nazorat savollari.

1. Chulg'amlardagi MYuK hosil bo'lish omillarini sanang?
2. Uch fazali chulg'amda qanday miqdorda MYuK hosil bo'ladi?
3. MYuK bilan tok kuchi qanday bog'langan?

1.12. Energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasi

Energiyani o'zgartirish jarayonlarini matematik ta'rifi elektr mashinalarda muhim ahamiyatga ega.



1.83-rasm. Oddiy elektr mashinalarning sxemasi.

Ularda EXMni qo'llanilishi analitik echim topmagan elektromexanikadagi murakkab tenglamalarni yechish imkonini beradi. Keyingi o'n yillikda elektr mashinalarni rivojlantirish nazariyasi bilan bog'liq bo'lgan muvaffaqiyatlar EXMni qo'llanilishi va elektr mashinalarda matematik modellarni rivojlanishi bilan bevosita bog'liqdir.

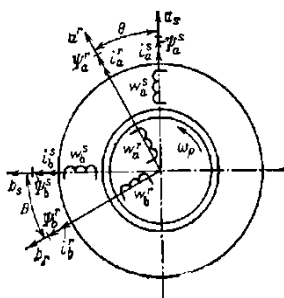
Shunday qilib, umumlashtirilgan elektr mashinalar modeli ko'pchilik elektr mashinalar uchun to'g'ri keladi, umumlashtirilgan elektr mashinalar uchun energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasini ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir.

Umumlashtirilgan elektr mashinalari (1.28-rasmga qarang) eng oddiy va haqiqiy elektr mashinalarga mos keladi (1.83-rasm). Bu mashinaning 1 statorida tirqishlar mavjud bo'lib, statorning 2 cho'lg'ami joylashgan. Rotorda 3 ham tirqishlar mavjud bo'lib, unda rotor cho'lg'ami 4 joylashgan. Po'lat o'zakda isrofn kamaytirish uchun stator va rotor magnit o'tkazgichi shixtalangan elektrotexnik po'lat listlaridan tayyorlangan. Stator va rotor o'rtasida tor tirqish mavjud bo'lib, u asosan magnit maydoni energiyasiga boyitiladi. Stator va rotor toklari orqali hosil bo'layotgan magnit oqimi stator va rotor bo'yicha tutashadi va tor tirqish orqali o'tadi. Mashinani mo'ljalda stator va rotorning po'latli uchastkasida induksiya shunday tanlab olinadiki, MYUKning asosiy qismi tor tirqish va stator va rotorning tishchalariga to'g'ri kelishi kerak.

Stator va rotorning o'tkazuvchanligini cheksiz ko'p deb hisoblasak, unda magnit o'tkazgichlar ichida magnit potensialining turlichaligiga ahamiyat bermaslik mumkin, unda

$$\oint H_L dl = \frac{B_\delta 2\delta}{\mu_0} = i_1 \omega_1 \quad (1.96)$$

Bu yerda: $i_1 \omega_1$ - statorning cho'lg'ami soni va tok ishlab chiqarish; δ - tor tirqish; μ_0 - o'zgarmas magnit.



1.84-rasm. Koordinatalari o'zgartirilmagan sistemasida umumlashtirilgan mashinalarning modeli.

Unda ideal mashinalarning tor tirqish induksiyasi quyidagicha

$$B_\delta = \frac{\mu_0 i_1 \omega_1}{2\delta} \quad (1.97)$$

bo'ladi.

Stator va rotorning ikki ortogonal sistemasiga ega bo'lgan ikki qutbli ikki fazali elektr mashinalarni ko'rib chiqamiz w_a^s, w_b^s va w_a^r, w_b^r (1.84- rasm). Mashinalarning ishlashida rotor va stator bir-biriga nisbatan joylashadi, cho'lg'am o'qi oralig'idagi θ burchak nisbiy aylanish chastotasini belgilab beradi. Stator qo'zg'almaganida

$$\omega_p = \frac{d\theta}{dt} \quad (1.98)$$

Cho'lg'am o'qlaridan (1.84- rasm) (a_r, b_r va a_s, b_s) rotor va statorning koordinatli o'qiga bir-birini ustiga yotqizish qulaydir. Shu bilan birga koordinatli o'qlar (a_s, b_s va a_r, b_r) kabi rotor va statorning cho'lg'amidek bir-biriga nisbatan

ularning nisbiy siljishi haqida gapirish mumkin. Elektr mashinalarning nazariyasida bu o'qlar tabiiy yoki o'zgartirilmagan fazaviy koordinat degan nomga ega bo'lgan.

Taxmin qilish mumkinki, cho'lg'am o'qlari oqimga ilashma vektorlariga mos keladi ($\Psi_a^s, \Psi_b^s, \Psi_a^r, \Psi_b^r$) va cho'lg'am toklariga ham ($i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r$) (1.84- rasm).

Rotor aylanganida rotor va statorning cho'lg'amlari bir-biriga nisbatan o'z holatini o'zgartiradi va shu bilan toklar va ilashma oqimsi ham o'zgaradi. Statorning cho'lg'ami ilashma oqimsi cho'lg'am o'qi o'rtasida θ burchakka bog'liq bo'ladi va quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\begin{cases} \Psi_a^s = L_a^s i_a^s + M \cos \theta i_a^r - M \sin \theta i_b^r; \\ \Psi_b^s = L_b^s i_b^s + M \cos \theta i_b^r + M \sin \theta i_a^r; \\ \Psi_a^r = L_a^r i_a^r + M \cos \theta i_a^s + M \sin \theta i_b^s; \\ \Psi_b^r = L_b^r i_b^r + M \cos \theta i_b^s - M \sin \theta i_a^s; \end{cases} \quad (1.99)$$

bu yerda: $L_a^s, L_b^s, L_a^r, L_b^r$ - ning a, b o'qi bo'yicha rotor va statorga tegishli to'la induktivligi; M- rotor va stator cho'lg'ami orasidagi o'zaro induktivlik.

a o'qi bo'yicha masalan stator cho'lg'aming to'la induktivligi

$$L_a^s = M + L_{\sigma a},$$

a o'qi bo'yicha stator cho'lg'ami sochilish induktivligini $-L_{\sigma a}$ ni bildiradi.

Mashinaning tor tirqishida cho'lg'amdagi fazoviy kombinatsiyaning mavjudligi tufayli tok va kuchlanishlarning vaqtinchalik siljishi va aylanma magnit maydonning hosil qiladi.

Tor tirqishdagi ideal mashinaning chiqishdagi sinusoidal kuchlanish orqali aylanma maydon mavjud bo'ladi. Rotor va statoridagi tok chastotalari elektromexanikaning uchinchi qonuniga muvofiq o'zaro mustahkam bog'langan, rotor va stator maydoni bir-biriga nisbatan qo'zg'almasdir.

Tor tirqishdagi aylanma maydonni induksiyaning yuzaga kelgan vektor natijalari sifatida tasavvur qilish mumkin

$$\tilde{B}^s = B_a^s + jB_b^s; \quad \tilde{B}^r = B_a^r + jB_b^r; \quad (1.100)$$

va ilashma oqim.

$$\tilde{\Psi}^s = \Psi_a^s + j\Psi_b^s; \quad \tilde{\Psi}^r = \Psi_a^r + j\Psi_b^r; \quad (1.101)$$

(1.84-rasm)ga asosan rotor va statorning koordinati o'qida induksiya va ilashma oqimsidan iborat bo'lgan proeksiyasi (1.100) va (1.101) da keltirilgan.

Rotor va statorni $\tilde{U}^s, \tilde{U}^r$ kuchlanishini vektorlarning yuzaga kelgan natijasi ko'rinishida tasavvur qilish mumkin va xuddi shuningdek rotor va stator toklarini ham $\tilde{I}^s, \tilde{I}^r$.

Natijada yuzaga kelgan vektorlar uchun kuchlanish tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\tilde{U}^s = \tilde{I}^s R^s + \frac{d\tilde{\Psi}^s}{dt}, \quad \tilde{U}^r = \tilde{I}^r R^r + \frac{d\tilde{\Psi}^r}{dt} \quad (1.102)$$

Simmetrik mashina ko'rib chiqilar ekan stator o'qi bo'yicha cho'lg'amning aktiv qarshiligi

$$R^s = r_a^s = r_b^s, \text{ va } R^r = r_a^r = r_b^r.$$

ga teng.

(1.102)dan o'q koordinatlari bo'yicha natijasi yuzaga kelgan vektorlarni ko'paytuvchilarga ajratishdan keyin o'zgartirilmagan tabiiy yoki fazoviy koordinat kuchlanishining differensial tenglamasi hosil bo'ladi:

$$\begin{cases} u_a^s = i_a^s r_a^s + \frac{d\psi_a^s}{dt}; \\ u_b^s = i_b^s r_b^s + \frac{d\psi_b^s}{dt}; \\ -u_a^r = i_a^r r_a^r + \frac{d\psi_a^r}{dt}; \\ -u_b^r = i_b^r r_b^r + \frac{d\psi_b^r}{dt}. \end{cases} \quad (1.103)$$

Stator va rotor tokining chastotalari turlichadir, shuning uchun toklar rotor va stator cho'lg'ami ilashma oqimi ham turlicha chastotaga ega, o'zaro induktivlik koeffitsienti va toklar oldida to'la induktivlik kuchlanishga va tokka bo'lgan munosabati ikkilangan chastotadan (1.99) o'zgaradi. Rotor tenglamasidagi minus belgisi statordan rotorga aktiv quvvat kelib tushayotganidan darak beradi (1.103). (1.99)dan (1.103)ga ilashma oqim nisbatini qo'yadigan bo'lsak, davriy koeffitsientli muhim tenglamani olamiz. Bu tenglamani soddalashtirish uchun o'zgarmas koeffitsientli tenglamaga o'zgartirish kerak.

Elektr mashinalar nazariyasida koordinatlarni o'zgartirish keng qo'llanilmoqda. Koordinatlarni o'zgartirishi o'zgarayotgan chastota va invariant (o'zgarmasligi) quvvati sharoitida amalga oshiriladi.

Elektr mashinalarda energiyaning o'zgartirish jarayonlarini ko'rib chiqamiz. Kuzatuvchi tomonidan (koordinat sistemasida) mashinaning tor tirqishda ixtiyoriy tezlikda ω_k koordinat sistemasida aylanadi. Bu sistema-larda qo'zg'almaydigan statorda kuchlanish chastotasi koordinati $\omega_k \pm \omega_k$ ga teng. shunday qilib $\cos\theta + j\sin\theta = e^{+j\theta}$, ixtiyoriy tezlikda aylanayotgan koordinat o'qlari uchun vektorli tenglama

$$\omega_k = \frac{d\theta_k}{dt}, \quad (1.104)$$

quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{cases} \tilde{U}^s e^{j\theta_k} = R^s \tilde{I}^s e^{j\theta_k} + \frac{d(\tilde{\Psi}^s e^{j\theta_k})}{dt}; \\ \tilde{U}^r e^{j(\theta_k - \theta)} = R^s \tilde{I}^s e^{j(\theta_k - \theta)} + \frac{d(\tilde{\Psi}^s e^{j(\theta_k - \theta)})}{dt}. \end{cases} \quad (1.105)$$

(1.105) hosilani olib,

$$\begin{cases} \tilde{U}^s = R^s \tilde{I}^s + \frac{d(\tilde{\Psi}^s)}{dt} + j\omega_k \tilde{\Psi}^s; \\ \tilde{U}^r = R^r \tilde{I}^r + \frac{d(\tilde{\Psi}^r)}{dt} + j(\omega_k - \omega_p) \tilde{\Psi}^r. \end{cases} \quad (1.106)$$

erishamiz.

Umumlashtirilgan mashinalar uchun kuchlanishning tenglamasi umumiy ko'rinishga ega va (1.06.) o'ta oddiylikni tashkil qiladi.

Har qanday tezlikdagi ω_k , cheksiz miqdordagi koordinatga ega bo'lish mumkin. Elektrli mashinalar nazariyasida cheklangan miqdordagi koordinatlar qo'llaniladi. Qo'zg'almaydigan koordinatlar ($\omega_k=0$). α, β degan nom oldi. α, β koordinatlarida qo'zatuvchilar qo'zg'almaydigan stator tomonidan energiyani o'zgartirish jarayonlarini ko'rib chiqishadi. α, β koordinatlari asinxron mashinalarni tadqiq qilish uchun keng qo'llaniladi.

Sinxron mashinalarni tadqiq qilish uchun d, q koordinat sistemasidan foydalaniladi. Shu bilan $\omega_k = \omega_r = \omega_s$ kuzatuvchi rotorga "joylashadi". Rotorda turib, kuzatuvchi tor tirqishda rotor va statorning maydonini rotorga nisbatan qo'zg'almaydiganligini "ko'radi". Agar hayolan rotorni to'xtatsak, kuzatuvchi uchun manzara o'zgarmaydi. d, q koordinat sistemasida tenglamani EXM da modellashtirishda o'zgaras tokda amalga oshiriladi. α, β koordinatlari sistemasida tenglamani modellashtirish o'zgaruvchan tokda bajariladi. α, β va d, q koordinatlari sistemasi eng ko'p ommalashgan. Ixtiyoriy aylanayotgan koordinatlar va tabiiy o'zgartirilmagan koordinatlar kam qo'llaniladi.

Koordinatlarni o'zgartirish va ularni qo'llash [6.7,28] da batafsil ko'rib chiqilgan. α, β $\omega_k=0$ koordinatlarining qo'zg'almaydigan sistemasi uchun koordinat o'qlari stator bilan ulansa va qo'zg'almasa, (1.106) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\begin{cases} \tilde{U}^s = R^s \tilde{I}^s + \frac{d(\tilde{\Psi}^s)}{dt}; \\ \tilde{U}^r = R^r \tilde{I}^r + \frac{d(\tilde{\Psi}^r)}{dt} - j(\omega_p) \tilde{\Psi}^r. \end{cases} \quad (1.107)$$

α, β o'qlari bo'yicha vektorlarning yuzaga kelgan natijasi bo'yicha tizib chiqib, ilashma oqim orqali ifodalangan umumlashtirilgan mashina kuchlanishi tenglamasini olamiz:

$$\begin{cases} u_\alpha^s = i_\alpha^s r_\alpha^s + \frac{d\Psi_\alpha^s}{dt}; \\ u_\beta^s = i_\beta^s r_\beta^s + \frac{d\Psi_\beta^s}{dt}; \\ u_\alpha^r = i_\alpha^r r_\alpha^r + \frac{d\Psi_\alpha^r}{dt} + \omega_p \Psi_\beta^r; \\ u_\beta^r = i_\beta^r r_\beta^r + \frac{d\Psi_\beta^r}{dt} - \omega_p \Psi_\alpha^r. \end{cases} \quad (1.108)$$

α, β koordinatlari sistemasi rotor va stator o'qi mos keladi (1.28 rasmga qarang), rotor bo'lsa qo'lg'almas bo'lib qoladi. Isroflar, aylanayotgan mashinadagi kabi quvvat, toklar ham shunday bo'lishi uchun rotor cho'lg'amiga EHK (EYUK) kiritiladi $\omega_r \Psi^r \beta - \omega_r \Psi^r \alpha$. Shu bilan aylanayotgan mashinadagi jarayonlarni soxtaqo'zg'almas mashinalar tenglamasida ko'rib chiqishimiz mumkin. α, β koordinatlari sistemasi uchun ilashma oqimning ahamiyati:

$$\begin{cases} \Psi_{\alpha}^s = L_{\alpha}^s i_{\alpha}^s + M i_{\alpha}^r; \\ \Psi_{\beta}^s = L_{\beta}^s i_{\beta}^s + M i_{\beta}^r; \\ \Psi_{\alpha}^r = L_{\alpha}^r i_{\alpha}^r + M i_{\alpha}^s; \\ \Psi_{\beta}^r = L_{\beta}^r i_{\beta}^r + M i_{\beta}^s. \end{cases} \quad (1.109)$$

(1.108) ga bu oqim ilashmalarni qo'ygan holda tok orqali ifodalangan α, β koordinatlari sistemasida energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasini olamiz. Tok orqali ifodalangan kuchlanish tenglamasini matritsali shaklda yozib olish qulaydir:

Bu yerda: $u_{\alpha}^s, u_{\beta}^s, u_{\alpha}^r, u_{\beta}^r, i_{\alpha}^s, i_{\beta}^s, i_{\alpha}^r, i_{\beta}^r$ - tegishincha kuchlanish va α va β o'q bo'yicha rotor $r_{\alpha}^s, r_{\alpha}^r, r_{\beta}^r, r_{\beta}^s$ va stator cho'lg'amidagi tok: stator va rotor cho'lg'amida aktiv qarshilik; M - o'zaro induktivlik: $L_{\alpha}^s, L_{\alpha}^r, L_{\beta}^r, L_{\beta}^s$ - α va β o'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amidagi to'la induktivlik.

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha}^s \\ u_{\alpha}^r \\ u_{\beta}^s \\ u_{\beta}^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{\alpha}^s + \frac{d}{dt} L_{\alpha}^s & \frac{d}{dt} M & 0 & 0 \\ \frac{d}{dt} M & r_{\alpha}^r + \frac{d}{dt} L_{\alpha}^r & L_{\beta}^r \omega_p & M \omega_p \\ -M \omega_p & -L_{\alpha}^r \omega_p & r_{\beta}^r + \frac{d}{dt} L_{\beta}^r & \frac{d}{dt} M \\ 0 & 0 & \frac{d}{dt} M & r_{\beta}^s + \frac{d}{dt} L_{\beta}^s \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_{\alpha}^s \\ i_{\alpha}^r \\ i_{\beta}^s \\ i_{\beta}^r \end{bmatrix} \quad (1.110)$$

Cho'lg'amning induktivligi:

$$\left. \begin{aligned} L_{\alpha}^s &= M + L_{\alpha\sigma}^s; \\ L_{\alpha}^r &= M + L_{\alpha\sigma}^r; \\ L_{\beta}^s &= M + L_{\beta\sigma}^s; \\ L_{\beta}^r &= M + L_{\beta\sigma}^r. \end{aligned} \right\} \quad (1.111)$$

$L_{\alpha\sigma}^s, L_{\alpha\sigma}^r, L_{\beta\sigma}^s, L_{\beta\sigma}^r$ - α va β o'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amidagi tarqalish induktivligini bildiradi.

Induktiv va aktiv qarshiliklar mashina fazasiga tegishli va u loyihalash formulasi va tajriba yo'li bilan joyini egallash sxemasi bo'yicha aniqlanadi.

Qo'zg'almas cho'lg'am uchun kuchlanish tenglamasi oddiy qayd etishda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$u_{\alpha}^s = r_{\alpha}^s i_{\alpha}^s + \frac{L_{\alpha}^s d}{dt} i_{\alpha}^s + \frac{M d}{dt} i_{\alpha}^r \quad (1.112)$$

cho'lg'amda aylanayotgan maydon bo'lsa

$$u_{\alpha}^r = \frac{M d}{dt} i_{\alpha}^s + r_{\alpha}^r i_{\alpha}^r + \frac{L_{\alpha}^r d}{dt} i_{\alpha}^r + L_{\beta}^r \omega_p i_{\beta}^r + M \omega_p i_{\beta}^s \quad (1.113)$$

(1.110) tenglamasi soxta qo'zg'almas cho'lg'amdan keltirilgan mashina uchun yozilgan, uning rotor va statoridagi cho'lg'amlar bir xilda. Qo'zg'almas cho'lg'amli mashinalarda va aniq mashinadagi invariantlik quvvatini saqlab qolish uchun tenglamaga α o'q bo'yicha rotor cho'lg'ami uchun $L_{\alpha\omega_p}^r i_{\alpha}^r - M \omega_p i_{\alpha}^s$ ko'paytmada

ifodalangan EYUK aylanasi kiritiladi, β o'yi bo'yicha esa $L_{\beta\omega_p}^r i_{\beta}^r - M\omega_p i_{\beta}^s$ (1.110) Kirxgorf tenglamasi o'z ichiga kuchlanishni, aktiv qarshilikdagi kuchlanishning tushishini, EYUK ning aylanishini o'z ichiga oladi, transformatoridagi EYUK faqat aylanayotgan cho'lg'amdagina induksiyaalanadi

$$\left. \begin{aligned} &\frac{L_{\alpha}^s d}{dt} i_{\alpha}^s + \frac{Md}{dt} i_{\alpha}^r \\ &\frac{L_{\alpha}^r d}{dt} i_{\alpha}^r + \frac{Md}{dt} i_{\alpha}^s \\ &\frac{L_{\beta}^s d}{dt} i_{\beta}^s + \frac{Md}{dt} i_{\beta}^r \\ &\frac{L_{\beta}^r d}{dt} i_{\beta}^r + \frac{Md}{dt} i_{\beta}^s \end{aligned} \right\} \quad (1.114)$$

Energiyaning elektrmexanik o'zgartirish jarayonlari (1.110) kuchlanish tenglamasi va harakat tenglamasida ifodalanadi:

$$M_{EM} = \frac{1}{p} J d\omega_p \pm M_c, \quad (1.115)$$

Bu yerda: M_s -qarshilik momenti yoki valga bo'lgan yuklama momenti; J -inersiya momenti. Agar elektr mashina mexanik yurituvchi mexanizm bilan tadqiq qilinsa, bunda mexanizmning keltirilgan inersiya momentini hisobga olish kerak bo'ladi.

Elektromagnitli moment:

$$M_{EM} = \frac{m}{2} M (i_{\beta}^s i_{\alpha}^r - i_{\alpha}^s i_{\beta}^r). \quad (1.116)$$

A'zolar oldida va (1.116) keltirilgan tok oldidan belgilar tenglamada EYUK aylanishi bilan aniqlanadi, β o'q bo'yicha rotorcho'lg'amidagi kuchlanish o'qlar yo'nalishiga bog'liq bo'ladi, 1.28-rasmda ko'rsatilgan.

$$\begin{pmatrix} u_d^s \\ u_d^r \\ u_q^r \\ u_q^s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_d^s + \frac{d}{dt} L_d & \frac{d}{dt} M & -L_q^r \omega_p & -M\omega_p \\ \frac{d}{dt} M & r_d^r + \frac{d}{dt} L_d^r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_q^r + \frac{d}{dt} L_q^r & \frac{d}{dt} M \\ M\omega_p & L_d^r \omega_p & \frac{d}{dt} M & r_q^s + \frac{d}{dt} L_q^s \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_d^s \\ i_d^r \\ i_q^r \\ i_q^s \end{pmatrix} \quad (1.119)$$

Rotor va statorning turli fazalaridan oqib o'tuvchi elektromagnitli moment statordagi ko'paytma bilan aniqlanadi. Shu bilan birga rotor va stator orasidagi toklarni siljitish zarur bo'ladi. Agar stator va rotorda faqatgina reaktiv toklar oqib o'tsa, $M_{em}=0$, ana shunga ko'ra aktiv toklarisiz energiyani o'zgartirib bo'lmaydi. Agar umumlashtirilgan mashinalarning rotor va statori modelida faqatgina o'zgaruvchan tokdan iborat bo'lgan aktiv toklar o'tsa, unda M_{em} nolga teng bo'ladi, chunki mashinada magnit maydonni hosil qiluvchi shartlangan reaktiv toklarni hosil qiluvchi cho'lg'am o'rtasida aloqa yo'q.

(1.110) kuchlanish tengmasi sistemasi va harakat tenglamasi (1.116) α va β koordinat tizimida energiyani o'zgartirish jaryonlarini qayd etib boradi d,q koordinat sistemasi energiyani elektromexanik o'zgartirishni hosil qilish uchun (1.106) ga $\omega_k = \omega_r$ ni qo'yish kerak bo'ladi. Unda

$$\left. \begin{aligned} \widetilde{U}^s &= R^s \widetilde{I}^s + d \frac{\widetilde{\Psi}^s_d}{dt} - j\omega_p \Psi_q^r; \\ \widetilde{U}^r &= R^r \widetilde{I}^r + d \frac{\widetilde{\Psi}^r}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1.117)$$

d va q ni natijasi yuzaga kelgan vektorlar bo'yicha tizib chiqib, o'q bo'yicha d,q koordinat sistemasidan umumlashtirilgan mashinaning tenglamasiga kelimiz:

$$\left. \begin{aligned} u_d^s &= i_d^s r_d^s + \frac{d\Psi_d^s}{dt} - \omega_p \Psi_q^r; \\ u_q^s &= i_q^s r_q^s + \frac{d\Psi_q^s}{dt} + \omega_p \Psi_q^r; \\ u_d^r &= i_d^s r_d^s + \frac{d\Psi_d^s}{dt}; \\ u_q^r &= i_q^s r_q^s + \frac{d\Psi_q^s}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (1.118)$$

(1.118) ni tok orqali ilashma oqimini almashtirib, induktivlik va o'zaro induktivlik, α va β koordinati sistemasida qilinganidek d,q o'qlarida energiyaning elektromexanik o'zgartirish tenglmasini olamiz:

$$\frac{1}{p} \frac{d\omega_p}{dt} \pm M_c = pM(i_q^s i_d^r - i_d^s i_q^r). \quad (1.120)$$

(1.119) va (1.120), (1.110) va (1.116) tenglamalar shunisi bilan farq qiladiki, d, q sistemasidagi tenglamalarda EYUKning aylanashi –stator cho'lg'amida hosil bo'ladi.

Ixtiyoriy tezlikda (u,v) aylanyotganda koordinat sistemasida energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$\left\| \begin{array}{c} u_u^s \\ u_u^r \\ u_v^r \\ u_v^s \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{cccc} r_u^s + \frac{d}{dt} L_u^s & \frac{d}{dt} M & M\omega_k & L_v^s \omega_k \\ \frac{d}{dt} M & r_u^r + \frac{d}{dt} L_u^r & L_v^r (\omega_k - \omega_p) & M(\omega_k - \omega_p) \\ -M(\omega_k - \omega_p) & -L_v^r (\omega_k - \omega_p) & r_v^r + \frac{d}{dt} L_v^r & \frac{d}{dt} M \\ -L_u^s \omega_k & -M\omega_k & \frac{d}{dt} M & r_v^s + \frac{d}{dt} L_v^s \end{array} \right\| x \left\| \begin{array}{c} i_u^s \\ i_u^r \\ i_v^r \\ i_v^s \end{array} \right\| \quad (1.121)$$

EYUK aylanishidagi u,v koordinatlar sistemasida, stator cho'lg'amida bo'lgani kabi, rotorda ham xuddi shunday bo'ladigan burchak tezligi bilan aniqlanadigan $\omega_k - \omega_r$: stator va rotorga nisbatan kuzatuvchi aralashtiriladi.

Ixtiyoriy tezlikda aylanayotgan koordinat sistemasini stator va rotori aylanayotgan mashinalarni tadqiq qilishda qo'llaniladi.

$$\frac{1}{p} J \frac{d\omega_p}{dt} \pm M_c = pM(i_v^s i_u^r - i_u^s i_v^r) \quad (1.122)$$

Ayrim hollarda davriy koeffitsientga ega bo'lgan koordinat sistemasini o'zgartirilmagan tenglamalar bilan masalan chastota o'zgartirgich tiristorlidan asinxron motor rotor yoki statori cho'lg'amini o'zgartirishda foydalaniladi. Bunday hollarda mashina ikki fazali holatga keltirilmaydi, kuchlanish oltita tenglamasini olish uchun esa va EXMda tayyorlangan kuchlanish tenglamasi sistemasiga o'zgartirgichdan o'zgartirishsiz foydalanish kerak bo'ladi.

$\alpha, \beta, d, q, u, v$ koordinatlari sistemasini o'ta ommalashgan va jami amaliyotda uchraydigan vazifalar uchun tenglamani tuzish imkonini beradi. Koordinat sistemasini tanlash tenglamasini osonlashtiradi, o'zgarish koeffitsientlar tenglamasini olish imkonini beradi, ammo noma'lumlari sonini kamaytirmaydi.

U yoki bu koordinat sistemasida ifodalangan tenglama matematika qoidalariga ko'ra o'zgartiriladi. O'zgartirishning eng muhim yo'llaridan biri o'zgaruvchanlarni almashtirishdir:

$$\left. \begin{aligned} i_{0\alpha} &= i_{\alpha}^s + i_{\alpha}^r; \\ i_{0\beta} &= i_{\beta}^s + i_{\beta}^r. \end{aligned} \right\} \quad (1.123)$$

Bu erda: α, β o'qi bo'yicha salt yurishda oniy tokni tashkil qiluvchi- $i_{0\alpha}, i_{0\beta}$

Moment va kuchlanishlarning tenglamasi rotor va stator toklari, magnitlanuvchi toklar ilashma oqim orqali ifodalanadi.[7]

(1.110), (1.116), (1.119)-(1.122), moment tenglamalari va kuchlanishning uch tenglamadan iborat sistemasini koordinatning turli sistemalari qayd etilgan energiyani elektromexanik o'zgartirish fundamental tenglamasi hisoblanadi

Energiyaning elektromexanik o'zgartirish tenglamasining oddiy ko'rinishi besh tenglamadan iborat bo'lgan sistemasini o'zida ifoda etadi. Ularda beshta mustaqil (qarshilik momenti va kuchlanish) va beshta bog'liq bo'lgan o'zgaruvchan (toklar va burchak tezligi). O'zgaruvchan bog'liqlik oldidagi (aktiv qarshilik, inersiya momenti va o'zaro induktivlik) koeffitsientlar parametrlari deyiladi. Tenglama ko'rinishiga bog'liqligidan koeffitsientlar o'zgaruvchanligida o'zgarish, davriy va noxiziq bo'lishi mumkin.

Energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasi ko'pincha aniq analitik yechimga ega emas, chunki ular o'zgaruvchanning ko'paytmasidir. Ularni yechish uchun EXM qo'llaniladi. Energiyani elektromexanik tenglamasini aniq echimi EXM darajasiga bog'liq. (1.110), (1.116)ni EXM yordamida shunday yuqori aniqlikda yechish mumkinki, bu uchun muhandislik masalasi ham talab etilmaydi.

Agar tenglamaga kiruvchi har qanday parametrlar nolga yoki cheksizlikka teng bo'lsa, bunda energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasi yechimga ega bo'lmaydi. Agar induktiv va aktiv qarshilik cheksizlikka teng bo'lsa, tok nolga teng bo'ladi va mashina momentni rivojtirmaydi. $J=\infty$ holatida mashina uzoq vaqt to'xtovsiz harakatga keladi. $J=0$ bo'lganda esa mashina muayyan tezlikka erisha olmaydi, chunki tezlik hosil qiluvchi va moment hosil qiluvchi rotor tokning ko'paytmasidagi barcha o'zgarishlarda reaksiyaga kirishadi. Bu holatda o'rtacha elektromagnit momentini hosil qiluvchi mavjud bo'lmaydi. O'zaro induksiya nolga

teng bo'lganida rotor va stator cho'lg'ami orasida magnit bog'lanish bo'lmaydi va elektr magnit momenti nolga tenglashadi(1.116). Agar elektr mashinalarning konturida ya'ni toklar tutashgan joyda aktiv qarshilik nolga teng bo'lsa qurilma xuddi energiya to'plovchi sifatida ishlaydi. O'zgarmas vaqt cheksizlikka teng bo'ladi, rotor va stator o'rtasidagi tok M_{em} , siljish 90^0 ni hosil qiluvchi o'rtacha elektr magnitli moment nolga teng (1.33-rasmga qarang)

Energiyani elektromexanik o'zgartirish differensial tenglamasini o'tish va muayyan rejimlar ta'riflab beradi. Sinusoidal o'zgaruvchan tok rejimida muayyan kuchlanish va tenglama differensiyalash operatorida d/dt ni $i\omega$ ga o'zgartirish yo'li bilan differensial tenglama olinadi. Muayyan rejimda tenglama xulosasi har qanday turdagi mashinalar uchun kursga tegishli paragraflarida ma'lumot beriladi.

Muayan rejimlarda *qachonki* $\omega_r=0$ bo'lsa, kuchlanish tenglamasi va harakat tenglamasini alohida ko'rib chiqish va ulardan analitik yechim tahlili uchun foydalanish mumkin. Muayyan rejimlardagi tahlil uchun elektrli mashinalar kursida qoida bo'yicha kuchlanish tenglamasidan, elektr mashinalarning elektr yuritmalarning ishini o'rganishda harakat tenglamasidan foydalaniladi.

Nazorat savollari.

1. Energiyani elektromexanik energiyaga aylantiruvchi tenglamalarni yozing?
2. Elektromagnit moment tenglamasini keltirib chiqaring?
3. Kuchlanish va tezlikni bog'lovchi tenglamalar sistemasini bog'lanishini tushuntiring?

1.13. Elektr mashinalarning parametrlari

Elektr mashinalarning parametrlari – bu o'zgaruvchan mustaqil tenglama oldidagi, energiyani elektromexanik o'zgartirishini ta'riflovchi koeffitsient. Odatda mustaqil o'zgaruvchan –bu toklardir.

Tenglamalar differensial, kompleks va algebraik bo'lishi mumkin. Energiyani elektromexanik o'zgartirish jarayonlarini o'ta qat'iy ta'riflash differensial tenglamani beradi. Elektr mashinalarning parametrlari aktiv va induktiv qarshiligi va inersiya momentlari kiradi.

Induktiv qarshilik o'rniga to'la, o'zaro va tarqalish induktivligini qo'llash qulaydir. Shunday qilib mashina parametrlariga L, M, L_{σ}, r mashina cho'lg'ami va inersiya momenti J hisoblanadi.

Odatda parametrlarni mashina fazalariga taalluqli (inersiya momentidan tashqari), ularni tajribaga asoslangan holda aniqlashni va energiyani o'zgartirish tenglamasini qayd qilishni osonlashtiradi.

Cho'lg'am fazalaridagi aktiv qarshilik quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$r_0 = \rho_0 \frac{l_{pr}}{q_{pr}} k_r \quad (1.124)$$

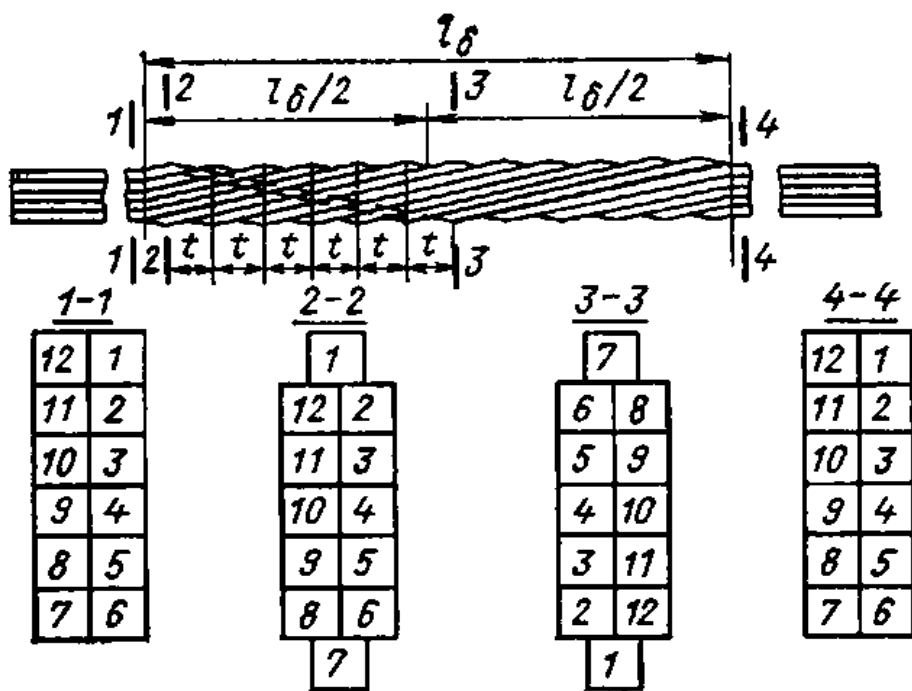
Bu yerda: l_{pr} - o'tkazgich uzunligi; q_{pr} - o'tkazgichning ko'ndalang kesishmasi; k_r - o'tkazgich kesimi bo'yicha aktiv qarshilik hisobiga oshishini hisoblovchi koeffitsient; ρ_v - cho'lg'am haroratiga bog'liq bo'lgan o'tkazgich materialining

solishtirma qarshiligi, shuning uchun ham qarshilikni hisobiy qiymati GOST 183-74 ga muvofiq 75°C mo'ljall haroratiga olib boriladi 1.3-jadvalda mis va alyumin cho'lg'amlar uchun $\rho\sigma$ ning miqdori keltirilgan.

1.3-jadval

Cho'lg'amning materiali	Cho'lg'amning materialining solishtirma qarshiligi 10^{-6} Sm.m		
	20	75	114
Mis	1/57	1/47	1/41
Alyumin	1/35	1/28	1/26
Quyma alyumin	1/30	1/24	1/22

Tirqishda joylashgan o'tkazgich kesishmasi bo'yicha o'zgarmas tokning notekis taqsimlanishi o'tkazgichlarning induktiv qarshiligi turlicha pona va tirqish tubida yotgan bo'lishi hisobiga amalga oshadi. Tokning notekis taqsimlanishi g'altakli cho'lg'amning parallel tarmoqlarida ma'lum bir o'ringa ega, qachonki parallel tarmoqlar turli sharoitlarda bo'lsa va u ajratuvchi qarshilikka ega bo'ladi.



1.85-rasm. Trubogenerator stator cho'lg'ami transpozitsiyasi.

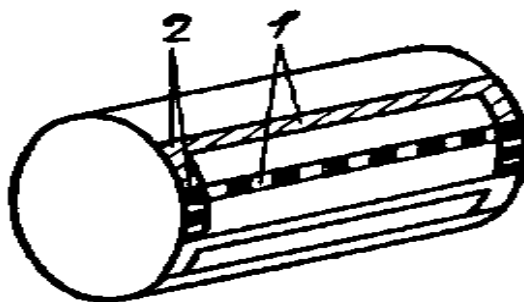
k_r ni kamaytirish uchun cho'lg'am transpozitsiyasi qo'llaniladi. Cho'lg'amning turlicha parallel tarmoqlariga tegishli bo'lgan o'tkazgichlarni shunday joylashtirishadiki, bunda cho'lg'amning barcha parallel tarmoqlari bir xil sharoitda bo'ladi. Transpozitsiyaning bajarishning bir necha usullari mavjud, ularni ikki xilga bo'lish mumkin tirqishli transpozitsiyali va cho'lg'amning old qismidagi o'tkazgich.

1.85-rasmda turbogeneratorning statori cho'lg'ami tirqish qismida transpozitsiyani bajarilishiga misol keltirilgan. To'qilgan sterjen tirqish uzunligi va balandligi bo'yicha barcha mumkin bo'lgan imkonlarni egallovchi $10-20 \text{ mm}^2$ kesimli misli simlardan iborat. Transpozitsiya o'tkazgichlar qirrasini egish bilan

amalga oshiriladi. Ayrim o'tkazgichlarning egish joyi muayyan miqdorda bir-biriga nisbatan aralashtirilgan. To'qilgan sterjen ikki yarimdan iborat bo'lib, u birta sterjenda shakllantiriladi.

Ko'pgina mashinalarda cho'lg'am sterjeni transpozitsiyaga ega bo'ladi, bunda har bir elementar o'tkazgich bir marta sterjenning o'qi atrofida aktiv qismning uzunlik masofasi bo'ylab to'liq aylanadi. Shu bilan to'qilgan qadam $t=l\sigma/2n$ teng, bu yerda $l\sigma$ - mashinaning aktiv uzunligi, n - elementar o'tkazgichlar miqdori. Har ikki egish joyi oralig'i masofasi qirradi $l\sigma/2$ ga teng.

1.85-rasm. 1-1 kesishmada to'rtta tekislikda cho'lg'am sterjeni kesishmasi ko'rsatilgan. 1-1 boshlang'ich kesishmada va oxirgi elementar o'tkazgichlarning holati 4-4 mos keladi.



1.86-rasm. Rotorning qisqa tutashgan qarshiligini aniqlash.

Elektromashinasozlikda transpozitsiyaning boshqa turlari ham qo'llaniladi, u kitobning boblariga mos ravishda ko'rib chiqiladi.

Qisqa tutashgan cho'lg'amda qarshilikni aniqlashda qisqa tutashgan cho'lg'am fazalari miqdori sterjen miqdoriga teng deb mo'ljallanadi, ya'ni $m_2=z_2$, bu yerda m_2 - rotor fazasi miqdori: z_2 -rotordagi tirqishlar miqdori. Fazalarning har birini cho'lg'ami birta sterjendan iborat 1 va 2 qisqa tutashuvli halqaning qismi (1.86-rasm)

Mo'ljallangan va tajriba yo'li bilan induktivlikni va induktiv qarshilikni aniqlash elektr mashinalar nazariyasining o'ta muhim va murakkab bo'limi hisoblanadi. Ko'pgina konturlarning mavjudligi, to'yinganligi induktivlikni aniqlashni qiyinlashtiradi. Induktivlikni aniqlashda shuni hisobga olish zarurki, induktivlik cho'lg'am fazalariga tegishli bo'ladi, ishchi magnit maydoni esa mashinalar uchun umumiy, mashina cho'lg'aming barcha fazalari bo'ylab o'tayotgan tokni hosil qilinadi. Fazaning cho'lg'amlari bo'yicha tebranishli qiymatdagi tok oqib o'tsa $\sqrt{2}I$, bunda (1.94) faza cho'lg'amida MYUKning tebranishli miqdori 1-chi garmonika bo'yicha

$$F_{1m} = \frac{2\sqrt{2}I\omega k_{chorl1}}{\pi p} \quad (1.125)$$

Bu MYUK tor tirqishda induksiya magnit maydonini hosil qiladi

$$B_{1m} = \mu_0 F_{1m} \lambda_0 = \frac{2\sqrt{2}I\omega k_{chorl1}\mu_0}{\pi p \delta k_\delta} \quad (1.126)$$

O'q maydoni o'q fazasiga mos keladi deb hisoblagan holda fazalarning ilashma oqimini topamiz .

$$\Psi_{Am} = \omega k_{cho'l1} \Phi_{1m} = \frac{2}{\pi} \tau l_{\delta} \omega k_{cho'l1} B_{1m} \quad (1.127)$$

Bu yerda: F_{1m} - birinchi garmonika oqimi; B_{1m} - mashinaning tor tirqishda birinchi garmonika induksiyasi.

Bunda fazaning asosiy induktivligi

$$L_A = \frac{\Psi_{Am}}{\sqrt{2}I} = \frac{4\mu_0}{p\pi^2} (\omega_1 k_{cho'l1})^2 \frac{\tau l_{\delta}}{\delta k_{\delta}} \quad (1.128)$$

Ko'p fazali cho'lg'am uchun rotor va stator o'rtasidagi o'zaro induktivlik

$$L_{12} = \frac{m}{2} L_A = \frac{2m\mu_0}{p\pi^2} (\omega_1 k_{cho'l1})^2 \frac{\tau l_{\delta}}{\delta k_{\delta}} \quad (1.129)$$

uch fazalik mashinalar uchun

$$L_{12} = \frac{3}{2} L_A = \frac{6\mu_0}{p\pi^2} (\omega_1 k_{cho'l1})^2 \frac{\tau l_{\delta}}{\delta k_{\delta}} \quad (1.130)$$

Elektr mashinalarni parametrlarini mo'ljallanganni eslash zarur, ana shunday modellar uchun tenglamalardagi koeffitsient aniqlanadi. (1.110)-(1.122) bir qator o'zgartirishlardan keyin olingan o'zgarmas koeffitsientdan mashina tenglamasini ko'rib chiqishda, bu yerda parametrlari o'zgarmasdir. Muayyan rejim tenglamalari uchun vektorli diagrammalar tiziladi va almashtirish sxemasi o'zgarmas koeffitsientga ega bo'ladi.

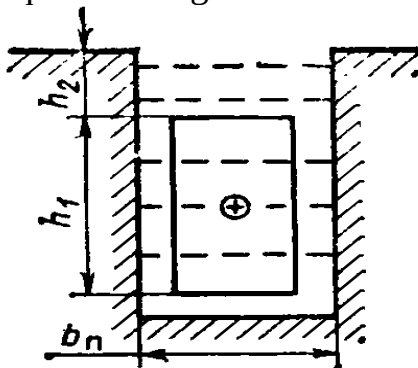
Tor tirqishda maydonning aylanishi va real mashinaning o'zaro induktivlik cho'lg'amini siljiganida garmonik qonun bo'yicha rotor va stator fazasi cho'lg'ami oralig'ida o'zgaradi, bu holatda cho'lg'amning bir-biriga nisbatan joylashishi o'zgaradi, o'zaro induktivlik koordinatining o'zgarmagan sistemasi uchun tenglamalarda fazalar o'rtasida quyidagicha bo'ladi.

$$L_{BA} = \frac{\Psi_{BA m}}{\sqrt{2}I} = \left(\frac{\Psi_{Am}}{\sqrt{2}I} \right) \cos \alpha = L_A \cos \alpha. \quad (1.131)$$

Uch fazali cho'lg'amlar uchun faza cho'lg'ami o'rtasidagi burchak $2\pi/3$ va $2\pi/3$ ga teng bo'ladi, shuning uchun induktivlikning amplituda qiymati

$$L_{BA} = L_{CA} = \frac{L_A}{2}. \quad (1.132)$$

Oldin qayd qilinganidek, cho'lg'amda tarqalish maydonini uch qismga bo'lish qabul qilingan –tarqalish maydonining tirqish qismda, cho'lg'am old qismida va Yuqori garmonik hisobiga tarqalish cho'lg'am induktivligi.



1.87-rasm. Ochiq to'g'ri burchakli pazda tirqish tarqalish maydoni.

(1.7§ ga qarang) Induktivlikning sochilishi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi.

$$L_{\sigma} = 2\mu_0\omega^2 \frac{l_{\sigma}}{pq} \lambda_{\sigma} \quad (1.133)$$

Bu yerda: $\lambda_{\sigma} = \lambda_p + \lambda_l + \lambda_d$ - rotor va stator cho'lg'ami uchun tirqishli, oldi va differensial tarqalish o'tkazuvchanlik koeffitsienti.

To'la tok qonuni bo'yicha magnitli o'tkazuvchanlik koeffitsientini aniqlashda $\mu = \infty$ po'lat uchun qabul qilib, induksiyaning tarqalish maydonini, keyin esa oqim sochilishi va g'altaklik o'tkazgichli ilashma oqimini hisoblaymiz.

Tarmoqlar miqdoridan g'altak uchun ilashma oqim tirqishni sochilishi ω_k oqayotgan tok i_k , bo'yicha quyidagi tenglamadan aniqlab olish mumkin

$$\Psi_p = \mu_0\omega^2 i_k l_{\sigma} \lambda_p \quad (1.134)$$

λ_p - o'lchamsiz miqdor, tirqishni tarqalishining magnitli o'tkazuvchanligi koeffitsienti.

To'g'riburchakli devorchalardan ochiq tirqish uchun (1.87- rasm)

$$\lambda_p = \frac{h_1}{3b_p} + \frac{h_2}{b_p} \quad (1.135)$$

Kuch liniyalari yo'nalishi tirqish shakli murakkablashtirilgan bo'ladi. Kuch liniyasining parallelligi tor tirqish yaqinida buziladi (1.44-rasmga qarang) tirqishning ana shu qismi tarqalish effektining o'zgarishida tarqalishdan iborat bo'lgan qo'shimcha hisobga olinadi, uni tishli koronka bo'yicha tarqaluvchi deb aytishadi.

Tirqish sochilishi qancha ko'p bo'lsa, tirqish shuncha ko'p bo'ladi, kengligi bo'lsa kam bo'ladi. Kuchli darajadagi tirqish sochilishi tirqishni ochilishi darajasi bilan belgilanadi. Yuqori qism maydoni turlicha fazalarga tegishli bo'lgan cho'lg'amning yuqori qismi seksiyasida murakkab ko'rinishga ega, buning sababi shundaki mashinaning po'lat (magnit o'tkazgich, podshipnikli to'siqlar, stanin) qismiga ta'sir ko'rsatish cho'lg'am yuqori qismi maydon sochilishi va chalkashidir.

λ_p va λ_{π} etarli darajada odatda katta yo'l qo'yishlarda hisoblanadi, mo'ljallangan formulalarida yarim empirik koeffitsientlardan foydalaniladi. λ_p va λ_{π} uchun mo'ljallangan formulasi [8] elektr mashinalarni loyihalashtirish bo'yicha kitobda cho'lg'am va turli tirqishlar uchun keltirilgan. Differensiallangan tarqalish tor tirqishda yuqori garmonik maydonini mavjudligi bilan aniqlanadi. Oraliqda qancha ko'p egri maydon bo'lsa, sinusoidlardan farq qiladi, differensial tarqalish esa shuncha ko'p bo'ladi.

Differensial tarqalish o'tkazuvchanlik koeffitsienti quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$\lambda_d = \frac{t_z}{12\delta k_{\sigma}} \xi \quad (1.136)$$

Bu yerda: t_z - tish bo'linmasi; ξ - cho'lni bajarishdan bog'liq koeffitsient, 0,4-1 chegarasidagi turli xildagi mashinalarda yotgan uyurmalagan tok ta'siri va tirqishlarni ochiqlik darajasi.

Asinxron mashinalardagi tirqishli, pesh va differensial sochilish bir xil miqdorga ega. Yirik sinxron mashinalarda esa tirqishliga nisbatan odatda kam bo'lad. Sochilish va o'zaro induktivlik yig'indisini $L=L_{11}+L\sigma$ to'la induktivlikni bildiradi. L_{11} ko'pincha M kabi xuddi sochilish induktivligini bildiradi $L\sigma$ va $L=M+L\sigma$ birinchi 1 uchun mos va 2 ikkilamchi cho'lg'am uchun indeks.

Cho'lg'am induktivligini bila turib, cho'lg'amning induktiv qarshiligi aniqlanadi: $x=\omega L$ - cho'lg'amning to'la induktiv qarshiligi, $x_{12}=\omega M$ - o'zaro induksiya qarshiligi va $x=\omega L\sigma$ -sochilishning induktiv qarshiligi.

Rotor va stator cho'lg'ami orasidagi o'zaro induksiyaning induktiv qarshiligi

$$x_{12} = \omega_1 L_{12} = 2\pi f_1 \frac{2m_1\mu_0}{p\pi^2} (\omega_1 k_{o61})^2 \frac{\tau l_\delta}{\delta k_\delta} = \frac{\frac{4m_1 f_1}{\pi} \mu_0 \tau l_\delta}{p} (\omega_1 k_{o61})^2 \quad (1.137)$$

Stator cho'lg'amining sochilish induktiv qarshiligi

$$x_{\sigma 1} = \omega_1 L_{\sigma 1} = 2\pi f_1 2\mu_0 \omega_1^2 \frac{l_\sigma}{pq} \lambda_\sigma = 4\pi \mu_0 f_1 \omega_1^2 \frac{l_\sigma}{pq} \lambda_\sigma \quad (1.138)$$

Ikkilamchi cho'lg'am sochilish induktiv qarshiligi

$$x_{\sigma 2} = \omega_2 L_{\sigma 2} = 2\pi f L_{\sigma 2} \quad (1.139)$$

Cho'lg'am sochilishi induktiv qarshiligi odatda o'zaro induksiya qarshiligi 10-15 % dan bir necha foizgacha miqdorga ega bo'ladi. Biroq mikromashinalar sochilish qarshiligi ana shu miqdordan ko'p bo'lishi mumkin.

Ish rejimi o'zgarganida shuningdek o'tish rejimida – ishga tushirish, rivers, takroriy ulashda aktiv va induktiv qarshiligi tokning qisilishi tok o'tkazuvchi qismida va magnit sistemasini to'yinishi hisobiga o'zgaradi. Shuning uchun elektr mashinalarini tadqiq qilishda elekt mashinalari o'tish va muayyan parametrlari ko'rib chiqiladi. Ko'p darajada o'zaro induksiya qarshiligi to'yinishga bog'liq bo'ladi, chunki sochilish oqimi asosan havo bo'yicha tutashadi. Biroq qisqa tutashuvlarda qachonki tok 10-15 marta oshsa, sochilish oqimi to'yinadi va sochilish induktiv qarshiligi o'zgaradi.

Dinamik rejimda elektr mashinalarni parametrlarini hisoblash va tajribada aniqlash elektr mashinalarda konturning mavjudligida murakkablashadi, to'yinganida va bir nechta cho'lg'am mavjudligi uzish(cho'lg'am demperlari, uyurmalagan tok konturlari) mumkin emas. O'tish parametrlari natijasi yuzaga kelgan egri toklar bo'yicha aniqlanadi.

Inersiya momenti jismning inertligi me'yori hisoblanadi va ko'pincha mashinaning dinamik xususiyatini aniqlaydi. Elektr mashinalarning rotori

$$J_p = \int_V \gamma \rho^2 dV, \quad (1.140)$$

inersiyasi momenti ularning aylanish o'qi masofasidan kvadratdagi hamma nuqtalar massasi ko'paytmasiga teng:

ρ - aylanish o'qigacha bo'lgan masofa;

dV —hajm elementi, γ -rotor moddiy qalinligi.

Rotor inersiyasi momentini hisoblash uchun bir necha qismlarga bo'linadi, oddiy formaga ega bo'lgan va bir xil materialdan iborat bo'lgan va ular uchun inersiya momentini belgilaydi. Rotorning inersiya umumiy momenti inersiya momentlarining alohida qismlari yig'indisi bilan aniqlanadi.

Bir va o'sha hajmda inersiya jismi ko'p radiusliga nisbatan kam radiusda kam bo'ladi. Shuning uchun o'tish rejimida ishlovchi motorlarni rotori va diametrini katta uzunlikda kichik qilib ishlashadi. Pulslanuvchi yuklamada o'ta bir tekisdagi tezlikni olish talab qilinsa, unda kam uzunlik va katta diametri rotorli motorni va inersiya momenti katta qilib loyihalanadi. Gidrogeneratorlarning katta inersiya momenti tarmoq bilan parallel ishlashda ularning mustahkamligini yaxshilaydi. Shuning uchun elektr mashinalar nazariyasida parametrlarni aniqlashga katta e'tibor qaratilmoqda. Elektrmashinalar nazariyasida nisbiy birlik sistemasidan keng foydalaniladi.

Bu sistemada kuchlanish, tok, quvvatlanish va parametrlar ana shu miqdorning asosiy qiymati ulushida ifodalanadi. Asos miqdori sifatida tokning nominal qiymati, kuchlanish, quvvat, aylanish chastotasi, qarshilik va parametrlarning inersiya momenti va boshqa ko'rsatkichlari qabul qilinadi. Nisbiy miqdor yulduzcha bilan belgilanadi.

Nisbiy tok
$$I_* = \frac{I}{I_{nom}} \quad (1.141)$$

Nisbiy kuchlanish
$$U_* = \frac{U}{U_{nom}} \quad (1.142)$$

Nisbiy quvvat
$$P_* = \frac{P}{P_{nom}} = \frac{mUI}{mU_{nom}I_{nom}} = I_*U_*. \quad (1.143)$$

Aylanish chastotasi va nisbiy burchak tezligi

$$\omega_* = \frac{\omega}{\omega_{nom}} = \frac{2\pi n}{2\pi n_{nom}} = \frac{n}{n_{nom}} = n_*. \quad (1.144)$$

Nisbiy aylanish momenti
$$M_* = \frac{M}{M_{nom}} = \frac{M\omega_{nom}}{P_{nom}}. \quad (1.145)$$

Qarshilikning nominal va bazisli miqdori sifatida qabul qilinadi

$$Z_* = \frac{U_{nom}}{I_{nom}}. \quad (1.146)$$

r,x,z larning nisbiy qiymat

$$r_* = \frac{r}{z_{nom}}; \quad x_* = \frac{x}{z_{nom}}; \quad z_* = \frac{z}{z_{nom}} \quad (1.147)$$

Induktivlikning nisbiy qiymati

$$L_* = \frac{L}{L_{nom}} = \frac{\omega_1 L}{z_{nom}}. \quad (1.148)$$

Elektr mashinalarning barcha tenglamalari nisbiy birlikda ta'riflangan bo'lishi mumkin. Nisbiy birlikda parametrlarni ifodalash osonroq, vektorli va aylana diagramma, almashish sxemasini qurish va EXMda tenglamalarni yechish qulaydir. Bitta uchun va o'sha xildagi elektr mashinalarning nisbiy birlikdagi parametrlari mashinaning geometriyasini tavsiflab beradi uning o'lchami, tor tirqish va magnit sistemasi to'yishi. EXMda elektr mashinalarni tenglamasini modellashtirishda vaqt masshtabini o'zgartirish uchun asosli (nisbiy) vaqtdan foydalaniladi.

$$t_{\sigma} = \frac{1}{\omega_{\sigma}}, \quad (1.149)$$

Bu yerda: ω_{σ} - bazaviy burchakli tezlik, $\omega_{\sigma} = \omega_0 = 2\pi f_0$.

O'tish masshtabini to'g'ri tanlash va nisbiy birlik EXM imkoniyatlarini kengaytiradi.

Nazorat savollari.

1. Elektr mashinaning asosiy parametrlarini sanang?
2. Elektr mashina parametrlarining nisbiy qiymatlari bog'langan tenglamalar qaysi parametrlarni bog'laydi?
3. Parametrlari bog'langan tenglamalarda nisbiy vaqt tushunchasi qanday bog'langan?

1.14. Elektr mashinalar oralig'ida garmonik maydonda cheksiz spektr.

Elektr mashinalarda magnit maydoni energiyasi asosan tor tirqishga to'plangan, shuning uchun energiyani o'zgartirish jarayonlarini tushunish uchun mashinaning tor tirqishda maydon shakli qanday o'zgarishini tasavvur qilish kerak. Yupqa parallell oraliqda maydon shaklini birinchi yaqinlashuvini tasavvur qilgan holda hisoblash mumkinki yuqori garmonikning sanoqsiz spektridan iborat bo'lgan maydon aylanadan (sinusoidal) nosinusoidalgacha o'zgaradi.

Tor tirqishda aylana maydon faqatgina ideal elektrli mashinada bo'lishi mumkin. Real mashinalarda esa oraliqdagi maydon nosinusoidaldir.

Nosinusoidal maydonni oliy garmonik cheksiz miqdori natijasi deb tasavvur qilish mumkin. Tor tirqishda maydon shakliga ega bo'lib uni garmoni qatorda qo'yib chiqish mumkin va bunda birinchi tebranish va yuqori garmonik induksiyasi aniqlanadi. Yuqori garmonikning bir qismi asosiy garmonik tomonga qarab aylanadi, boshqasi esa qarama-qarshi tomonga. Yuqori garmonik aylanish chastotasi tekislanishi mumkin va past yoki asosiy garmonika aylanish chastotasidan yuqori bo'lishi mumkin. Garmonikning yuqori fazasi va tebranish yuklama, kuchlanish va chastota o'zgarganda o'zgaradi.

Maydonning buzilishi va yuqori garmonik oralig'i to'g'risida juda ko'p sabablar bor. Yuqori garmonikni vaqtinchalik va fazoviyga bo'lish mumkin. Vaqtinchalik garmonikka mashinadan tashqaridagi tor tirqishga tushgan garmoniklar tegishli bo'ladi. Fazoviy garmonik mashina parametrlarining noxizirligi va konstruksiyasining o'ziga xosligi hisobiga oraliqda hosil bo'ladi.

Elektr mashinalarni to'rtqutbli sifatida ham ko'rib chiqish mumkin, issiqlik chiqarishini ham hisobga olinsa olti qutb sifatida qarash mumkin (1.26 rasmga qarang). Shunday qilib vaqtinchalik garmonikalar mashinaga elektrli, mexanik va issiqlik kirishlari mumkin.

Motorning tor tirqishda vaqtinchalik garmoniklar motor chiqarmasiga kuchlanishning nosinusoidal kuchlanish hisobiga paydo bo'ladi, u motorda oldin yoqilgan noxiziq elementlardan (reaktorlar, yarim o'tkazgichli asbob va boshq.) keyin kelib chiqishi mumkin, tarmoqda kuchlanish shaklini buzilishi hisobiga ham. Agar to'yingan kuchlanish o'zgaras tashkil etuvchidan iborat bo'lsa, unda

garmonik maydon spektorida toq garmonik bilan bir qatorda cheksiz juft garmonik maydoni spektori hosil bo'ladi.

O'tish rejimida vaqtinchalik garmoniklarni paydo bo'lishining sababi nosimmetriya va tebranishning nochiq o'zgarishi va chastota kuchlanishdir.

Tor tirqishda maydon shakli ideal mashinalar uchun fazaviy kuchlanish shakliga mos keladi, qachonki mashina tuzilishi fazoviy garmonik oralig'ini olib kirmaydi va tor tirqishda induksiya kuchlanish shaklini takrorlaydi.

Yuqori garmonikning maksimal tebranishi to'g'riburchakli kuchlanishning quvvatlanishida alohida o'ringa ega, bu holatda 3-garmonikning tebranishi 1-garmonikning $1/3$ tebranishiga teng, 5-niki $1/5$ va v -chi $1/v$ teng quvvatlanayotgan kuchlaning boshqa shakllarida yuqori garmonik tebranishi davri Eyler Furening trigonometrik qatoriga nosinusoidal EYUKni parchalashidan aniqlanadi. (1.26 rasmga qarang) Motorning mexanik chiqarmasi tor tirqishda yuqori garmonik paydo bo'lishi manbasi hisoblanadi. Qarshilik momentining nochiq o'zgarishida va aylanish chastotasida oraliqda yuqori garmonik hosil bo'ladi. Agar tarmoq quvvati elektr mashinaga ulangan bo'lsa mashina quvvati bilan o'lchab bo'lmaydi o'lchovdosh soizmerima, unda zarbiy yuklama hisobiga paydo bo'lgan yoki generatorning aylanayotgan momenti tebranishi hisobiga, tarmoqda kuchlanishni buzadi.

(1.26 rasmga qarang) elektr mashinalarning issiqlik chiqarmasi vaqtinchalik garmonikning manbasi bo'lishi mumkin. Issiqlik rejimining keskin o'zgarishlarida qachonki mashina kuchli issiqlik ta'siriga tushib qolsa unda oraliqda nochiq tezkor issiqlik ta'sirlariga bog'liq bo'lgan yuqori garmonik maydoni hosil bo'ladi. Odatda mashinani issiqlik urmaydi, shuning uchun vaqtinchalik garmonik sinfi etarli darajada o'rganilgan.

Tor tirqishda umumiy holatlarda vaqtinchalik garmonik uchta kirishda mashina chiqarmasi nochiq faktorlari ta'sirida paydo bo'lishi mumkin.

Tor tirqishda fazoviy garmonik nosinusoidal cho'lg'amlarning rostlanishi oqibatida va cho'lg'am EYUK, notekis tor tirqishda rotor va stator tirqish va tishchalarining mavjudligi bilan bog'liqlikda, oraliqning konussimonligi va boshqa texnologik faktorlar, shuning nochiqlik.

Fazoviy garmonikni ko'rib chiqishni MYUK garmonidan boshlaymiz. Oddiy cho'lg'am bir necha cho'lg'amlardan iborat g'altak hisoblanadi. Bir tekisdagi oraliqda cho'lg'ami qadamida jamlangan g'altaksimon cho'lg'am $y=\tau$ to'g'riburchakli MYUKni yaratadi. MYUK cho'lg'amin roslash uch trapetsiya ko'rinishiga ega (1.80 rasmga qarang). Bir necha g'altakdan iborat bo'lgan cho'lg'am uchun MYUKning roslash egri pog'onasimon, sinusoidga yaqinlashgan ko'rinishga ega.(1.81 rasmga qarang).

G'altak yoki qisqartirilmagan birta cho'lg'am uchun bir tekisdagi oraliqda garmonik tebranish

$$\left. \begin{aligned} F_{1m} &= \left(\frac{4}{\pi}\right) F_k; \\ F_{3m} &= \left(\frac{1}{3}\right) \left(\frac{4}{\pi}\right) F_k; \\ F_{5m} &= \left(\frac{1}{5}\right) \left(\frac{4}{\pi}\right) F_k; \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ F_{vm} &= \left(\frac{1}{v}\right) \left(\frac{4}{\pi}\right) F_k. \end{aligned} \right\} \quad (1.150)$$

dan iborat.

MYUKning trapetsial shakliga o'tishda va $y \approx 0,8\tau$ ning qisqarishida Yuqori garmonik tebranishi keskin pasayadi. MYUKning pog'onasimon taqsimlanishida kelgusidagi tebranishni va yuqori garmonik miqdorini kamayishiga olib keladi.

Biroq MYUK yuqori garmonik mazmunini nolga olib kelish mumkin emas, chunki mashinaning tishli maydonida cho'lg'amlarning sinusoidal taqsimlanishini bajarishning iloji yo'q.

Maydon aylanishi yo'nalishi fazoviy yuqori garmonikda MYUK cho'lg'am fazalari miqdoriga bog'liq bo'ladi.

Uchfazali simmetrik cho'lg'amda garmonika kelib chiqadi

$$v = 6n \pm 1, \quad (1.151)$$

$n=0,1,2,\dots$, garmonik $6n+1(7,13,19,\dots)$ chastota bilan aylanadi asosiyga ko'ra 7,13,19 dan kam bo'ladi, 1-kabi. $6n-1(5,11,17)$ garmonika 5,11,17 chastota bilan bir marta kam va asosiy garmonikning qarama-qarshi tomoniga aylanishi.

Ikki fazali simmetrik uchun $4n+1(5,9,13,\dots)$ birinchi tomonga aylanayotgan garmonik va $4n+1(3,7,11,\dots)$ – tomonga, asosiy to'lqinning qarama-qarshi tomonga aylanishi

$$v = 4n \pm 1, \quad (1.152)$$

Elektr mashinalarning tavsifiga xuddi shunday ko'plab garmonik tishli ham ta'sir ko'rsatadi. Elektr mashinalar yakor cho'lg'ami tirqishda joylashadi. Shu sababli tor tirqishdagi notekis o'tkazuvchanlik maydoni tavsifi tor tirqishda MYUK taqsimlanishi sifatida, xuddi shunday tor tirqish o'tkazuvchanligi aniqlanadi.

MYUKni sinusoidal taqsimlanishida to'yinmagan mashinada, rotor va statorda tishlarning mavjudligi oraliqda V_{rez} oraliqda natijasi yuzaga kelgan magnit induksiyasini taqsimlash V_z tishli garmonikning paydo bo'lishi hisobiga buziladi. (1.73.rasmga qarang)

Garmonik tishli silliq stator va rotorlarni ko'rib chiqilayotgan holatida qutbli bo'linish τ_z rotor va statorning tishlari soni bilan aniqlanadi yoki rotor: $\tau_z = \pi D/z$. Tishli garmonikning tebranishi tor tirqish va tirqishni ochilishi darajasiga bog'liq bo'ladi.

Rotor va statorda tirqishlarning mavjudligida oraliqda maydon ko'rinishi murakkablashadi. Uning yaqinlashishini oraliqda ikki navli tishli garmonik uchun joy bo'lishi mumkin. Tishlar mavjudligi birtasi silliq statorda va, boshqasida esasilliq rotorda va statorlar tishlarning mavjudligida. To'yingan mashinada oraliqda maydon ko'rinishi keskin murakkablashadi va tishli garmonik tebranishsini aniqlash

qiyinlashadi. Tishli garmonik tebranishsi rotor va stator tirqishlari soniga nisbatida ta'sir ko'rsatadi. Ayrim o'zaro nisbatlarda sezilarli tebranish va shovqin hosil bo'ladi. Uch fazali asinxron mashinalar ana shu o'zaro nisbatlarga tegishli bo'ladi.

$$z_1 - z_2 = 0, 1, 2, 3, 4; \quad (1.153)$$

$$z_1 - z_2 = p, \quad p \pm 1; \quad (1.154)$$

$$z_1 = z_2 = 2p, \quad 2p \pm 1, \quad 2p \pm 2, \quad 2p \pm 3, \quad 2p \pm 4; \quad (1.155)$$

$$z_1 - z_2 = 3p; \quad (1.156)$$

Bu yerda: z_1 - statordagi tirqishlar soni; z_2 -rotordagi tirqishlar soni tishli garmonik tebranishsini kamaytirish uchun bir tishli bo'linishda tirqish qiyaligi qo'llaniladi (1.74.rasmga qarang). Ana shunday qiyalikda tarmoqdagi EYUK kompensatsiyalanadi va tishli garmonikdan tok kamayadi. Tirqish qiyaligini rotorda bajargan kabi statorda ham bajarish mumkin. Agar stator yoki rotordagi tok tishli garmonikdan nolga yaqinlashsa, tishli garmonikdan moment ham shunday nolga tenglashadi.

Tishli garmonika ham asosiydagi kabi bir xil chastotaga ega bo'ladi, qutbli bo'linishi esa ularda kam bo'ladi: $\tau_z = \tau / v$, v - bu tishli garmonik raqami. Shuning uchun tishli garmonikda aylanish chastotasi asosiy garmonikda aylanish chastotasi v -marta kam.

Stator va rotordagi tirqishlar soni orasida o'zaro nisbatni yig'ib olib, cho'lg'amning qisqa qadamini tanlab, tirqishlarni ochish va uni qiyaligini fazoviy garmonik tebranishsini kamaytirish mumkin yoki teskarisi, garmonik spektrida uning hukmronlik holatini ta'minlab garmoniklardan birini tanlab olinadi. Bunday holatda asosiy 1-chi garmonika – yuqori fazoviy garmonika hisoblanadi, chunki uning tebranishsi boshqalarga nisbati bo'yicha eng katta hisoblanadi. Yuqori fazoviy garmonikada ishlovchi v - reduktorli motor deb aytiladi. Sekin yuruvchi reduktorli motorlar ko'pqutbli mashinalar yoki mexanik reduktorli motorlar o'rniga qo'llaniladi.

Elektrli mashinalar oralig'ida fazoviy garmonika kelib chiqadi shuningdek parametrlarning nochiziqligi tufayli koeffitsientlarni o'zgaruvchanligi oldida energiyani elektrmexanik o'zgartirish tenglamasi.

Induktiv qarshilik to'yinishga bog'liq bo'ladi, aktiv esa tokning qisilishi hisobiga o'zgaradi, ayrim uzatmalarda inersiya momenti ham o'zgaradi. Parametrlarning nochiziq o'zgarishida oraliqda tegishli garmonik spektrini hosil qiladi.[7]

Tor tirqishda yuqori garmonikni paydo bo'lishiga texnologik faktorlar ham sabab bo'lishi mumkin. Texnologik faktorlarga rotor va statorning eksentrisitetligi hisobiga tor tirqishning notekisligi ham, mashinaning tayyorlash texnologiyasi bilan bog'liq rotor va statorning o'qsizligi kiradi.

Elektr mashinalarda garmonikaning kombinatsiyali chastotasi ham bor. Nochiziq sistemalarda elektrli mashinalar kombinatsion chastotalarda garmonik spektri paydo bo'lishi uchun yetarli darajada ikki nochiziq sistema garmonikka ega Mashina tavsifiga kombinatsion chastotalar ta'siri etarli darajada o'rganilmagan, MYUKning garmonikasi ta'siri va nochiziq koeffitsientlari va tishlari belgilab beruvchi bo'lib hisoblanadi.

Elektr mashinalar ishiga yuqori garmonika ta'sir ko'rsatadi, bunda uning parazitli momentlar va qo'shimcha isroflar natijasida energetik ko'rsatkichlar yomonlashadi. Stator va rotorda maydonlari bir birini nisbatan qo'lg'almasligini ta'minlovchi stator va rotorda tokning oqish imkoni bo'lsa, unda garmonik bug'laridan elektrmagnitli moment kelib chiqadi. Qisqa tutashuvchi asinxron mashinalarda barcha garmoniklardan tor tirqishda mavjud bo'lgan momentlar kelib chiqishi mumkin. Mashinani ishga tushirishda odatda yuqori garmonik kuchli paydo bo'ladi. Har bir fazoviy garmonikda moment hosil bo'ladi, qachonki rotor aylanish chastotasi maydon aylanish chastotasiga teng bo'lsa va ana shu tezlikda rotor fazoviy garmoniklarning birini sinxron momentida ana shu tezlik ta'siri ostida "qadalib" qoladi.

Yuqori garmonikda mashinadagi simmetriya tufayli xuddi shunday 1-chi garmonik ham, to'g'ri va teskaridan iborat bo'lgan ko'pgina qo'shimcha yangi garmonik hosil qiladi.

Cheksiz miqdordagi garmonik o'rtasida ayrimlari elektr mashina tavsifiga ta'sir ko'rsatadi, shunday qilib ko'p miqdordagi garmonik cheksiz kichik amplitudaga ega. Energiyani o'zgartirish jarayonlari ta'sirni tadqiq qilishda shu sababli ham eng ko'p tebranishsi bo'lgan uncha ko'p bo'lmagan garmonik qarab chiqiqladi.

Nazorat savollari.

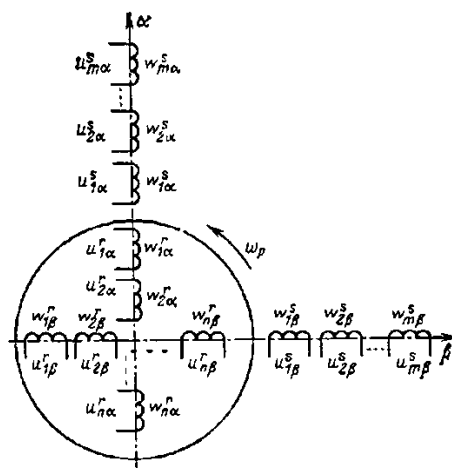
1. Elektr mashinalari havo oralig'idagi maydon tuzulishi qanday?
2. Elektr mashinalarida hosil bo'luvchi magnit maydon spektori qanday?
3. Maydon spektorini hosil qiluvchi omillar qaysilar?

1.15. Umumlashtirilgan elektromexnik o'zgartirgich.

Tor tirqishda cheksiz spektrda bo'lgan murakkab o'zaro ta'sirni ko'rib chiqish uchun matematik model zarur bo'ladi. Shunday model umumlashtirilgan EO' hisoblanadi. Umumlashtirilgan EO'- bu α va β o'q bo'yicha rotorda cho'lg'amli α va β va n o'q bo'yicha statorda cho'lg'amli ideallashtirilgan ikkiqutbli (1.88 Rasm)

Ideallashtirilgan elektr mashina- bu mashina silliq tor tirqishda sinus cho'lg'amli to'yinmagandir. U umumlashtirilgan elektr mashinadan kuchlanish turli chastota va tebranishdan olib borilgan bo'lishi mumkin bo'lgan statorda m ning va rotorda n cho'lg'amning mavjudligi bilan farq qiladi. Bu yerda ikkifazali mashina ko'rib chiqiladi, ammo ko'p fazali ko'pqutbli mashinalar ikki fazali ikkiqutbli mashinaga olib kelingan bo'lishi mumkin. Qo'zg'almas α va β koordinati modeli o'ta ko'p tarqalgan sifatida olingan.

Tor tirqishda aylana maydonda umumlashtirilgan EO' rotor va statorda ikki juft cho'lg'amga ega bo'lish etarlidir.(1.28 rasimga qarang). Tor tirqishda cheksiz miqdordagi garmonik maydonni tegishli chastotalarda sinusoidal kuchlanishni rotor va statorda har bir juft cho'lg'amga olib kelib shakllantirish mumkin. Garmonikka ega bo'lgan generatorlarni garmonik aylanish yo'nalishiga va uning fazalariga tegishli yuklash mumkin.



1.88 Rasm. Umumlashtirilgan elektromexanik o'zgartirgich.

Shunday qilib umumlashtirilgan EO' har qanday shakldagi maydonni oraliqda shakllantirish imkonini beradi. 1.88 rasmda cho'lg'amning statorda yoki rotorda uning joylashuvi, shuningdek tartib raqami α yoki β o'qiga mansubligini ko'rsatuvchi belgiga ega.

Bu yerda ω_{1a}^s

$$u_{1\alpha}^s = U_m \sin(\omega t),$$

$$W_{2\alpha}^s, \dots, W_{m\alpha}^s; W_{1\alpha}^r, W_{2\alpha}^r, \dots, W_{n\alpha}^r \text{ statot va rotor chulg'ami } \alpha;$$

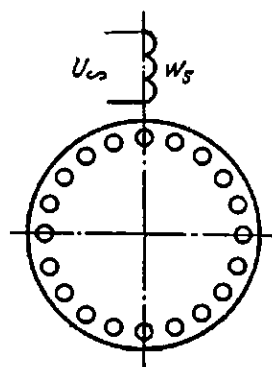
$$W_{1\beta}^s, W_{2\beta}^s, \dots, W_{m\beta}^s; W_{1\beta}^r, W_{2\beta}^r, \dots, W_{n\beta}^r \text{ statot va rotor chulg'ami } \beta;$$

$$u_{1\alpha}^s, u_{2\alpha}^s, \dots, u_{m\alpha}^s; u_{1\alpha}^r, u_{2\alpha}^r, \dots, u_{n\alpha}^r - \alpha$$

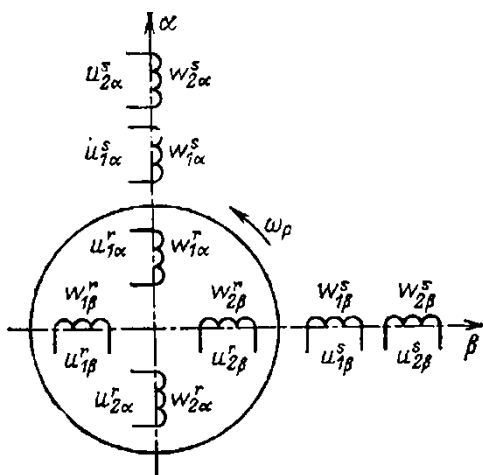
$$u_{1\beta}^s, u_{2\beta}^s, \dots, u_{m\beta}^s; u_{1\beta}^r, u_{2\beta}^r, \dots, u_{n\beta}^r - \beta$$

O'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amiga ilova qilingan kuchlanish - β o'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amiga ilova qilingan kuchlanish .

Umumlashtirilgan EO' modeli –matematik modeldir. Shuning uchun bir o'qda shu o'qning o'zida joylashgan va boshqa cho'lg'amlar bilan aloqaga ega bo'lmagan cho'lg'am bo'lishi mumkin. Tenglamani ta'riflashda bunday holatda o'zaro induktivlik nolga teng. Mashina to'yinishga yo'l qo'yilgan, bunda ustlash rejimini qo'llashga ruxsat etadi. Umumlashtirilgan energiyani elektr mexanik o'zgartirish modelida tor tirqishdagi maydonda faza bo'yicha bir biriga siljirilgan chastota va turli tebranishlarni kuchlanishi cho'lg'amiga olib kelib shakllantirish mumkin. Agar tadqiq qilinayotgan mashina o'q bo'yicha bir nechta cho'lg'amga ega bo'lsa, bu cho'lg'amlarning matematik modeli induktiv aloqaga ega bo'ladi. Umumlashtirilgan EO'dan deyarli barcha elektr mashinalarning matematik modelini olish mumkin. Masalan, bir cho'lg'amga ega bo'lgan bir fazali asinxron motor (ω_s) (1.89 rasm), oraliqda bo'lsa – rotor va statorda cho'lg'amning ikki juftidan iborat bo'lgan matematik modelni taqdim etuvchi pulslangan maydon(1.90 rasm) ω_{1a}^s va $\omega_{1\beta}^s$ cho'lg'am to'g'ri maydon hosil qiladi. Ularni modellashtirishda ularga kuchlanishga o'tkaziladi. $u_{1\beta}^s = U_m \cos(\omega t)$. $\omega_{2\alpha}^s$ va $\omega_{2\beta}^s$ Cho'lg'amlarga kuchlanish o'tkaziladi



1.89.Rasm. Qisqa tutashgan rotorli bir fazali motor.



1.90.Rasm. Bir fazali motorning matematik modeli.

$$u_{2\alpha}^s = U_m \cos(\omega t) . va u_{2\beta}^s = U_m \sin(\omega t).$$

Oraliqda ham teskari maydon yaratiladi. Agar rotor qisqa tutashgan bo'lsa nolga teng bo'ladi. $u_{1\alpha}^r, u_{1\beta}^r, u_{2\alpha}^r, u_{2\beta}^r$.

Bir fazali asinxron motorida mashina oddiy bo'lib, uning matematik modeli asinxron uch fazali motorga ko'ra murakkabdir, shunday qilib, bir fazali motorda tor tirqishda ikki maydon (to'g'ri va teskari) uch fazali motor oralig'ida esa bitta bo'ladi. To'g'ri va teskari maydonni yaratuvchi modelning cho'lg'amidagi kuchlanishni o'zgartirgan holda pulslangan maydondan elliptikga o'tish mumkin, tor tirqishda teskari maydon bo'lmagandan keyin aylana maydonga o'tiladi.

Fazalarni siljitib va stator cho'lg'amiga kuchlanish hamda tegishli tebranish va chastotalarni ma'lum bir almashinishida, tor tirqishda maydonni shakllantirish energiyani o'zgartirish jarayonlarini tadqiq qilish uchun yuqori garmonik, to'g'ri va teskari maydondan tashqari va yana yuqori garmonikda oraliq mavjudligida va juft cho'lg'am miqdorini EXMda matematik model bilan to'ldirish zarur. Elektr mashinalarni matematik modellashtirish bir biridan tor tirqishda maydon shakli, cho'lg'am miqdori va uning parametrlari bilan farqlanadi.

Tor tirqishda garmonik maydon cheksiz spektrini modellashtirishni ta'minlovchi umumlashtirilgan EO' uchun energiyani elektr mexanik o'zgartirish tenglamasi yozib qo'yilgan bo'lishi mumkin. Kuchlanish tenglamasi murakkab

matritsa shaklida yozib boriladi, ikki cho'lg'amli mashinasi uchun Krona matritsasiday bir xil (1.110):

$$\begin{pmatrix} u_\alpha^s \\ u_\alpha^r \\ u_\beta^r \\ u_\beta^s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_\alpha^s & A_\alpha^{sr} & 0 & 0 \\ A_\alpha^{rs} & A_\alpha^r & D_\beta & B_{\beta\alpha} \\ B_{\alpha\beta} & D_\alpha & A_\beta^r & A_\beta^{rs} \\ 0 & 0 & A_\beta^{rs} & A_\beta^s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_\alpha^s \\ i_\alpha^r \\ i_\beta^r \\ i_\beta^s \end{pmatrix} \quad (1.157)$$

(1.157) kuchlanish tenglamasini yana ham oddiy ko'rinishda taqdim qilish mumkin: (1.157) va $U = ZI$ (1.158) larda murakkab matritsaning har bir elementi submatritsa hisoblanadi. (1.157) da $u_\alpha^s, u_\alpha^r, u_\beta^r, u_\beta^s, i_\alpha^s, i_\alpha^r, i_\beta^r, i_\beta^s$ - ustuncha ko'rinishida-matritsa

$$u_\alpha^s = \begin{pmatrix} u_{1\alpha}^s \\ u_{2\alpha}^s \\ \vdots \\ u_{m\alpha}^s \end{pmatrix}; \quad i_\alpha^s = \begin{pmatrix} i_{1\alpha}^s \\ i_{2\alpha}^s \\ \vdots \\ i_{m\alpha}^s \end{pmatrix}. \quad (1.159)$$

Z matritsa qarshiligiga EYUK aylanishiga bog'liq bo'lgan 12 ta to'la qarshilikdagi submatritsa, o'zaro induksiya va qarshilik kiradi. Umumlashtirilgan elektromexanik o'zgartirgichning to'liq tenglamasi [7] ko'rib chiqiladi.

Statorda m cho'lg'amli mashinaning elektromagnit momenti rotordagi n cho'lg'am barcha toklar mashina cho'lg'amidan oqib o'tuvchi ko'paytmadan aniqlanadi.

Elektr mashinalar uchun statorda m cho'lg'amli harakat tenglamasi va α yoki β o'qi bo'yicha rotordagi n cho'lg'amidan quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\begin{aligned} M_c = J \frac{d\omega_p}{dt} + M_{11\alpha}^{sr} i_{1\alpha}^s i_{1\beta}^r - M_{11\beta}^{sr} i_{1\beta}^s i_{1\alpha}^r + M_{12\alpha}^{sr} i_{1\alpha}^s i_{2\beta}^r - M_{12\beta}^{sr} i_{1\beta}^s i_{2\alpha}^r + \dots \\ + M_{1n\alpha}^{sr} i_{1\alpha}^s i_{n\beta}^r - M_{1n\beta}^{sr} i_{1\beta}^s i_{n\alpha}^r + M_{21\alpha}^{sr} i_{2\alpha}^s i_{1\beta}^r - M_{21\beta}^{sr} i_{2\beta}^s i_{1\alpha}^r \\ + M_{22\alpha}^{sr} i_{2\alpha}^s i_{2\beta}^r - M_{22\beta}^{sr} i_{2\beta}^s i_{2\alpha}^r + \dots + M_{2n\alpha}^{sr} i_{2\alpha}^s i_{n\beta}^r - M_{2n\beta}^{sr} i_{2\beta}^s i_{n\alpha}^r + \dots \\ + M_{m\alpha}^{sr} i_{m\alpha}^s i_{n\beta}^r - M_{mn\beta}^{sr} i_{m\beta}^s i_{n\alpha}^r \quad (1.160) \end{aligned}$$

Bu yerda:

$M_{11\alpha}^{sr}, M_{11\beta}^{sr}, M_{12\alpha}^{sr}, M_{12\beta}^{sr}, \dots, M_{1n\alpha}^{sr}, M_{1n\beta}^{sr}, M_{21\alpha}^{sr}, M_{21\beta}^{sr}, M_{22\alpha}^{sr}, M_{22\beta}^{sr}, \dots, M_{2n\alpha}^{sr}, M_{2n\beta}^{sr}, \dots, M_{mn\alpha}^{sr}, M_{mn\beta}^{sr}$ - α va β o'qi bo'yicha rotor va stator o'rtasidagi o'zaro induktivlik; - α va β o'qi bo'yicha rotor va stator cho'lg'amida tegishli toklar. $i_{1\alpha}^s, i_{1\beta}^s, \dots, i_{m\beta}^s, i_{n\alpha}^r, \dots$

Elektromagnitli momentlar uchun simmetrik mashinalarni ifodalash α va β o'qi bo'yicha barcha cho'lg'amlar uchun bir xil va M ga teng, (1.160)dan quyidagi ko'rinish hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned} M_E = M[(i_{1\alpha}^s + i_{2\alpha}^s + i_{3\alpha}^s + \dots + i_{m\alpha}^s)x(i_{1\beta}^r + i_{2\beta}^r + i_{3\beta}^r + \dots + i_{n\beta}^r) \\ - (i_{1\beta}^s + i_{2\beta}^s + i_{3\beta}^s + \dots + i_{m\beta}^s)x(i_{1\alpha}^r + i_{2\alpha}^r + i_{3\alpha}^r + \dots \\ + i_{n\alpha}^r)] \quad (1.161) \end{aligned}$$

1.16.Foydali ish koeffitsienti va isroflar.

Elektr mashinalarda energiyani elektrdan mexanikka o'zgartirish va teskarisiga o'zgartirish elektr va mexanik energiyani issiqqa o'zgartirilishi kuzatiladi. Transformator va elektr mashinalarda energiyani issiqqa o'zgarishi isroflar, deb qabul qilinadi.

Elektr mashinalardagi isroflarni asosiy va qo'shimchaga bo'lishadi. Asosiy isroflarga elektrli, magnitli va mexanikli kiradi.

Elektrli isroflar yoki yana uni misdagi isroflar ham deb aytishadi, o'z ichiga cho'lg'amdagi va cho'tka kontaktlaridagi isroflarni oladi (agar mashinada sirpanuvchi kontaktlar bo'lsa):

$$P_E = mI^2r_0, \quad (1.164)$$

Bu yerda: I – fazadagi tok; r_0 - haroratni o'lchashda cho'lg'am fazasidagi aktiv qarshilik.

O'zgarmas tokdagi mashina cho'lg'amlarida elektr toki ham shunday hisoblanadi. Bundan faza miqdori 1 ga teng qilib olinadi.

Sirpanuvchi kontaktda elektr isroflar cho'tka sorti va kontakt yuzasiga bog'liq bo'ladi, isroflar quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

Bu yerda ΔU_{sh} - sirpanuvchi kontaktda kuchlanishning tushishini bildi-radi. Burchakli va grafitli cho'tkalar uchun $\Delta U_{sh}=1V$; metallgrafitli va metallburchakli cho'tkalar uchun $\Delta U_{sh}=0,3V$; [8]

$$P_{E,sh} = m\Delta U_{sh}I, \quad (1.165)$$

Magnit isroflar yoki po'latdagi isroflar tishdagi, magnit o'tkazgich va mashina qutblaridagi isroflarni o'z ichiga oladi, magnit sistemasining qolgan uchastkalarida mashinaning o'zgaruvchan oqimlarida tutashuvni o'z ichiga oladi. Magnit isroflar gisterezisdagi isroflar va uyurmalagan toklarni yo'qotishdan hosil bo'ladi.

Magnit isroflari po'latni markasi, magnit o'tkazgichni listlarini qalinligi, induksiya va qayta magnitlanish chastotasiga bog'liq bo'ladi. Texnologik faktorlar magnit isroflarga sezilarli ta'sir ko'rsatadi (listlarni shtamplash, paketlarni presslash, magnit o'tkazgichga mexanik ishlov berish).

Magnit isroflarni aniqlashda taqribiy formula qo'llaniladi.

$$P_M \approx k_{obr}r_{ud} \left(\frac{f}{50} \right)^\beta B_i^2 G_s, \quad (1.166)$$

k_{obr} - po'latga ishlov berishga bog'liq bo'lgan ishlov berish koeffitsienti, (asinxron motorlar uchun, masalan 1,4-1,8); r_{ud} - magnit induksiyasi 1 Tl, Vt/kg va qayta magnitlanish chastotasi 50 Gs bo'lganda po'latdagi solishtirma isroflar; f - qayta magnitlanish chastotasi, Gs; β - po'lat markasiga bog'liq bo'lgan daraja ko'rsatkichi; V_i - magnit o'tkazgichning tegishli qismi induksiyasi, Tl; G_i - magnit oqimi V_i induksiyasining magnit o'tkazgichini massa qismi.

1.4.Tablitsada qalinligi 0,5 mm bo'lgan turli markadagi po'lat uchun β koeffitsienti va 50 Gs qayta magnitlanish chastotasi va 1Tl induksiyada solishtirma isrof miqdori keltirilgan.

Jadval 1.4

Po'lat markasi	$r_{ud} \frac{vt}{kg}$	β
2013, 2011, 2211	2,5-2,6	1,5
2312	1,75	1,4
2411	1,6	1,3

Aylanayotgan mashina va transformatorlarda po'latning qayta magnitlanish jarayoni turlicha. Transformatorlarda qachon magnit o'tkazgich qo'zg'almas o'tkinchi kuchlanish bilan qayta magnitlansa pulslangan qayta magnitlanish alohida o'rin tutadi. Qutblarga nisbatan o'zgarmas tokda mashina yakori aylanayotganida va aylanuvchan magnit maydonida magnit o'tkazgich uchastkalarini qayta magnitlanishda aylanma qayta magnitlanish alohida o'rin tutadi.

Gisterezisda uncha katta bo'lmagan isroflarda aylanayotgan qayta magnitlanishda gisterezisda kam isroflar bo'ladi, pulsatsion qayta magnitlanishda (ular 2 baravar farqlanishi mumkin). Biroq, 1,5-1,7 Tl induksiyalarda po'latda har ikki ko'rinishdagi qayta magnitlanish taxminan bir xilga keladi.

Aylanma qayta magnitlanishda magnit sistemasining alohida uchastkalarini ko'rib chiqib, shuni qayd qilish lozimki, shunday uchastkalar mavjudki, u yerda radial va tangensilni tashkil qiluvchi induksiya mavjud va qayta magnitlanish xuddi elliptik qayta magnitlanishdek ekanligi yana tasavvur qilish mumkin.[8]. Elliptik qayta magnitlanishni aralash ham deb aytishadi, chunki uni aylanma va pulsatsion qayta magnitlanishni ustlash sifatida tasavvur qilish mumkin.

Epshteyn apparatida pulsatsion qayta magnitlanishda induksiyasi 1Tl va chastotasi 50 Gs varaqsimon po'lat massasi 1 kg bo'lgan elektrli mashinalarni loyihalashtirishda solishtirma isroflar tablitsasidan foydalaniladi. Solishtirma isroflar turli markadagi po'lat uchun keltirilgan.[8.36].

Po'latdagi miqdoriy empirik koeffitsientlarda isroflarni aniqlash uchun formulaning mavjudligi sababli, po'latga ishlov berish, magnit o'tkazgichning alohida uchastkalarida qayt magnitlanish xarakteridan qat'iy nazar solishtirma isrofni aniqlash faqatgina muhit hollardagina ma'no kasb etadi.

Mexanik isroflar o'z ichiga havo haqida mashina qismlarini aylanma ishqalanishdagi isroflarni, sirpanuvchi kontaktlarda podshipnikdagi ishqalanishlardagi isroflar, shuningdek ventillyatordagi isroflar, sovutuvchi havo oqimini yaratish yoki boshqa sovutuvchi agent uchun sarflanadigan isroflar o'z ichiga oladi.

Elektr mashinalarni loyihalashtirishda har bir tashkil etuvchi mexanik isroflar alohida hisoblanadi. Mexanik isroflar aylanuvchi chastotasi kvadratiga proporsional deb, taxminan hisoblash mumkin.

Ishqalanishdagi isroflar mashinada rotor aylanayotganida atrofga yopishqoqligi va qalinligiga bog'liq bo'ladi.

Mashinani vodorod bilan to'ldirganda mexanik isrof taxminan havodadagi isroflarga taqqoslaganda 10 baravar kamayadi. Mexanik isroflar agar rotor suyuqlikda aylansa oshadi.

Radial sistemadagi asinxron motorlarda ventilyasion isroflar va podshipnik ishqalanishidagi isroflar formula bo'yicha hisoblanadi.

$$P_{mex} \approx k_{tr} \left(\frac{n}{1000} \right)^2 (10D_a)^3, \quad (1.167)$$

Bu yerda: $k_{tr} = 5$ bo'lganda $2p=2$; $k_{tr} = 6$ bo'lganda $2p>4$; D_a – rotor diametri, m. Rotor halqalaridagi shotka ishqalanishidagi isrof

$$P_{rsh} = k_{rsh} \rho_{sh} S_{sh} v_{sh} \quad (1.168)$$

k_{rsh} kontakt halqada cho'tkani ishqalanish koeffitsienti (odatda 0.1-0,2 ga teng qilib olinadi) ρ_{sh} -cho'tkaning kontaktli yuza bo'ylab bosim; S_{sh} – cho'tkaning kontaktli yuza bo'ylab maydoni, m^2 ; v_{sh} - kontaktli xalqa yuza bo'ylab chiziqli tezlik, m/s.

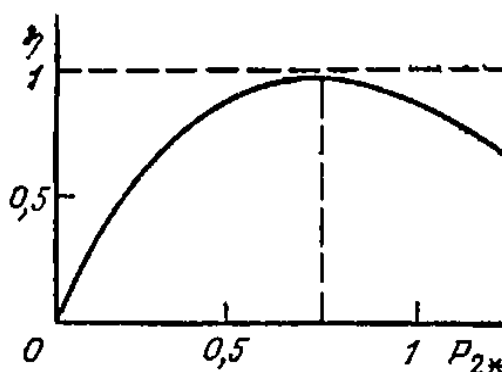
Mashinani sovutishdagi isroflar (ventilyasion isroflar) mashinani issiqlik tashuvchi sirkulyasiyaga sarflanadigan quvvat bilan belgilanadi. U mashinaga issiqlik olib ketuvchi havo miqdoridan, vodorod va suyuqlikdan va nasos yoki ventilyator FIKdan bog'liq bo'ladi.

Qo'shimcha isroflarni yuklamada salt yurish qo'shimcha isroflariga bo'lishadi. Salt yurishda qo'shimcha isroflarga yuza bo'ylab va pulsatsiyali isroflar taalluqli bo'ladi.

Yuza bo'ylab isroflar tor tirqishda maydon pulsatsiyasi tufayli qutblar va tishlar qatlamida yuza bo'ylab vujudga keladi. Induksiyaning pulsatsiya chastotasi $f_z = nz/60$ bu yerda z -statoridagi tishlar miqdori, agar statorida yuza bo'ylab isroflar aniqlansa, rotordagi tirqishlar miqdori yoki rotorda yuza bo'ylab isroflar aniqlansa aylanma chastota va tishlar miqdori bilan aniqlanadi.

Pulsatsiyali isroflar – rotor yoki stator tishlarida oqim pulsatsiyasi hisobiga paydo bo'ladi. Pulsatsion isroflar pulsatsiya chastotasi va tishlar induksiya bog'liq bo'ladi.

Stator tishlaridagi pulsatsiya chastotasi rotor tishlari miqdori bilan aniqlanadi, rotor tishlaridagi esa stator tishlari miqdori bilan aniqlanadi. Yuklamada qo'shimcha isroflar cho'lg'amda kelib chiqadi va oqim tarqalishi tufayli magnit o'tkazgich va yuklamada havo oqimida maydonning buzilishi paydo bo'ladi.



1.91.Rasm. Yuklamadan foydali ish koeffitsientining (FIK) bog'liqligi.

Yirik elektr mashinalar uchun qo'shimcha isroflarni hisoblash ko'paytmada bajariladi. Umumsanoat rusumsidagi mashinalar uchun qo'shimcha isroflar GOST 11828-75 ga muvofiq nominal quvvatda 0,5-1% ga teng qilib qabul qilinadi.[8]

Elektr mashinalarning foydali ish koeffitsienti:

Generatorlarda

$$\eta = 100[1 - \sum P_{\Sigma}/(P_2 + \sum P)]; \quad (1.169)$$

motorlarda

$$\eta = 100(1 - \sum P / \sum P_1) \quad (1.170)$$

P_1 - motorga keltirilgan quvvat; P_2 - generatordan olib ketadigan foydali quvvat; $\sum R$ - mashinadagi isroflar yig'indisi. 1.91 Rasmda birlik nisbatida ifodalangan foydali ish koeffitsientining (FIK) R_2 foydali maydondan bog'liqligi ko'rsatilgan tarmoqda kuchlanishni $-U_c = const$ $\eta = f(P_2)$ og'liqlik shunday tushuntiriladiki, yuklama oshishi bilan foydali quvvat tokka proporsional oshadi, elektr isroflar esa tokka kvadratiga proporsional o'sadi.

Foydali ish koeffitsienti maksimumga ega qachonki doimiy isroflarda o'zgaruvchan isroflarga teng bo'ladi. Doimiy isroflarga yuklamaga bog'liq bo'lmagan isroflar tegishli bo'ladi. Bu isroflar magnitli va mexanik (mashinalar uchun ularning ayrimlarida aylanuvchi chastota yuklamagan bog'liq bo'lmaydi yoki unga kam bog'liq bo'ladi). O'zgaruvchan isroflar – bu elektr isroflar, ular yuklamadan tok kvadratiga proporsionaldir.

Elektr mashinalarni hisoblashda maksimum foydali ish koeffitsientida 0,6-0,8 nominal nagruzkani olishga harakat qilishadi, shunday qilib elektr mashinalar 15-20% chala yuklanganlikda uzoq vaqt ishlaydi.

Maksimal darajada foydali ish koeffitsientini yoki nominal Yukni harakatlantirish uchun chulg'amni kattalashtirish kerak va mashinada elektr yoqotishni kamaytirish kerak.

Elektr mashinalarida boshqa turdagi mashinalarga nisbatan foydali ish koeffitsienti yuqori.

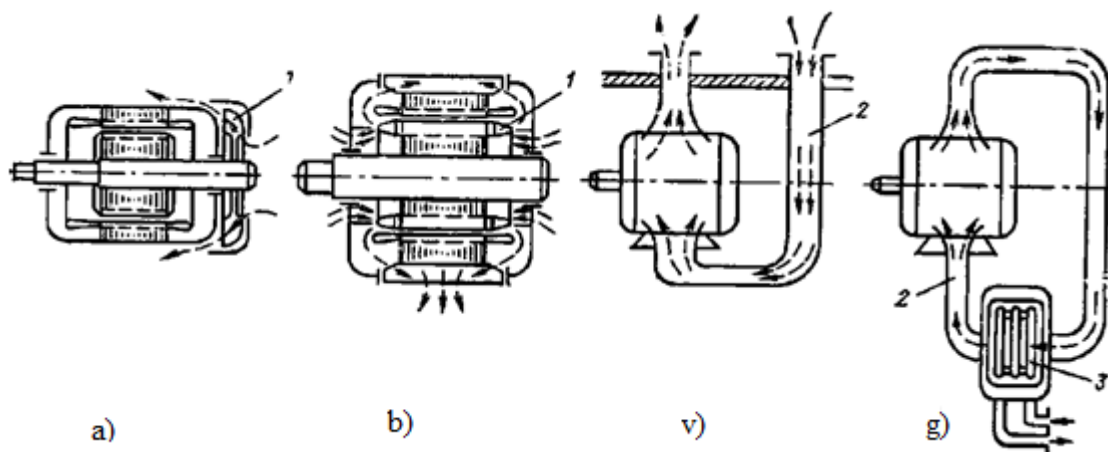
Foydali ish koeffitsienti mashina quvvatiga bog'liq. Turbogeneratorda 800 MBt $\eta = 98.8 \%$. Faqat kichik mashinalarda foydali ish koeffitsienti 10-20 % bo'lishi mumkin. Transformatorlarda $\eta = 99.7 \%$.

Nazorat savollari.

1. Elektr mashinalarda FIKni uning tarkibiy tuzilishiga bog'liqligini tushuntiring?
2. Elektr mashinalarda FIKni qiymatini tahlili qanday?
3. Elektr mashinalarda isrof qaysi parametrlarga bog'liq?

1.17. Elektr mashinalarining qizishi va sovutilishi.

Elektr mashinalariga elektromexanik yo'l bilan energiya hosil qilish paytida mashinaning faol qismlari issiqlik ajratib chiqaradi. Agar bu issiqlik tezda bartaraf qilinmasa xarorat tezda ko'tarilib ketadi va himoya qobig'iga zarar etishiga va xizmat muddati qisqarishiga sabab bo'ladi. Mashinadan issiqlikni uzoqlashtirish va sovutish tizimidan foydalaniladi. Elektr mashinalarining sovutish tizimlari turlicha. Ham tabiiy ham sun'iy sovutish mashinalari mavjud.



1.92 a) -rasmda yopiq, o'zini puflab sovituvchi mashina sxemasi ko'rsatilgan. Ventilator 1 mashina valiga mahkamlangan.

1.92 b)- rasmda o'zini sovituvchi mashinaning sxemasi ko'rsatilgan. Rotorning qisqa tutashuvchi halqalariga sovitgichning parraklari tutashgan.

1.92 v) va g)-rasmda mustaqil ventilyatsion sovitish sxemasi ko'rsatilgan.

Sovutish uchun qanday mahsulot ishlatilishidan kelib chiqib, havo bilan, vodorod bilan, moy va suv bilan sovutiladigan mashinalarga ajratiladi.

Sovutish usulidan kelib chiqib mashinalar yonlama sovutiladiganiga: bunda gaz va suyuqlik o'tkazuvchiga yaqinlashmaydi va ichki sovutiladiganiga ajratiladi.

Bunda suyuqlik yoki gaz o'tkazuvchining ichidan o'tadi. Maxsus mashinalarda bug'latish tizimi bilan sovutish yo'lga qo'yilgan. Bunda suyuqlik mashinaning issiqlik ajratuvchi yuqori qismida bug'lanib ketadi. Mashinaning o'lchami va og'irligi sovutish tizimining to'g'ri tanlanganligiga bog'liq. So'ngi 40 yil ichida havo bilan sovutishdan ichki suv bilan sovutishga o'tilishi turbogeneratorlarning quvvatini 10 barobarga oshirdi. Quvvatga qarab og'irlikning pasayishi elektr mashinalarining boshqa turlarida ham o'z o'rniga ega bo'ladi.

Ventilyator yordamida havo devori hosil qilinadi va motor harakatlantiriladi. Ventilator mashina ichida va tashqarisida havo harakatlanishini hosil qiladi. Yopiq mustaqil ventilyatsiya tizimi mavjud bo'lgan 192-rasm. Elektr mashinalarining sovutish tizimi. mashina 1.92 g suratda ko'rsatilgan. Bu yerda havo yoki vodorod gaz sovitgich bilan sovutiladi.

Odatda gaz sovitgichga vodorod suvi yuboriladi va suv gaz sovitgich trubalari bo'ylab aylanadi. Shunday qilib havo yoki vodorod sovutiladi. 1.92 suratda sovitishning faqat asosiy qismlari ko'rsatilgan.

Mashinalarning har bir qismlaridan ajralib chiqadigan issiqlikning tashqariga berilishi issiqlik almashinuv qonuniga bo'ysunadi – issiqlikning erkin tarqalish ta'limoti. Issiqlikning tarqalishi deganda ichki energiya bilan alohida elementlar bilan almashinuvi tushuniladi. Issiqlik o'tkazilishi 3 asosiy usul bilan amalga oshiriladi, bular: issiqlik o'tkazuvchanlik konveksiya va nurlanish. Issiqlik o'tkazuvchanlik deganda issiqlikning to'g'ridan to'g'ri har xil xaroratdagi jismlarning birlashtirilishiga aytiladi.

Konveksiya hodisasi harakatlanuvchi suyuqlik va gazda kuzatiladi. Katta hajmdagi almashinuv hisobidan issiqlik yuboriladi.

Issiqlikning nurlanishi deganda issiqlikning elektromagnit ko'rinishida 2 holatga: issiqlik energiyasidan nurlanish energiyasiga va teskari holatga qaytishi tushuniladi. Haqiqiy holatda elementar ko'rinishdagi issiqlik almashinuvi ham uchraydi. Bir ko'rinishdagi issiqlik almashinuvi boshqasini boshlab keladi. Shunday qilib issiqlik konveksiyasi issiqlik o'tkazuvchanlikni boshlab keladi. Bularning birgalikda kelish holati konvektiv issiqlik almashinuv deyiladi. Qattiq jism yuzasi bilan sovitish oqimi orasidagi issiqlik almashinuvi ko'p uchraydigan holat. Bunday issiqlik almashinuvi issiqlik berish deb ataladi. Issiqlik o'tkazuvchanlik Fure qonuni asosida yotadi. Bu qonunga ko'ra uzatilgan issiqlik miqdori xaroratning tushishi, vaqti va kesishuv maydoni bilan proporsional, issiqlik tarqatilishining yo'nalishi bilan perpendikulyar.

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad} t, \quad (1.171)$$

Bu yerda: $\vec{q}$ – vektor issiqlik oqimimning qalinligi, $B \cdot \frac{t}{m^2}$ grad– t xarorat gradienti, λ – issiqlik o'tkazish koeffitsienti.

Minus belgisi issiqlikning doimo pasayish tomonga tarqalishini belgilaydi.

F -moyaynida yuza orqali uzatilgan

Q – to'la issiqlik miqdori.

$$Q = - \int_0^\tau \int_F \lambda \text{grad} t dF d\tau. \quad (1.172)$$

Issiqlik o'tkazish koeffitsienti λ , $Bt / (m * S)$, moddaning fizik o'lchami bo'lib uning issiqlik o'tkazuvchanligini belgilaydi. Turli moddalar turlicha issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientiga ega. Masalan, metallar issiqlikni yaxshi o'tkazadi va ularning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti issiqlik o'tkazuvchi elektr izolyatorlaridan yuqori.

1.5-jadval

Material	Issiqlik o'tkazish koeffitsienti λ Wt/(m * 0 S)
Kumush	420
Mis	380
Alyumin	220
Elektrotexnik po'lat (qatlam bo'yiga)	48-20 3,1-1,2
Elektrotexnik po'lat(qatlam eniga)	1,1
Shisha	0,2
Mikanit	0,15

Lakotyan	0,1
Tirqish izolyatsiyasi	0,633
40°C li suv	0,19
40°C li vodorod	0,164
40°C li transformator moyi	

1.5- jadvalda elektr mashinasozlikda ishlatiladigan materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti ko'rsatilgan.

Jism yuzasi va muhit orasidagi issiqlik almashinuv jarayoni murakkab fizik jarayon bo'lib, katta miqdordagi faktorlarga bog'liq, uni ifodalash uchun Nyuton Rixmanning empirik qonuniga asoslaniladi, issiqlik oqimining zichligi jism yuzasiga proporsional farqi harorat yuqoriligi va gladagent.

$$q = \alpha(t_c - t_m) \quad (1.173)$$

Bu yerda: t_c jism yuzasining xaroratsi, t_m gaz yoki suyuqlik xaroratsi, α – proporsionallik koeffitsienti.

Issiqlik berish jarayoni asosan shartli harakat muhitida aniqlanadi .

Oqim 2 xilda bo'ladi: laminar va turbulent.

Laminar harakatda oqim bir tekisda bo'ladi , turbulent holatida esa harakat tartibsiz bo'ladi.Oqim o'zgarishi har bir holat uchun aniq kritik tezlikda amalga oshadi. Oqim tartibi faqat tezlik bilan emas , balki cheksiz Reynolds soni bilan aniqlanadi.

$$Re = vl/v. \quad (1.174)$$

Bu yerda: v – xladagent harakatining tezligi,

Bu yerda: v –xladagent qovushqoqligining kinematik koeffitsienti ,
 l -xlagagent harakatlanadigan tananing razmeri.

Tabiatan xlagagent harakatlanishi 2 turga bo'linadi: erkin va majburiy.

Erkin harakat deb gravitatsion maydonda suyuqlik yoki gazning qizdirilgan va sovuq holatda harakatlanishiga aytiladi. Erkin harakatlanish tabiiy konveksiya ham deyiladi.

Majburiy harakat deb tashqi manbalar yordamida kelib chiqadigan harakatga aytiladi. Majburiy harakat bilan bir qatorda erkin harakat ham bo'lishi mumkin . Uning roli majburiy harakat tezligi pasaysa va xarorat o'zgarsa oshadi.

Issiqlik o'tkazgichning differensial tengligini quyidagi formula orqali ko'rish mumkin.

$$\partial t / \partial \tau = a \nabla^2 t + q_v / cr \quad (1.175)$$

Jismning fizik parametri diffuziya koeffitsienti deb ham aytiladi.

Bu koffitsient jismda issiqlik o'zgarish xarakterini ko'rsatadi. Agar jism ichki issiqlik manbaiga ega bo'lmasa (1.175) Fure tenglamasi ko'rinishida bo'ladi.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t. \quad (1.176)$$

Agar jismning ichki issiqlik manbai mavjud bo'lsa (1.176) bu holda Puasson tenglamasiga aylanadi.

$$\nabla^2 t + q_v / \lambda = 0. \quad (1.177)$$

Oqibatda ichki issiqlik o'tkazish manbalarining mavjud bo'lmasligi (1.177)

Laplas tenglamasi ko'rinishida bo'ladi.

$$\nabla^2 t = 0. \quad (1.178)$$

Tenglamalarning echimini topish uchun (1.175)-(1.178) uning bir ma'noli shartini keltirib chiqarish kerak. Bu shartlar o'zaro o'z ichiga geometric shartlarni oladi. Bunda jismning formasi va hajmini, fizik holatini, ichki issiqlik manbalarini ko'rsatuvchi shartlarni o'z ichiga oladi. Issiqlikning tarqalish qonunini o'z ichiga oluvchi boshlang'ich shartlar va oqibatda hududiy shartlar hosil bo'ladi. Oxirgi shart bir qancha usullar bilan berilishi mumkin. Eng ko'p ishlatiladigan usul – bu issiqlikning har bir vaqt uchun jism yuzasi bo'ylab tarqalishi hisoblanadi.

Xladagent harorati t_m da, issiqlik almashinuv qonuni esa jism yuzasi va oralig'i bilan birgalikda beriladi.(3- turdagi chegaralangan shartda). Chegaralangan shartlarning uchinchi turdagi yozuv formasi 1.175 va 1.178 – dan olingan bo'lishi mumkin.

$$(grad)_c = \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_c = -\frac{\alpha}{\lambda}(t_c - t_m), \quad (1.179)$$

Bu yerda $\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_c$ – jism yuzasidagi gradient xaroratsi.

Jismning ichki energiyasi o'zgarmaydi va xarorat jismning har qanday nuqtasida vaqt bo'yicha o'zgarmaydi.

Statsionar tartibda jismni sovituvchi muhit bilan issiqlik teng joylashgan. Statsionar rejimda ichki issiqlik manbalari bo'lmasa, tekis yuzada tenglamaning echimi (1.179) jismning qalinligi bo'ylab to'g'ri taqsimlangan. Issiqlik miqdori berilgan jism orqali vaqt birligiga bog'liq.

1- tur chegaralanish sharti uchun

$$Q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{c1} - t_{c2})F; \quad (1.180)$$

3-turning chegaralanish sharti uchun, jism yuzasida issiqlik uzatish koeffitsienti α va xarorat muhiti t_m beriladi.

$$Q = k(t_{c1} - t_m)F, \quad (1.181)$$

Bu yerda: k – issiqlik yetkazib berish koeffitsienti, u energiyani issiqlik o'tkazuvchi jism va konveksiya orasidagi jism orqali birgalikda uzatish bilan xarakterlanadi.

$$k = \frac{1}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (1.182)$$

(1.180) va (1.181) – tenglamalar om qonunining elektr zanjirlar uchun tenglamasiga ko'ra bir xil. Ularni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$Q = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{R_2} \quad (1.183)$$

$$Q = \frac{t_{c1} - t_m}{R} \quad (1.184)$$

Bu yerda: $R\lambda = \delta/\lambda$ –issiqlik o'tkazuvchi jismning termik qarshiligi, $R\lambda = \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} = R\lambda + R\alpha$ –esa, jism orqali issiqlik etkazib berishning termik qarshiligi, u issiqlik o'tkazuvchi R_p ning termik qarshiligi va issiqlik yetkazuvchi $R\alpha = 1/\alpha$ ning termik qarshiligidan iborat.

Haroratning taqsimlanishi silindr formasidagi jismda logarifmik qiyaletni ko'rsatadi (1.92-rasm) va silindr devori orqali uning uzunlik birligiga uzatilgan issiqlik miqdori $F = 2\pi r l$ hisobida topilgan bo'lishi mumkin (l – jism uzunligi)

$$Q_l = \frac{\pi}{\frac{1}{2\gamma} \ln \frac{d_2}{d_1}} (t_{c1} - t_{c2}), \quad (1.185)$$

ko'rinishida yoki uchinchi turning chegaralangan sharti uchun

$$Q_l = k_l \pi (t_{c1} - t_m), \quad (1.186)$$

Bu yerda:

$$k_l = \frac{1}{\left(\frac{1}{2\lambda}\right) \ln \left(\frac{d_2}{d_1}\right) + 1 \alpha d_2} \quad (1.187)$$

-issiqlik etkazib berish koeffitsientining tekislik bir xilligi.

Yuqorida ko'rsatilganlar - issiqlik etkazib berishning termik qarshilik tekisligi

$$R_l = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha d_2} = R_{l2} + R_{\alpha} \quad (1.188)$$

To'liq termik qarshiliklar o'zida issiqlik o'tkazuvchi termik qarshilikning silindr R_{l2} devoridan va issiqlik berishning termik qarshiligi silindr $R_{l\alpha}$ devoridan o'tishini namoyon etadi.

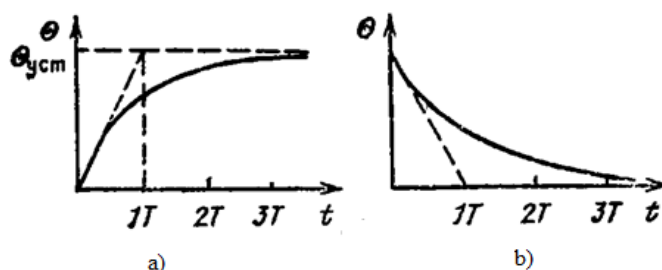
Amalda ko'pincha devor qalinligi diametrik kichik bo'lgan silindrlar ham o'rab turadi. Bunday holatda tekis yuza uchun termik qarshiliklarni inobatga olish kerak. $d_2/d_1 < 2$ kichik bo'lganda isitish 4 % dan oshmaydi. Qalin issiqlik oqimi bilan ichki issiqlik manbalari mavjud bo'lganda qalin jism yuzasi bo'ylab issiqlik notekis tarqaladi.

Hisoblarda jism o'rniga ko'p hollarda ekvivalent jismlarni ko'rish qulayroq. Xaroratning o'zgarishi tekislik qonuniga asosan amalga oshadi. Bunda real va ekvivalent jismlarda issiqlik oqimi tezligi ko'zda tutilgan.

δ qalinlikka ega bo'lgan tekis jism uchun yuqori xaroratda , ekvivalent jism qalinligi $\delta_{ekv} = \delta/2$ ga teng bo'lsa, O'rta xaroratda $\delta_{ekv} = \delta/3$ ga teng bo'ladi.

O'rnatilmagan rejimda jism va muhit o'rtasida issiqlik tengligi mavjud emas. Jism nuqtalarida va uning ichki energiya xaroratsivaqt bo'ylab o'garuvchan bo'ladi.

Bunday jismlar nostatsionar deb ataladi. Issiqlik holatining nostatsionarliligi doimo jismning isish yoki sovish holati bilan bog'liq

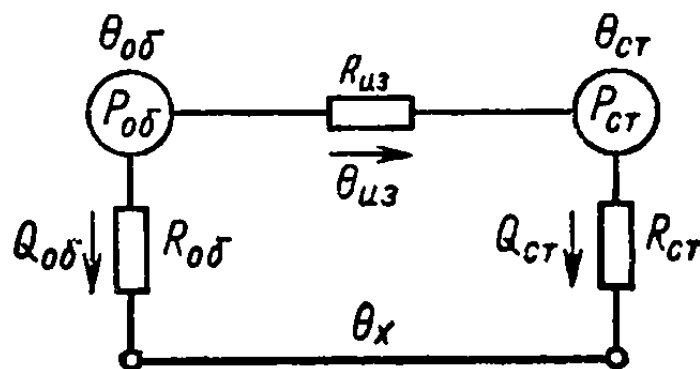


1.94 a-rasmga qarang.

Qisqa vaqtli va takroran qisqa vaqtli ishlaydigan elektr mashinalarida xaroratning o'zgarishi hisobga olinadi. Uzoq muddatga moslangan mashinalarda esa o'rnatilgan xarorat hisobga olinadi.

O'rnatilgan xarorat ko'pincha mashinalarning issiqlik zanjiri sxemasi bo'yicha hisobga olinadi. Elektr mashinalarning issiqlik sxemasi elektr mashinalariga moslab

tuziladi. Issiqlik sxemasi xaroratsi elektr sxemalarida kuchlanish vazifasini bajaradi, termik qarshiliklar esa faol qarshiliklar rolini bajaradi.



1.95- rasmga qarang.

Sxema asosida cho'lg'am va statorning po'lat serdechnigi yotibdi. Ulardagi issiqlik manbalarining quvvati cho'lg'amdagi elektr yo'qotilishiga teng. Ko'rinadiki, mashinaning ko'plab qismlari jismning issiqlik nisbatida bir xil ajratilgan bo'lishi mumkin va issiqlik sxemasining ekvivalent elementlari o'rnini bosuvchisi bilan almashtiriladi, bundan hisob rezultati ma'lum bo'ladi.

1.6- jadval

Sovitish agenti	$Dj/(M^2 \cdot ^\circ C)$	$\gamma \cdot kg/m^3$
Havo ($0^\circ C, 10^3 Pa$)	$1,1 \cdot 10^3$	1,3
Vodorod ($0^\circ C, 10^3 Pa$)	$1,1 \cdot 10^3$	0,09
$15^\circ C$ li transformator moyi	$1,5 \cdot 10^6$	850
$15^\circ C$ li suv	$4,1 \cdot 10^6$	999

Mashinadan issiqlik ajratish uchun sovitish oralig'i Q ning sarfi hisoblanadi. Gidravlik hisobda bosim aniqlanadi va qayerdan sovitish oralig'i o'tsa o'sha ajratilgan kanallarning sovutish oralig'i tezligi aniqlanadi. Keyinchalik nasos yoki ventilyatorlarning bosim elementlari hisoblanadi: kerakli sarf bilan ta'minlanishiga ko'ra, sovitish muhiti tezligiga ko'ra hamda mustahkamligi, sovitish muhiti sirkulyatsiyasi bilan ta'minlangan ventilyator yoki boshqa bosimli qurilma ishining zarurligi uchun. Ventilyatsiya sistemasi ko'pincha sovituvchi tizimning solishtirma issiqlik sig'imi c_v va zichlik γ ni aniqlaydi. 1.6 jadvalda elektromashina qurilishida sovituvchi agent sifatida ishlatiladigan uskunalarining c_v va γ ma'nosi keltirilgan.

Nazorat savollari.

1. Elektr mashinalari qizishini vujudga keltiruvchi asosiy elementlarni sanang?
2. Elektr mashinalarni sovutish uchun qanday konstruksiyalardan foydalaniladi?
3. Elektr mashinalarni qizib avariya holatidan saqlovchi himoya vositalarini qaysilar?

1.18.Elektr mashina yasashda ishlatiladigan materiallar.

Elektr mashinalarida magnit maydonining energiyasi bir joyga to'plangan, asosan havo tuynugida. Havo tuynugida energiyani to'plash uchun magnit o'tkazgich va elektromagnit, issiqlik va mexanik maydon taqsimlanishini ta'minlaydi.

Elektr mashinada ishlatilgan materiallar aktiv va konstruktivga ajratiladi. Aktivda cho'lg'am materiallari va magnit o'tkazgich, konstruktivga esa cho'lg'amlar va materiallar, ulardan stanok, qalqon, val va elektr mashinaning boshqa qismlari yasaladi. Bu bo'linish shartli, xullas , ko'plab mashinalarda aktiv va konstruktiv funksiyalar birlashtirilgan. Masalan magnit oqimi stanokka tutashgan mashina doim tok bilan ishlaydi. Elektr mashinaning magnit o'tkazgichlarini tayyorlash uchun tekislangan elektro texnik po'lat, chugun, magnitodielektrik va po'lat buyumlar ishlatiladi.

Yupqa elektro texnik po'lat GOST 21427.0-75-38 markada taqsimlanadi va rulon, list va kesilgan lenta ko'rinishida tayyorlanadi. Po'lat markazida 4 raqam bo'lib : birinchisiga qayta ishlanganlik ,yani tuzilish holati sinfi; ikkinchisi kremniy tarkibi, uchinchisiga asosiy normalarda takrorlanishi kiradi. Tortinchida esa po'lat turining tartib raqami beriladi. Po'lat tuzilish holati va qayta ishlanganlik ko'rinishiga ko'ra 3 sinfga bo'linadi:

- Issiq sirg'aluvchi izotrop,
- Sovuq sirg'aluvchi izotrop,
- Sovuq sirg'aluvchi anizotrop

Kremniy tarkibiga ko'ra po'lat 6 guruhga bo'linadi 1-kremniy tarkibining 0 dan 0.4 % gacha qo'shiluvchanligi

1-Kremniy tarkibi bilan 0.4 % dan 0.8% gacha,

2- Kremniy tarkibi bilan 0.8 dan 1.8% gacha qo'shiluvchanligi

3- 1.8 dan ortiq 2.8 % gacha

4- 2.8dan ortiq 3.8 % gacha

5- 0.8 dan ortiq 4.8 % gacha qo'shiluvchan

Po'latning xususiyatlari uning tarkibida kremniy borligiga va tayyorlanish sharoitiga bog'liq. Tarkibida oz miqdorda kremniy bo'lganpo'lat magnitga yaxshi tortilmaydi.

Tarkibida ko'p miqdorda kremniy mavjud bo'lgan po'lat magnitga yaxshi tortiladi va tokni kam yo'qotadi.Kremniy birikmasi po'latning mustahkamligini pasaytiradi va qarshiligini oshiradi.

Po'lat uchun tarkibida 0.8-1.8% kremniy zichligi 7.8 tm , solishtirma qarshilik $0.25 \cdot 10^{-6} \text{Om.m}$

Elektrotexnika sanoatida issiq sirg'alishga qaraganda anizotropli sovuq sirg'alishli po'lat keng qo'llanadi.

Sovuq sirg'alishli izotrop po'lat kubik holatda ishlab chiqariladi. U yuqori magnit sifatiga ega. Davlatstandarti 21427.2-83 yupqa elektr texnik po'lat list shaklida tayyorlanadi,davlat standarti quyidagi markalarda: 1211;1212; 1213;1311;1312;1313;1411;1412;1413;1511;1512;1513;1514;1521;1561;1562;1571.

Sirg'alish aniqligiga va qalinligiga qarab po'latni o'rtacha aniqlikdagi H va yuqori aniqlikdagi P ga ajratiladi. Notekisligiga qarab po'lat 1- va 2- sinflarga

bo'linadi .List silliq bo'lishi kerak. Notekislik 1- sinf uchun 8mm dan 1 m gacha uzunlikka , 2- sinf uchun esa 12 mm dan 1m gacha uzunlikka ega bo'lishi kerak.

Elektro texnika zavodlariga listlar termik ishlov berilgan holda etkaziladi. Listlarning yuzasi silliq bo'lishi vakarroziya izlari bo'lmasligi zarur. Shartli belgisi 0.50 mm qalinlikdagi , kengligi 1000 mm, uzunligi 5000 mm, yuqori aniqlikda silliqlangan P markasi 1512, list 0,50x1000x2000-p-2-t-1512, davlat standarti 21427.3-75.Rulon holdagi po'lat qalinligi 0.28, 0.30, 0.35, va 0.50 mm, kengligi esa 750, 860, 1000 mm ga teng. Turli lentalarining qalinligi 0.28, 0.30, 0.35, 0.50 mm, kengligi esa 170, 180, 190, 200, 240, 250, 300, 325, 360, 400, 465 va 500 mm gacha bo'ladi. Qalinligi 0.28, 0.30, 0.35 mm li po'lat issiqlikka chidamli izolyatsiya qoplamasi bilan ishlab chiqariladi. 0.50 mm lisi esa izolyatsiyasiz holda ishlab chiqariladi. Qoplamasining tipiga qarab bular issiqlikka chidamli elektro izolyatsiyalangan holda ishlab chiqariladi.

Magnitli dielektrik ya'ni tortishish xususiyati yuqori, kuchli elektr qarshiliklarga ega materiallar magnetli o'tkazgichlar tayyorlash uchun qo'llaniladi. Kuchli toklarning yo'qotilishini kamaytirish uchun po'lat listlar laklanadi yoki oksidlanadi. 1211 markali qalinligi 0.5 yoki 1 mm li po'lat listlar doimiy tok mashinasining asosiy qutblarini yasash uchun ishlatiladi. Sinxron mashinalar qutblari uchun 1-2 mm li va undan qalin po'latlar ishlatiladi, u k_{ct} ning yaxshilanishiga olib keladi va $e k_{ct} \approx 0.98: 0.88$ ga etadi.

Po'lat listlar doimiy tok mashinalarining rotorini yasash uchun ishlatiladi. Po'lat listlar qalinligi 1,5 dan 120 mm gacha bo'ladi. Magnitli xususiyati quyma po'latnikiga xos. Quyilgan po'lat sinxron mashinalar rotorini, doimiy tok mashinasining qo'shimcha qismlarini yasash uchun ishlatiladi.

Magnitli xususiyati yomon bo'lgani sababli cho'yan elektro mashina qurilishida kam ishlatila boshladi. Elektr mashinalar qurilishida o'tkazgichli materiallardan alyuminiy va mis ham qo'llanadi. Kumush 4% kam qarshilikka ega bo'lsa ham o'ta noyob va tanqis bo'lgani uchun elektr mashinalar qurilishida ishlatilmaydi.

O'tkazgichli mis elektr vannalarida tozalash yo'li bilan olinadi.

Oz miqdorda bo'lsa ham boshqa moddalar aralashsa misning o'tkazuvchanligi yo'qaladi. Doimiy tok mashinalarining kollektori uchun kadmiy qattiq mis ishlatiladi

Kadmiy misning mexanik mustahkamligini oshiradi. Elektro texnika sanoatida yaxshi o'tkazgich vazifasini bajarish uchun alyuminiydan foydalaniladi. Alyuminiyning zarur xususiyatlaridan biri uncha qattiq emas va erishi uchun uncha katta harorat kerak emas, yuqori egiluvchanligi va zanglamasligidir.

Alyuminiy bosim ostida qayta ishlanadi va undan listlar, similar, folga va ayrim detallar yasaladi. Alyuminiyning mustahkamligi misga nisbatan 3.3 marta kam, qarshiligi esa 1.7 marta yuqori. Bu 1.7- jadvalda berilgan. Alyuminiy similar AE markali alyuminiydan yasaladi, uning tarkibida 99.5 % toza alyuminiy , 0.5 % temir aralashmasi va kremniy bor.Eritmalarni quyish uchun Al_2 va Al_9 ishlatiladi. Sinxron mashinalarning rotorini uchun AKZ, AKM, AKS ishlatiladi. Ularning qarshiligi yuqori. Sinkli misning eritmasi Latun deyiladi. Mis eritmasi olovo, kalsiy, beriliy va

fosfor bilan birgalikda bronza deyiladi. Latun va bronza sinxron motorlar rotorida cho'lg'am uchun ishlatiladi .

1.7- jadval

Material	Zichlik T/M^2	Solishtirma qarshilik $20^0C,$ $10^{-6} OM*m$	Tekis Yuzada xarorat koeffitsienti, $10^{-6} C^{-1}$	Issiqlik o'tkazish $Vt/(m*^0S)$
Mis (elektrotexnik)	8b9	0,01724	16,42	375-380
Alyumin (texnik)	2b6-2b7	0,028	24	205

Qiyin formadagi tok boshqaruvchi detallarni yasashda ham latun va bronza ishlatiladi. Misni iqtisod qilish maqsadida bu mashinalarning rotori uchun kontakt halqalari po'latdan tayyorlanadi. Maxsus sinxron motorlarning rotorlari ham po'latdan tayyorlanadi. Massivli rotori bor motorlardan kam foydalaniladi. Bu holatda magnitli va simli materiallarning funksiyalari bir xil bo'ladi. Hozirgi vaqtda po'lat magnitli va magnitsiz similar ishlab chiqarish bo'yicha ish olib borilmoqda. Mis va alyumin sim cho'lg'amlari dumaloq va to'g'ri burchakli kesmalar holida ishlab chiqarilmoqda . Simlarning o'ralganligi issiqlikka chidamlilik bo'yicha u yoki bu sinfga mansubligini bildiradi.

Elektr mashinalar yasashda dumaloq emallangan mis similar keng qo'llanilmoqda. Ular emal, paxta, ipak matolar bilan o'ralgan simlardan 1,5-2,5 marta kam izolyatsiyaga ega. Bu issiqlik o'tkazilishini oshiradi va Tirqish to'ldirish koeffitsientini yaxshilaydi. PEV -1bPEV -2 va yuqori issiqlikka chidamli laklangan PETV simlari eng mustahkam hisoblanadi. Bu haqida [8.36] da ma'lumot berilgan.

Emallangan alyumin simlar diametri 0.08-0.41 mm gacha PEVAT markali similar A sinfga mansubdir. PEVT markali simlar esa issiqlikka chidamliligiga ko'ra B sinfga mansub. PNSDK va PNSDKTsimlar yuqori issiqlikka chidamli cho'lg'am simlariga kiradi. Haroratga qarab simlarning xizmat davri o'zgarib turadi , 250^0C bo'lganda xizmat davri 15-20.000 soatga teng, 400^0C esa xizmat davri 200-500 soatga qisqaradi. POJ markali shisha tola bilan izolyatsiya qilingan similar 500^0C da ham ishlay oladi. 0^0C darajada mis va alyuminiy juda yomon o'tkazgichga aylanadi.

Bunday xarorat titan va kiobit eritmasi ishlatiladi. Elektr mashinalari qismlarini izolyatsiya qilish uchun elektro izolyatsiya yoki dielektriklar ishlatiladi. Izolyatsiyaning o'tkazuvchanligi va issiqlikka chidamliligi mashina qismlariga yuborilgan issiqlikka bog'liq.

Izolyatsiya maxsus mexanik xususiyatlarga ega bo'lishi va texnologiyalarni avtomatlashtirishni va mexanizatsiyalashtirishni ra'minlash kerak. Normal holatda ishlagan elektr mashinalarining xizmat muddati 15- 20 yil, bu esa izolyatsiyaning xizmat muddatiga bog'liq . Izolyatsiya ko'p qiziganda eskiradi, izolyatsion xususiyati va mexanik mustahkamligi ikki hissa kamayadi.

Izolyatsiyani klassifikatsiya qilinishi uni issiqlikka chidamliligi ishchi haroratda o'z funksiyasini belgilangan muddatgacha bajarishi bilan asoslanadi. 88-65-7 davlat standartiga ko'ra elektr mashinalar qurilishida ishlatilgan izolyatsion materiallar 7 sinfga bo'linadi. Normal rejimda ma'lum temperatura berib izolyatsiya sinfi aniqlanadi. Y(90°C) izolyatsiya sinfiga to'qimachilik materiallari tabiiy ipak, qog'oz, sellulyoza, karton, plastmassa va boshqalar kiradi.

A(105°C) sinfiga Y sinfidagi barcha materillar, agar ular izolyatsion tarkib bilan to'ydirilgan va suyuq dielektriklarga botirilgan bo'lsagina kiradi. E(120°C) sinfiga plyonka, polietilin tola, termoaktiv sintetik smola va kompaundlar kiradi. B(130°C) sinfiga qog'oz va gazlanma, shisha materillar, azbest, plastmassa, termoreaktiv sintetik kompaundlar va asbosement kiradi. F(155°C) sinfiga toza mineral asosidagi materiallar, slyudonitlar, slyudoplastlar, shisha tolalar, asbest izolyatsiyali similar, shisha mat ova boshqalar kiradi. H(180°C) sinfiga toza minerallar, shisha tolali izolyatsiya simlari, plastmassa, neorganik to'ldiruvchilar, kremniy tarkibli moddalar, asbest iplar, qog'oz va gazlamalar kiradi.

C(120°C) sinfiga toza minerallar, shisha tolalar, elektrotexnik keramika, kvars, asbosement, shifer, poleonidlar, elektrotexnik matolar kiradi.

Yuqorida keltirilgan elektr izolyatsiyalovchi materiallar elektr mashinalar qurilishida ishlatiladigan materillarning barcha ko'rinishini ifodalaymaydi. Elektr mashinalarida cho'lg'amlarga shimdirish uchun kompaundlar, laklar keng qo'llaniladi va issiqlik o'tkazish namlikka chidamlilikni oshiradi. Qoplama laklar namga va moyga chidamlilik bo'yicha cho'lg'amning himoyasini ta'minlaydi. Foydali elektroizolyatsiya materiallarini 10 dan to 200 mkm qalinlikka ega bo'lgan plyonka tashkil qiladi. Ular elektr mashinalarini engillashtiradi. Elektr mashinalar qurilishida plastmassaga elektr izolyatsion qog'ozlar, kartonlar, kompaundlar, lakotianlar, elektr keramik materillardan keng foydalaniladi. Elektr mashinalar qurilishida qora metal ham ko'p qo'llaniladi. Ularga eritilgan po'lat, kulrang cho'yan, boshqa xil po'lat va cho'yan turlari kiradi. Eritilgan po'lat, elektr mashinalari qismlarini tayyorlashda qo'llaniladi. Doimiy tok mashinalarida u stanina-doimiy qo'shimcha qutblardir.

Quyma po'lat yuqori mexanik kuchlanishlari detallar va kollektor ptulkalarini yasashda ishlatiladi. Detailarni quymalardan tayyorlash ko'p mehnat talab qiladi, shuning uchun iloji boricha quyma po'lat list po'latdan bo'lgan payvandlash detallari bilan almashtiriladi.

Bog'lanuvchan cho'yandan quyish yo'li bilan stanina, vtulka, podshipnik qalqoni, siquvchi shaybalar, maxovik, shkiv va yarimmuftalar tayyorlanadi. Kulrang cho'yan bilan taqqoslaganda bog'lanuvchan cho'yanning ustunligi – uning egiluvchanligi va yuqori chidamliligida.

Prokat po'lati elektr mashinalarni tayyorlashda keng qo'llaniladi. Asosan, doira, listli, olti qirrali va kvadrat po'lat qo'llaniladi.

Rangli metallardan tuzilish materiallari sifatida elektr mashinalari sanoatida ko'proq alyumin va uning mis va qalay quymalari qo'llaniladi. Alyuminli quymalar elektr mashinalarining korpusi, podshipnik qalqoni, ventilyator va boshqa detallarini tayyorlashda ishlatiladi. Alyumin quymasidan tayyorlangan detalalr cho'yan va po'lat

detallardan engilroq va tez usullarda tayyorlanishi mumkin. Kamchiligi – rezbaning ishonchsizligi, bu vtulkalar bilan armiratsiya zaruriyatiga olib keladi.

Elektr mashinalarida tuzilma materiallari sifatida plastmassalar keng qo'llaniladi. Termoreaktiv plastmassalardan qisqichlar to'plami, izolyasion vtulkalar va boshqalarni tayyorlashadi. Presslangan detallardan keng foydalaniladi (cho'tkalar, traversa, kollektor va hokazo). Mikromashinalarda plastmassalar korpus va podshipnik qalqonlarini tayyorlash uchun qo'llaniladi.

Hozirgi kunda elektromashina sanoatida rivojlanish ko'p jihatdan qo'llaniladigan yangi materiallarga bog'liq, shuning uchun yangi xossalari materiallarni yaratish, mavjudlarining xarakteristikalarini yaxshilash elektr mashinalarini rivojlantirish uchun muhim qiymatga ega. 1.19. Elektr mashinalarning sinteziga yondashuv. Induktiv elektr mashinalarida magnit maydonning energiyasi ko'proq tor tirqish va tishli hududda to'planadi, shuning uchun sintezda – elektr mashinalarini loyihalashtirishda – tor tirqishning hajmini va tishli hudud hisobini tanlash asosiy ahamiyatga ega.

Tor tirqishda energiyaning solishtirma zichligi P mashina aktiv quvvatining V_σ tor tirqish hajmiga nisbati sifatida aniqlanishi mumkin.

$$P_{ud} = \frac{P}{V_\sigma} \quad (1.190)$$

Bu yerda:

$$V_\sigma = \pi l_\sigma (R^2 - r^2) = \pi l_\sigma (2r + \delta) = 2\pi l_\sigma \delta r;$$

Bu yerda: V_σ – balandligi $\delta = R - r$ va o'rtacha radiusi $p = (R+r)/2$ bo'lgan silindr hajmi.

Elektr mashinalarining rusumlarida quvvatni keng chegaralarda o'zgartirilsa P_{ud} deyarli o'zgarmaydi. Shunday qilib, $P_2=13$ kVt, $n=1500$ ayl/daq parametrlari 4A rusum asinxron motori uchun $p_{ud}=0,47 \cdot 10^6$ Vt/m³, $P_2=250$ kVt, $n=1000$ ayl/daq parametrlari uchun esa $p_{ud}=0,52 \cdot 10^6$ Vt/m³. $P_2=1,2$ mln*kVt quvvatli turbogeneratorda $p_{ud} \approx 1 \cdot 10^6$ Vt/m³. Tuzilishda va quvvat 10^3 marta farq qilganida p_{ud} 2 martadan kam farq qiladi. Elektr mashinasining sintezini tor tirqishning solishtirma quvvatini tanlashdan boshlab, keyin, tor tirqish hajmini aniqlab, magnit va cho'lg'am tizimini loyihalashtirish qulay. Elektr mashinalarini loyihalashtirish ularni tuzish va tayyorlash texnologiyasidan ajralmas qism.

Hisob metodlari elektr mashinalar nazariyasining rivojlanishi bilan rivojlangan va mukammallashgan. Ularning ko'pchiligining asosida yo'l qo'yiladigan elektromagnit yuklanishlardan aniqlanadigan mashina doimiysini tanlash yotadi:

$$C_A = \frac{D^2 l_\sigma n}{P'} = \frac{2}{k A B_\sigma}, \quad (1.191)$$

Bu yerda: D – doimiy tok mashinasi yakorining diametri yoki o'zgaruvchan tok mashina statorining ichki diametri, m; n – aylanish chastotasi, ayl/daq; P' - hisob quvvati, Vt; k – qutbli to'siq a_8 , aylanish koeffitsienti k_{ayl} va maydon shakli koeffitsientini k_B hisobga oluvchi koeffitsienti. ($k = \pi \alpha_\sigma k_{ayl} k_B$)

Elektr mashinalarning loyihalashtirilishini elektromagnit yuklanishlarni tanlashdan boshlashadi, stator doirasining uzunlik birligiga cho'lg'amning barcha

tarmoqlari toki bilan aniqlanadigan, B_0 tor tirqish va chiziqli yuklanish A dagi induksiya, A/m:

$$A = \frac{2m\omega I}{\pi B}. \quad (1.192)$$

Quvvati va aylanish chastotasi turli bo'lgan mashinalar uchun C_A , B_0 va A qiymatlar elektr mashinalarini loyihalashtirish bo'yicha kitoblarda keltiriladi. Tor tirqishdagi induksiyaning u tishlarda 1,4 – 1,8 Tl dan oshmaydigan qilib tanlanadi, umumiy vazifadagi mashinalarda chiziqli yuklanish esa 40 000 A/m dan ortiq bo'lmasligi kerak.

Elektromagnit yuklanishlar qancha yuqori bo'lsa, o'lchamlar shuncha kam bo'ladi, shundan kelib chiqib, asosan aktiv materiallar – po'lat va misning massasi bilan aniqlanadigan mashina narxi pasayadi. Lekin elektromagnit yuklanishlari o'sishi bilan yo'qotishlar o'sadi, FIK pasayadi, shuning uchun A , B_0 va mashina o'lchamlari o'rtasida optimal nisbatlar mavjud.

Mashinaning eng qizigan qismi rotor va stator cho'lg'ami hisoblanadi. Cho'lg'am izolyasiyasining yo'l qo'yiladigan harorati izolyasiya sinfiga qarab 105 dan – 180 °C gacha tebranadi (1.9 jadvalga qarang). Loyihalashtirishda aktiv materiallarni to'g'ri taqsimlash, mashina tuzilishi va uni sovutish tizimini tanlash kerak.

Mashinaning alohida qismlari harorati mashina tuzilishi, sovutish tizimi va ish rejimiga bog'liq. Tabiiy sovutishda atrof-muhitga chiqishi mumkin bo'lgan issiqlik miqdori elektr mashinasining sirti bilan, sovutishning boshqa tizimlarida – mashina ichidan o'tuvchi, sovutish agenti hajmi bilan aniqlanadi.

Elektr mashinalari rusumini loyihalashtirishda turli quvvatdagi mashinalarni geometrik o'xshash qilishga urinishadi. Geometrik o'xshash elektr mashinalarida l_0 aktiv uzunlikning mashinaning statori yoki yakori D magnit simining diametriga nisbati mashina quvvati o'zgarganda doimiy bo'lib qoladi.

Tarmoq va aylanishning bir xil chastotasiga, shuningdek bir xil elektromagnit yuklanishga mo'ljallangan geometrik o'xshash elektr mashinalarida mashina quvvati to'rtinchi daraja bazis o'lchamga l proporsional: $P \sim l^4$.

Bu mashina uzunligi oshganda $l_0 \sim l$ va mashina diametri $D \sim l$ ligidan kelib chiqadi. Mashina uzunligi va diametri oshganida magnisimning kesimi l^2 ga proporsional, bu qo'yilgan kuchlanishni U^2 kvadratiga proporsional oshirish imkonini beradi. Bunda mis kesimi ham proporsional oshadi l^2 .

Mashina narxini mashina massasiga proporsional hisoblash mumkin, ya'ni narx l^3 proporsional. Elektr mashinalarida yo'qotishlar aktiv materiallar massasiga proporsional, ya'ni ular l^3 proporsional. Shuning uchun solishtirma yo'qotishlar kam bo'lgan va shu quvvatga bir nechta mashinalardan ko'ra birlik quvvatga kam aktiv material talab qiladigan quvvatli elektr mashinasi qurish foydali. So'ngi o'n yillikda turbo va gidrogeneratorlarning birlik quvvati o'sishi kuzatilmoqda. Turbogeneratorlarning quvvati birlikka 1 mln. 600 minga, gidrogeneratorlarniki – 800 mingdan ortiq, transformatorlarniki fazasiga 1 mln kV*A ga etdi.

Elektr mashinalarini loyihalashtirish va ishlab chiqarishda katta muvaffaqiyatlarga erishildi. Lekin yaratish kerak bo'lgan yangi mashinalar soni

uzluksiz o'smoqda va mashina energiya ko'rsatkichlarini yaxshilash massasini kamaytirish kerak. So'ngi yillarda loyihalashtirishni tezlashtirish va hisob ishlarining sifatini oshirish uchun elektr mashinalarini loyihalashtirishning avtomat tizimlari yaratilmoqda. Loyihalashtirishning avtomatlashtirilgan tizimlari bu hisob va loyiha tuzilishli ishlarni amalga oshirish imkonini beradigan EHM kompleksi. Algoritmalar tizimi va amaliy dasturlar paketi odamning EHM bilan o'zaro ishi natijasida elektr mashinalarini loyihalashtirishni ta'minlaydi.

Nazorat savollari.

1. Elektr mashinasi tayyorlanuvchi materiallar qaysilar?
2. Elektr mashina tayyorlangan materiallar sinflarini tartibini ayting?
3. Elektr mashinalarni loyihalashda foydalanuvchi algoritmarni ahamiyatini tushuntiring?

1.19. Elektr mashinalarida standartizatsiya

Sobiq ittifoq davrida da standartizatsiya 1925-yilda Mehnat va Mudofaa Kengashi qoshidagi standartizatsiya bo'yicha Komitet yaratilishi bilan boshlandi. 1954-yilda sobiq ittifoq davrida Vazirlar Kengashida keyinchalik Gosstandart deb nomlangan, standart, chora va o'lchov qurilmalari Kengashi yaratildi. Hozirgi kunda Gosstandart xalq xo'jaligini boshqarishning barcha darajalarida standartizatsiya, metrologiya va o'lchov texnikalari bo'yicha ishni boshqaradi.

Xalq xo'jaligi sohalarida standartizatsiya bo'yicha ishlarni tashkil qilish va yo'naltirishni standartizatsiya bo'yicha o'z bosh va bazali tashkilotlari orqali sobiq ittifoq davrida vazirlik va idoralari amalga oshiradi. Elektr sanoatida bu ishni Standartelektro olib boradi.

Sotsializmning dunyoviy tizimi sotsialistik mamlakatlarning rejali xalqaro hamkorligini amalga oshirish imkonini beradi. 1962-yilda iqtisodiy yordam Kengashi sessiyasida standartizatsiya bo'yicha SEV Institutining standartizatsiya bo'yicha Doimiy komissiyasi tashkil qilish haqida qaror qabul qilindi.

Standartizatsiya bo'yicha SEV Doimiy komissiyasining vazifasiga mamlakatlar – milliy standartlarni unifikatsiyalash sohasida SEV a'zolarining hamkorligiga yordam berish, SEV doirasida xalqaro ixtisoslik manfaatlarida standartizatsiyani rivojlantirish va ishlab chiqarishni kooperatsiyalashtirish va iqtisodiy aloqalarni kengaytirish kiradi.

Standartlarni tuzishda 1957-yildan chiqariladigan Xalqaro elektrotexnik komissiya (XEK) bosmalari e'tiborga olinadi. XEK tavsiyalarida asosiy e'tibor quvvatlarning, aylanish o'qi uchlarining yagona shkalasi, belgilanishlarning yagona tizimi, shuningdek parametrlarni tajribaviy aniqlashga qaratiladi.

Elektr mashinalarida asosiy GOST lar elektr mashinalariga umumiy texnik talablar keltirilgan GOST 183-74 va 11828-75 lar hisoblanadi. Umumiy texnik talablar quyidagilar: mashina ishini xarakterlaydigan nominal ma'lumotlar; ishning nominal rejimlari; nominal quvvat saqlangan holda kuchlanishning chegara og'ishlari; tok bo'yicha ortiqcha Yuklanish, aylanish chastotasi oshishiga talablar; elektr mashinalari qismlarining chegara yo'l qo'yiladigan harorati; izolyasiyaning

elektr chidamliligiga talblar; kollektorda uchqunlash darajasini baholash; ko'rsatkichlarning nominal qiymatlardan yo'l qo'yiladigan og'ishi; elektr mashinalarini qabul qilish va belgilash qoidalari va sinov metodlari. Bu talablar shuningdek SEV (CT SEV 1346-78 va CT SEV 1347-78) va XEK (34-1, 34-2, 34-3, 34-4 bosmalar) doirasida standartlashtirilgan.

GOST 183-74 rivojlanishida shuningdek asosiy texnik ko'rsatkichlar, texnik talablar, o'rnatishulash o'lchovlariga asosiy yig'ish birliklari va detallariga talablarni o'rnatuvchi qator standartlar tasdiqlangan.

Elektr mashinalariga sobiq ittifoq davrida standartlari massivi 125 turni o'z ichiga oladi. Elektr mashinalariga sobiq ittifoq davrida standartlari ko'rsatkichida e indeks bilan belgilangan energetik va elektromexanik standartlar bo'limiga kiradi.

Elektr mashinalariga umumiy texnik qoidalar va normalar standartlarning quyidagi guruhlaridan tashkil topgan: e00 guruh "Terminlarning belgilanishi" olti standartga ega; e 01 guruh "Texnik hujjat" – uch standart; e02 guruh "Hisob va loyihalashtirish normalari" – to'qqiz standart; e08 guruh "Qo'llash va foydalanish" – ikki standart. Material va buyumlarga standartlar guruhi 12 standartga ega.

Aylanuvchi elektr mashinalariga standartlar GOST ning sinflash, nomenklatura va umumiy normalari guruhiga, elektromotorlar, generatorlar, agregatlar, o'zgartirgichlar, to'g'irlovchilar va sinov metodlari kiradi.

E61 guruh "Elektromotorlar" 72 standartni o'zi ichiga oladi. Ularda motorlarning turli modifikatsiyalariga texnik shart va talablar mavjud. Quvvatlar, kuchlanishlar, aylanish chastotasi, o'rnatmaulash o'lchovlari va hokazolar qatori kelishiladi. E62 guruh "Generatorlar" 32 standartdan tashkil topgan. Ularda generatorlarning turli modifikatsiyalariga texnik shart va talablar keltirilgan. E61 va e62 guruhlarining asosiy tarkibi – mahsulot sifatiga va ishlab chiqarish sifatining davlat nazorati ta'minlanishiga talablar. Elektr mashinalari bir sinf va o'n kichik sinflarga ega bo'lgan holda sanoat va qishloq xo'jaligi mahsulotlarining umumso yuz sinfiga kiradi.

Nazorat savollari.

1. Elektr mashinalarni yaratishda standartlarning ahamiyati qanday?
2. Elektr mashinalarni yaratishda standartlar qaysilar?
3. Elektr mashinalarni yaratishda standartlar nechta sinfga bo'linadi?

I-BOB XULOSASI.

Elektr mashinalari fanini energetika tarmoqlarida faoliyat ko'rsatuvchi barcha kadrlar uchun asosiy fan hisoblanadi. I-bobda "Elektr mashinalari" faniga kirish, ya'ni fanda qonuniyatlar shakllanishidan toki hozirgi vaqtga qadar bo'lgan asosiy yangilik, ixtirolar keltirilgan. Bob davomida fanning klassifikatsiyasi, elektr mashinalarning asosiy konstruktiv tuzilishi va konstruksani harakatga keltiruvchi qonunlar to'liq ochib berilgan. Elektr mashinalarni elektromexanik o'zgartgichlar sifatida ishlashi ya'ni elektromagnit maydon energiyasi elektr mashinalarda mexanik energiyaga aylanadi. Ushbu jarayonni amalga oshiruvchi elektromagnit maydon shakli tuzilishi qanday tartibda hosil bo'lishi ochib berilgan. Aylanuvchi magnit maydonni hosil qiluvchi elektr mashina chulg'amlarini tuzulishi, stator va rotor pazlariga o'ralish tartibi berilgan. O'tkazgichdan elektr toki oqib o'tganda uning atrofida magnit maydon hosil bo'ladi, bu magnit maydonga kiritilgan rotor chulg'amlarida tok hosil bo'ladi, bu esa magnit maydoniga kiritilgan tokli o'tkazgich degani, rotordagi o'tkazgichga amper kuchi ta'sir qiladi va rotorni aylanma harakatga keltiradi. Ushbu jarayonni ochib beruvchi o'zgartiruvchi sxema formulalar tenglamalar bilan izohlangan. Bundan tashqari bu bobda elektr mashina parametrlari foydali ish ko'effitsiyenti va isroflar, elektr mashinalarni qizishi, sovushi va elektr mashinalar qaysi materiallardan yasalganligi ularni standartlari ko'rib chiqilgan.

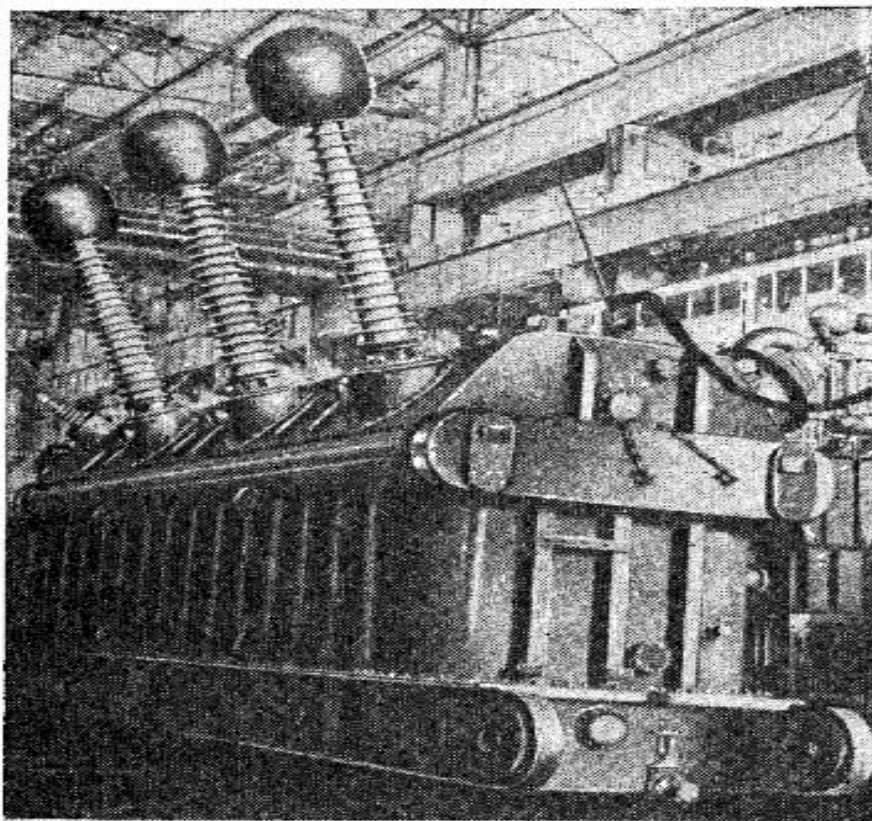
II- BOB

TRANSFORMATORLAR

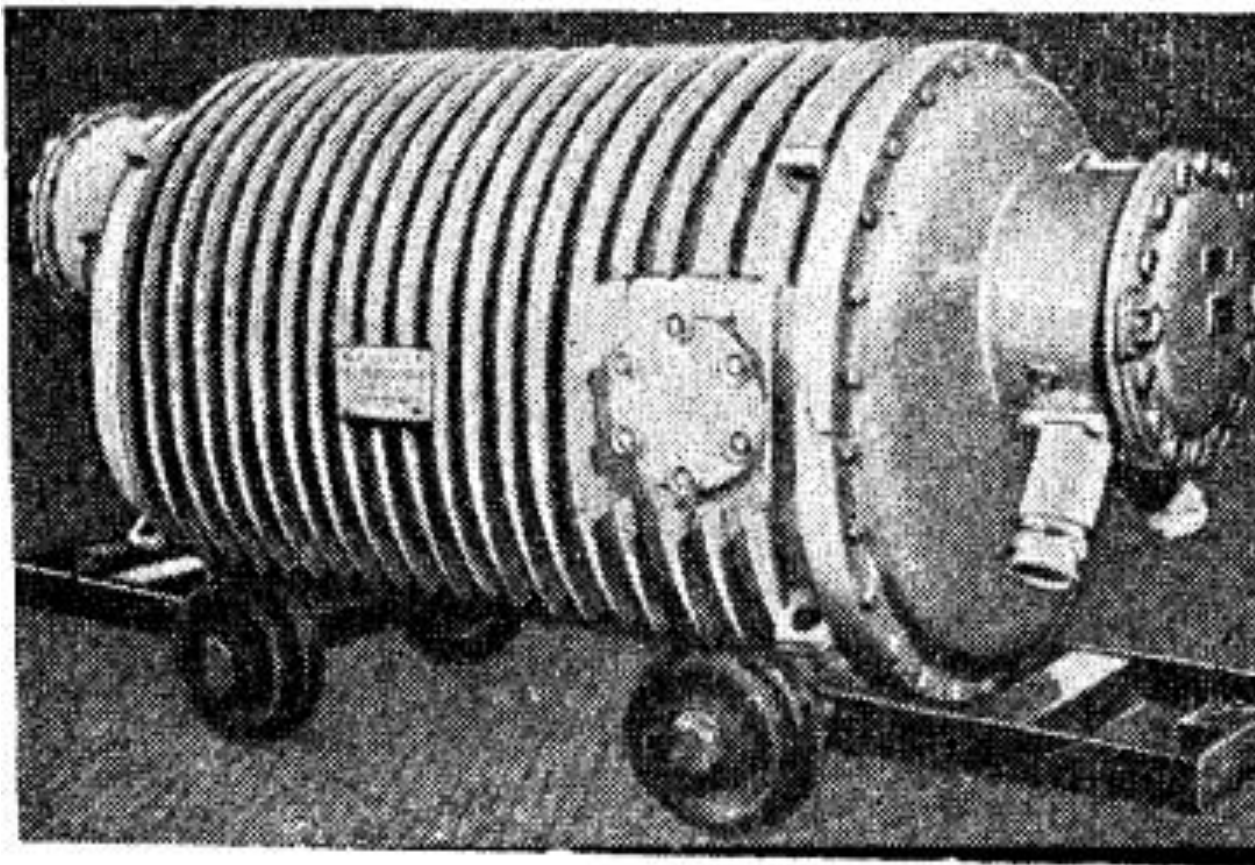
2.1. Transformatorlarning vazifasi va ular haqida asosiy ma'lumotlar

Transformatorlar elektr energiyasining elektromagnit statik o'zgartirgichlari. Transformatorlarning asosiy vazifasi o'zgaruvchan tok kuchlanishini o'zgartirish. Ular shuningdek faza va chastotalar sonini o'zgartirish uchun qo'llaniladi. Elektrotexnik sanoatda million kilovolt-ampyerdan yuqori quvvatli va 1150 – 1500 kV gacha kuchlanishga mo'ljallangan kuchlanishning kuch transformatorlari keng tarqalgan.

Elektr energiyasini yuborish va taqsimlash uchun elektrostansiyalarda o'rnatilgan turbogenerator va gidrogeneratorlarning kuchlanishini 16 – 24 kV dan yuborish liniyalarida ishlatiladigan 110, 150, 220, 330, 500, 750 va 1150 kV kuchlanishgacha oshirish zarur, keyin esa energiyadan sanoat, qishloq xo'jaligi va maishiy hayotda foydalanish uchun 35; 10; 6; 3; 0,66; 0,38 va 0,22 kV gacha pasaytirish lozim. Energetik tizimlarda ko'p karrali transformatsiya o'rin egallagan ekan, transformatorlarning quvvatlari elektrostansiyalarda o'rnatilgan generatorlarning quvvatidan 7 – 10 marta ortiq bo'ladi. Sobiq ittifoq davrida da kuch transformatorlari asosan 50 Gs chastotada chiqariladi.



2.1-rasm. quvvati 1 mln kV*A, kuchlanishi 500 kV bo'lgan uch fazali TS-1000000/500 transformator.



2.2 -rasm. quvvati $160 \text{ kV} \cdot \text{A}$, kuchlanishi 6 kV bo'lgan portlashga xavfsiz TCB-160/6 transformator.

Kichik quvvatli transformatorlar turli elektrotexnik uskunalarda, axborotni yuborish va qayta ishlash tizimlarida, navigatsiya va boshqa qurilmalarda keng qo'llaniladi. transformatorlar ishlashi mumkin bo'lgan chastotalar diapirqishoni, - bir necha gersdan 10^5 Gs gacha.

Fazalar soni bo'yicha transformatorlar bir fazali, ikki fazali, uch fazali va ko'p fazalilarga bo'linadi. Kuch transformatorlari asosan uch fazada chiqariladi. Bir fazali tarmoqlarda foydalanish uchun bir fazali transformatorlar chiqariladi.

Transformatorlar bir-biri bilan induktiv bog'liq ikki yoki bir nechta cho'lg'amlarga ega. Tarmoqdan energiyani iste'mol qiluvchi cho'lg'amlar birlamchi deb ataladi. Iste'molchiga elektr energiyasini beruvchi cho'lg'amlar ikkilamchi deb ataladi.

Ko'p fazali transformatorlar ko'p nurli yulduz yoki ko'pburchakka ulangan o'rmaga ega. Uch fazali transformatorlar uch nurli yulduz va uchburchakka ulangan.

Birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarda kuchlanishlar nisbatiga ko'ra transformatorlar ko'taruvchi va pasaytiruvchilarga bo'linadi. Ko'taruvchi transformatorlarda birlamchi cho'lg'am past kuchlanishga, ikkilamchida esa – yuqori kuchlanishga ega. Pasaytiruvchi transformatorlarda, aksincha, ikkilamchi cho'lg'am past kuchlanishga, birlamchi esa – yuqori kuchlanishga ega.

Bir birlamchi va bir ikkilamchi cho'lg'amga ega transformatorlar ikki cho'lg'amli deb ataladi. Har bir fazaga uch cho'lg'amga ega uch cho'lg'amli

transformatorlar keng tarqalgan, bunda ikkitasi past kuchlanish tomonida, biri – yuqori kuchlanish tomonida yoki aksincha. Ko'p fazali transformatorlar past yoki yuqori kuchlanishning bir nechta cho'lg'amlariga ega bo'lishi mumkin.

Tuzilishi bo'yicha transformatorlar ikki asosiy tipga bo'linadi – moyli va quruq. Moyli transformatorlarda (2.1 rasm) cho'lg'amli magnit simi yaxshi izolyator va sovutuvchi agent hisoblangan, transformator moyi bilan to'ldirilgan bakda joylashgan. Quruq transformatorlar havo bilan sovutiladi. Ular moyli transformatorlardan foydalanish mumkin bo'lmagan turar-joy va sanoat binolarida qo'llaniladi (2.2 rasm). transformator moyi yoqilg'i hisoblanadi va bak germetikligi buzilganida moy boshqa qurilmani zararlashi mumkin.

Transformatorlar bilan bir qatorda birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar o'rtasida elektr aloqasi bo'lgan avtotransformatorlar ham qo'llaniladi. Bunda quvvat bir cho'lg'amdan boshqasiga ham magnit maydon, ham elektr aloqasi hisobiga beriladi. Avtotransformatorlar katta quvvat va yuqori kuchlanishga quriladi va energotizimlarda qo'llaniladi, shuningdek kichik quvvatli uskunalarda kuchlanishni boshqarishda foydalaniladi.

Transformatorning, u 25 yilga zavod kafolati bilan mo'ljallangan nominal ma'lumotlari transformatorning pasport taxtachasida ko'rsatiladi: nominal to'liq quvvat S_{nom} , kV*A, nominal chiziqli kuchlanish $U_{l,nom}$ B yoki kV, nominal chiziqli tok $I_{l,nom}$, A, nominal chastota f , Gs, fazalar soni m , cho'lg'amlar ulanish sxemasi va guruhi, qisqa tutashuv kuchlanishi U_k , %, ishlash rejimi, sovutish usuli. Taxtachada shuningdek montaj uchun zarur ma'lumotlar keltiriladi: to'liq massa, moy massasi, transformatorning echiladigan (aktiv) qismining massasi. Transformatorlarning markasiga GOST bilan mos ravishda transformator tipi va ishlab chiqaruvchi zavod ko'rsatiladi. Bir fazali transformatorning nominal quvvati $S_{nom}=U_{inom}I_{inom}$, uch fazalikniki $S_{nom}=\sqrt{3} U_{l,nom}I_{l,nom}=3 U_{IF,nom}I_{1f,nom}$, bu yerda U_{Inom} , $U_{IF,nom}$, $I_{l,nom}$ va $I_{1f,nom}$ – mos ravishda kuchlanish va toklarning nominal chiziqli va fazali qiymatlari.

Transformatorning nominal kuchlanishlari transformatorning birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlariga erkin yurishida chiziqli kuchlanishlar hisoblanadi. Birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarning nominal toklari sifatida nominal birlamchi va ikkilamchi kuchlanishlarda nominal quvvat bo'yicha hisoblangan toklar qabul qilinadi.

Tuzilishi va hisob metodi bir xil bo'lganligi uchun transformatorlarga reaktorlar, to'yintirish drossellari va yuqori o'tkazuvchan induktiv to'plovchilar kiritilishi mumkin. Avtomatik boshqaruv tizimlarida qo'llaniladigan elektromagnit qurilmalarning katta guruhi magnit kuchaytirgichlar, turli uzatgichlar, o'lchov transformatorlari garchi kuch transformatorlari bilan umumiy tenglamaga ega bo'lsada, turli qo'shni kurslarda ko'rib chiqiladi.

Nazorat savollari.

1. Transformatorlar haqida qisqacha ma'lumot bering?
2. Transformatorlarning qanday turlari bor?
3. Transformatorlar qanday quvvatlarda ishlab chiqarilmoqda?

2.2. Transformator tenglamasi.

Transformator sxemasini $\omega_p = 0$ bo'lganda va 90° ga tejang elektr burchagiga siljirilgan stator va rotorning qo'zg'aluvchan cho'lg'amlari o'rtasida magnit aloqalar bo'lmaganida umumiy mashina sxemasidan olish mumkin (1.28 rasimga qarang).

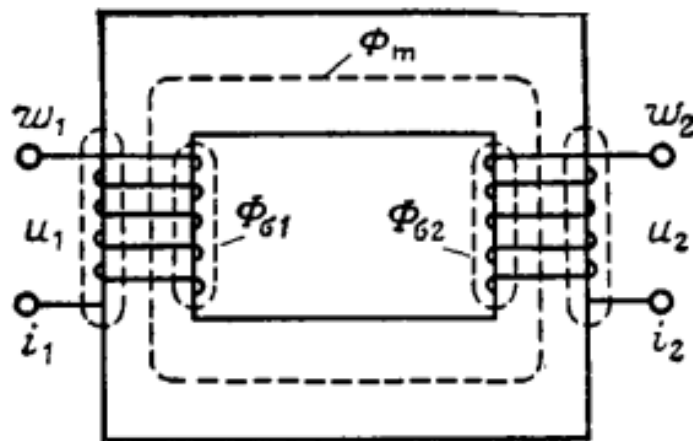
Oldin birlamchi cho'lg'am tarmoqlarining soni ω_1 ikkilamchi cho'lg'am tarmoqlari ω_2 soniga teng bo'lgan to'yinmagan bir fazali ikki cho'lg'amli transformatorning tenglamasini ko'rib chiqamiz. 2.3 rasmda tasvirlash qulay bo'lishi uchun birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar turli sterjenlarda joylashtirilgan bir fazali transformator sxemasi keltirilgan. Real transformatorlarda cho'lg'amning yaxshi magnit aloqasini ta'minlash uchun cho'lg'amlarni bir sterjenda joylashtirishadi.

Transformatorlarda energiyaning o'zgarish jarayonlarini tahlil qilish uchun ikkala cho'lg'am bilan ulangan ishchi oqim F_m va birlamchi $\Phi_{\sigma 1}$ va ikkilamchi $\Phi_{\sigma 2}$ cho'lg'amlarni yoyilish oqimi borligini tasavvur qilish qulay. $\Phi_{\sigma 1}$ va $\Phi_{\sigma 2}$ yoyilish oqimlari faqat bir cho'lg'am bilan ulangan: u_1 va i_1 – birlamchi cho'lg'am kuchlanish va toki; u_2 va i_2 – ikkilamchi cho'lg'amning kuchlanish va toki.

Ikki cho'lg'amli transformatorlar uchun 2.3 rasm sxemasi bo'yicha quyidagi tenglamalar yozilishi mumkin:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ -u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + pL_1 & pM \\ pM & r_2 + pL_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Bu yerda $p \leftrightarrow \frac{d}{dt}$ r_1 va r_2 – birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarning aktiv qarshiligi; M – birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar o'rtasidagi o'zaro induktivlik (F_m ishchi oqim bilan aniqlanadi); L_1 va L_2 – mos ravishda birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar induktivligi.



2.3- rasm. Bir fazali transformator sxemasi.

u_2 kuchlanish oldidagi manfiy belgisi aktiv quvvat birlamchi cho'lg'amdan yuklanish ulangan ikkinchisiga berilayotganligini ko'rsatmoqda.

Differensial tenglamalar (2.1) umumlashtirilgan mashina tenglamasidan olinadi (1.110), agar cho'lg'amlar aloqasini rotorning nolga teng aylanishida bir o'q bo'yicha ko'rib chiqilsa va α va β indekslni mos ravishda transformatorning birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlariga kiritgan holda almashtirilsa. Transformatorning birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlari elektr aloqaga ega emas va quvvat bir cho'lg'amdan

boshqasiga elektromagnit yo'l bilan beriladi. Aloqani kuchaytirish uchun cho'lg'amlar ferromagnit Yurakchada joylashtiriladi – magnit simda.

Transformator tenglamalarining tahlilini ideal transformator tenglamasidan boshlaymiz. Ideal transformatorida $r_1=0$ va $r_2=0$ va magnit simning yo'qotishlari hisobga olinmaydi. Po'latning magnit o'tkazuvchanligi $\mu_{po}=\infty$, butun oqim po'latda yopiladi va yoyilish oqimi nolga teng.

Transformator cho'lg'amlari o'rtasidagi elektromagnit aloqa elektromagnit aloqa koeffitsienti bilan xarakterlanadi (2.3 rasm).

$$c = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2.2)$$

Yo'qotishlar bo'lmagan va butun oqim birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar bilan ulangan ideal transformator uchun (yoyilish yo'q), $c=1$, ya'ni cho'lg'amlar o'rtasidagi aloqa to'liq.

Real transformatorlarda birlamchi $\Phi_{\sigma 1}$ va ikkilamchi $\Phi_{\sigma 2}$ cho'lg'amlarning yoyilish oqimlari mavjud, shuning uchun ularda elektromagnit aloqa to'liq emas va $c<1$. Shu sababdan elektromagnit yoyilish koeffitsienti tushunchasi kiritiladi:

$$\sigma = 1 - c^2 = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} \quad (2.3)$$

Yoyilish oqimlari transformatorlarda elektromagnit o'zgartirish jarayonlari uchun muhim ahamiyatga ega va ular zararli deb hisoblash va ularni nolga etkazishga urinish kerak emas.

Kuch transformatorlarida elektromagnit aloqaning yuqori koeffitsienti bor ($c = 0,93 / 0,999$), mos ravishda yoyilish ham katta emas ($\sigma = 0,07 / 0,001$).

Sinusoidal o'zgaruvchi magnit oqimida ideal transformatorida

$$\left. \begin{aligned} u_1 = -e_1 &= \frac{d\Psi_1}{dt} = \frac{\omega_1 d(\Phi_m \sin \omega t)}{dt} = \omega \omega_1 \Phi_m \cos \omega t; \\ u_2 = e_2 &= -\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{-\omega_2 d(\Phi_m \sin \omega t)}{dt} = -\omega \omega_2 \Phi_m \cos \omega t. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

(2.4) da F_m – transformator oqimining tebranish qiymati, $u \approx e$, chunki kuchlanish tushishi cho'lg'amlarda nolga teng. Bunda EYUK ning qiymati

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \frac{\omega \omega_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f \omega_1 \Phi_m = 4.44 f \omega_1 \Phi_m; \\ E_2 &= \frac{\omega \omega_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \pi \sqrt{2} f \omega_2 \Phi_m = 4.44 f \omega_2 \Phi_m. \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Bu yerda: $\omega = 2\pi f$.

Ideal transformatorida kuchlanish nisbati transformatsiya koeffitsienti deb ataladi:

$$n_{12} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \quad (2.6)$$

Ideal transformatorida $U_1 I_1 = U_2 I_2$ ekan, unda birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlardagi toklarni quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin

$$\frac{I_2}{I_1} = n_{12}; \quad I_2 = n_{12}I_1. \quad (2.7)$$

Real transformatorlarda bu nisbatlar deyarli buzilmaydi, chunki kuch transformatorlarida yoyilish oqimlari cho'lg'amlarning aktiv qarshiligi nisbatan kichik.

(2.1) tenglama quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= i_1 r_1 + pL_1 i_1 + pMI_2; \\ -u_2 &= i_2 r_2 + pL_2 i_2 + pMI_1. \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

(2.1) va (2.8) tenglamalar transformator ishining o'tuvchi va o'rnatilgan rejimlarini ta'riflaydi. Transformatorning faqat o'rnatilgan ish rejimlarini xarakterlovchi kompleks tenglamalarini olish uchun (2.1) yoki (2.8) da $p \leftrightarrow \frac{d}{dt} \leftrightarrow j\omega$ ni almashtirish lozim. (2.8) dagi $p \leftrightarrow j\omega$ ni almashtirgandan so'ng quyidagi hosil bo'ladi

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 r_1 + pL_1 I_1 + pMI_2; \\ -U_2 &= I_2 r_2 + pL_2 I_2 + pMI_1. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Birlamchi cho'lg'amning to'liq induktiv qarshiligi

$$\omega L_1 = \omega M + \omega L_{\sigma 1}, \quad (2.10)$$

Bu yerda $L_{\sigma 1} - \Phi_{\sigma 1}$ yoyilish oqimiga mos keluvchi birlamchi cho'lg'am yoyilish induktivligi; $\omega L_{\sigma 1}$ - birlamchi cho'lg'am yoyilishining induktiv qarshiligi; ωM - o'zaro induksiyaning induktiv qarshiligi.

Ikkilamchi cho'lg'amning induktiv qarshiligi

$$\omega L_2 = \omega M + \omega L_{\sigma 2}, \quad (2.11)$$

Bu yerda $\omega L_{\sigma 2}$ - ikkilamchi cho'lg'am yoyilishining induktiv qarshiligi; $L_{\sigma 2}$ - ikkilamchi cho'lg'am yoyilishining induktivligi.

(2.10) ni birinchi tenglamaga qo'ygan holda (2.9), quyidagiga ega bo'lamiz

$$U_1 = I_1 r_1 + j\omega M I_1 + j\omega L_{\sigma 1} I_1 + j\omega M I_2. \quad (2.12)$$

$I_0 = I_1 + I_2$ (2.13) ga teng I_0 ni va (2.13) ni (2.12) ga qo'yan holda

$U_1 = I_1 r_1 + j\omega M I_0 + j\omega L_{\sigma 1} I_1$. (2.14) ga ega bo'lamiz. (2.14) da

$$\omega M I_0 = -E_1, \quad \omega L_{\sigma 1} = x_1.$$

Shunda:

$$U_1 = -E_1 + I_1 z_1, \quad (2.15)$$

bu yerda: birlamchi cho'lg'am qarshiligi

$$z_1 = r_1 + jx_1. \quad (2.16)$$

Ikkinchi tenglamani (2.9) ga o'zgartirgan holda, birinchi tenglamaga qilinganidek,

$-U_2 = I_2 r_2 + j\omega M I_0 + j\omega L_{\sigma 2} I_2$. (2.17) ga ega bo'lamiz.

(2.17) da $\omega L_{\sigma 2}$ - ikkilamchi cho'lg'am yoyilishiga induktiv qarshilik va $x_2 = \omega L_{\sigma 2}$, shunda

$$-U_2 = E_2 + I_2 z_2, \quad (2.18)$$

Bu yerda ikkilamchi cho'lg'am qarshiligi

$$z_2 = r_2 + jx_2. \quad (2.19)$$

Birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar EYUK esa

$$E_1 = E_2 = -j\omega M I_0. \quad (2.20)$$

Birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarning bir xil tarmoqlarida transformatorning kompleks tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= -E_1 + I_1 z_1 \\ U_2 &= -E_2 - I_2 z_2 \\ I_0 &= I_1 + I_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

Transformator tenglamasiga (2.21) Yuklanish tenglamasini qo'shsa

$$U_2 = I_2 z_2 \quad (2.22)$$

transformatorning o'rnatilgan rejimlardagi ishini ta'riflovchi tenglamaga ega bo'lamiz.

Nazorat savollari.

1. Bir fazali transformator sxemasini tushuntiring?
2. Bir fazali transformator tenglamalarini tushuntiring?
3. Transformator chulg'amlarida o'zaro induktivlik koeffitsiyenti qaysi parametrlar bilan bog'liq?

2.3. Transformatorning vektor diagrammasi.

Transformator tenglamasi uchun kompleks tekislikda transformator tenglamalarining geometrik interpretatsiyasi hisoblanadigan vektor diagramma taklif qilinishi mumkin.

Transformatsiya koeffitsiyenti bir necha o'nga etishi mumkin ekan, bir necha o'n marta farq qiladigan birlamchi va ikkilamchi cho'lg'am vektorlariga ega diagrammani qurish noqulay. Shuning uchun vektor diagrammasi va almashtirish sxemasini keltirilgan transformator uchun ko'rib chiqish qabul qilingan.

Keltirilgan transformator birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarda tarmoqlar soni bir xil ($\omega_1 = \omega_2$). Bunda real va keltirilgan transformatorlardagi barcha elektromagnit jarayonlar bir xil kechadi. Real va keltirilgan transformatorlarda yo'qotishlar, MYUK, magnit oqimlar, aktiv va reaktiv quvvatlar o'zgarmas bo'lib qoladi. Agar transformatsiya koeffitsiyentini birlamchi cho'lg'am tarmoqlarining ikkilamchi tarmoqlariga nisbati sifatida aniqlansa (2.6), unda keltirilgan va real transformatorlar uchun quyidagi nisbatlarni tuzish mumkin:

transformator keltirilgan transformator

$$\begin{array}{ll} \omega_2 & \omega_2 = \omega_1 \\ E_2 & E_2 = n_{12} E_1 \\ U_2 & U_2 = n_{12} U_1 \\ I_2 & I_2 = \frac{I_1}{n_{12}} \\ r_2 & r_2 = n_{12}^2 r_1 \\ x_2 & x_2 = n_{12}^2 x_1 \end{array}$$

Kuchlanish va toklar transformatorning real va keltirilgan cho'lg'amlari quvvati tengligidan kelib chiqadi:

$$U_2 I_2 = U_1 I_1, \quad (2.23)$$

Keltirilgan va real cho'lg'amlarning magnit harakat kuchlari bir xil:

$$\omega_2 I_2 = \omega_1 I_1, \quad (2.24)$$

Real va keltirilgan transformatorlarda magnit maydonlar o'zgarmas qolishi uchun (2.24) tenglik bajarilishi va cho'lg'amlar konfiguratsiyasi saqlanishi lozim. Bunda keltirilgan va real cho'lg'amlar kesimi bir xil bo'lishi kerak, shuning uchun keltirilgan cho'lg'am tarmog'ining kesimi n_{12} marta o'lchanadi.

Keltirilgan cho'lg'amning aktiv qarshiligi tarmoqlar soni va tarmoq kesimi n_{12} marta o'zgarganligi tufayli real cho'lg'amda aktiv qarshilikdan n_{12}^2 marta katta:

$$r_2' = n_{12}^2 r_2. \quad (2.25)$$

O'zgarmas geometrik o'lchamlarda induktiv qarshiliklar tarmoqlar soni kvadratiga bog'liq ekan

$$x_2' = n_{12}^2 x_2. \quad (2.26)$$

unda

$$z_2' = n_{12}^2 z_2. \quad (2.25)$$

Bu nisbatlar transformatorlarning aktiv va reaktiv quvvatlari tengligidan ham olinishi mumkin.

Keltirilgan cho'lg'amli transformator uchun tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$U_1 = -E_1 + I_1 z_1, \quad (2.28)$$

$$U_2' = E_2' - I_2' z_2', \quad (2.29)$$

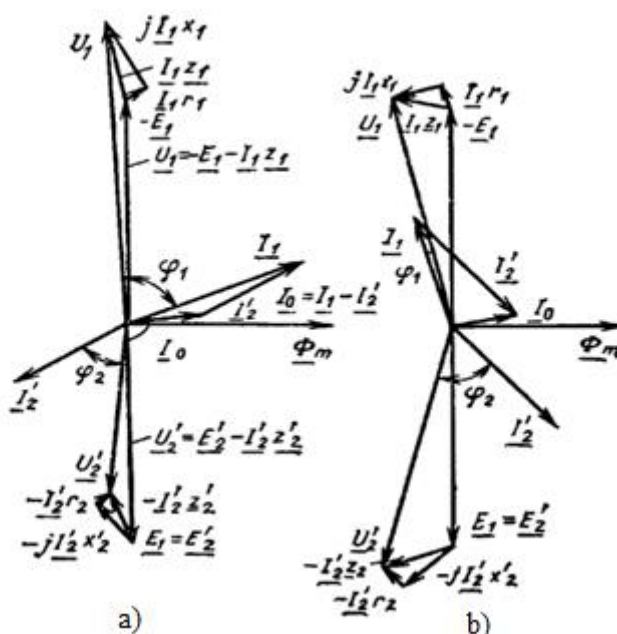
$$I_0 = I_1 + I_2', \quad (2.30)$$

(2.28) – (2.30) ning geometrik interpretatsiyasi keltirilgan transformatorning vektor diagrammasi hisoblanadi (2.4, a rasm).

Diagrammani qurishni oqimni F_m fazaga qo'yib (2.30) tenglamadan boshlash, keyin esa (2.28) va (2.29) ni qurish lozim.

Transformator birlamchi cho'lg'amiga keltiriladigan quvvat (2.4, a rasm),

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (2.31)$$



2.4- rasm. Aralash aktiv-induktiv (a) va aktiv-sig'imli (b) yuklanishlarda transformatorning vektor diagrammasi.

Yuklanishga beriladigan quvvat (ikkilamchi cho'lg'amdagi quvvat),

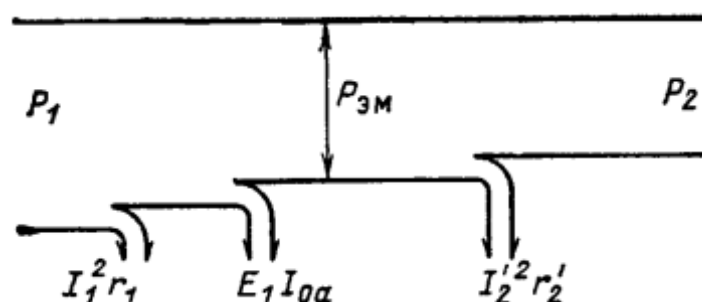
$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_1 \quad (2.32)$$

bunda $P_2 < P_1$, chunki quvvatning bir qismi transformatoridagi yo'qotishlarga sarflanadi.

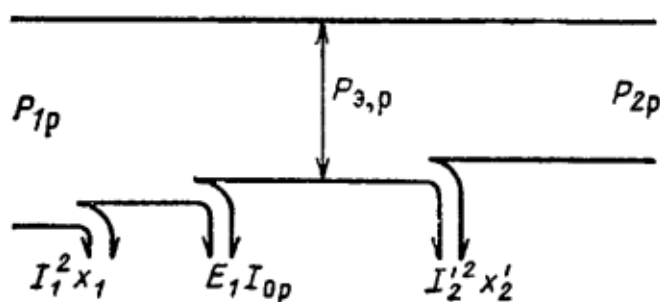
2.5 rasmda transformatoridagi aktiv quvvatning energetik diagrammasi keltirilgan. Aktiv quvvatning bir qismi birlamchi $I_1^2 r_1$ va ikkilamchi $(I_1')^2 r_1'$ cho'lg'amlarda misga sarflanadi. Yo'qotishlardan tashqari, misda E_1 va erkin yurish I_{0a} tokining aktiv tashkil qiluvchisi orqali aniqlanadigan po'lat yo'qotishlari mavjud. Transformator cho'lg'amlari mis va alyuminiydan qilinadi. Shuningdek cho'lg'amlar metallidagi yo'qotishlar haqida gapirish aniq bo'ladi va mavjud terminologiyani almashtirishga zaruriyat yo'q.

Transformatorning elektromagnit quvvati – bu magnit maydoni bilan birlamchi cho'lg'amdan ikkinchisiga yoki aksincha beriladigan quvvat. Transformatorlar qayta tiklanadigan: ham aktiv, ham reaktiv quvvat birlamchi cho'lg'amdan ikkinchisiga yoki ikkinchisidan birinчисiga berilishi mumkin.

Transformatorida maydon hosil qilish uchun asosiy maydonni – o'zaro induksiya maydoni va birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar yoyilish maydonlarini hosil qilishga ketadigan reaktiv quvvat zarur.



2.5- rasm. Transformator aktiv quvvatining energetik diagrammasi.



2.6- rasm. Transformator reaktiv quvvatining energetik diagrammasi.

2.6 rasmda transformatorida reaktiv quvvatining energetik diagrammasi keltirilgan. Vektor diagrammasi bo'yicha birlamchi cho'lg'amga kelib tushadigan reaktiv quvvat quyidagiga teng

$$P_{1p} = U_1 I_1 \sin \varphi_1. \quad (2.33)$$

Yoyilish maydonini yaratishga $I_1^2 x_1$ quvvat sarflanadi, reaktiv quvvat esa

$$P_{1p} - I_1^2 x_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 - I_1^2 x_1. \quad (2.34)$$

o'zaro induksiya maydoniga qaraydi. Ikkilamchi cho'lg'am yoyilish maydonini yaratishga $(I_1)^2 x_1$ reaktiv quvvat ketadi. Elektromagnit quvvatning reaktiv tashkil etuvchisi $P_{E,P}$ - bu birlamchi cho'lg'amdan ikkilamchisiga beriladigan quvvat (2.6 rasm).

Agar transformator yuklanishi induktiv bo'lsa, transformatoridan reaktiv quvvat yuklanishga keladi. Agar transformator yuklanishi sig'imli va aktiv bo'lsa, unda katta sig'imda reaktiv quvvat transformatoridan tarmoqqa keladi. Bunda $P_{2p} > P_{1p}$. Aktiv va reaktiv quvvatlarning yo'nalishi mos tushishi yoki qarshi bo'lishi mumkin. Transformatorning vektor diagrammasiga ko'ra aralash sig'imli yuklanishda $U_2 > U_1$ (2.4, b rasm). Toza sig'imli yuklanishda ikkilamchi cho'lg'amda kuchlanishning o'sishi izolyasiya uchun xavfli tuyuladigan darajada kam bo'lishi mumkin. Sig'imli yuklanishda transformatorida yuklanishning o'sishi transformatorning ortiqcha qo'zg'alishi deb ataladi.

Nazorat savollari.

1. Transformatorning vector diagrammasi qaysi parametrlarni o'zaro bog'liqligini ko'rsatadi?
2. Transformator aktiv quvvatining energetik diagrammasini tushuntirib bering?
3. Transformator reaktiv quvvatining energetik diagrammasi tushuntirib bering?

2.4. Transformatorni almashtirish sxemasi.

O'rnatilgan rejimda keltirilgan transformator tenglamasi uchun (2,28) – (2.30) egallashning elektr sxemasi taklif qilinishi mumkin (2.7 rasm). Aslida ham, agar ikkilamchi cho'lg'am chiqishlariga z_n yuklanish ulangan deb tasavvur qilsak, unda $U_2 = I_2 z_n$. (2.28) – (2.30) ni birga echgan holda, quyidagiga ega bo'lamiz

$$U_1 = I_1 \left[z_1 + \frac{z_0(z_n + z_2)}{z_0 + z_n + z_2} \right] = I_1 z_E \quad (2.35)$$

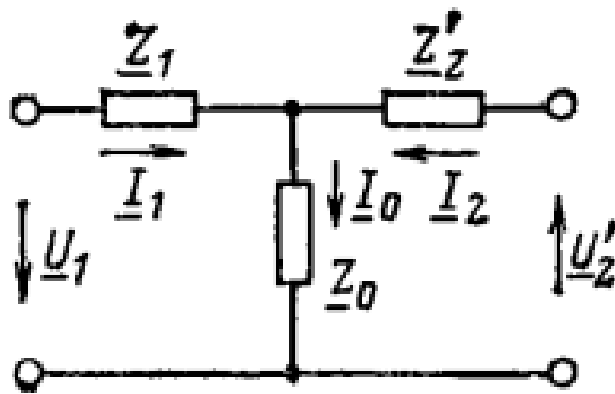
Transformatorni egallash sxemasiga ko'ra birlamchi cho'lg'amdagi kuchlanish (2.35) bo'yicha aniqlanishiga ishonch hosil qilish qiyin emas.

Egallashning elektr sxemalar elektr mashinalari nazariyasini rivojlantirishda katta ahamiyatga ega. Ular aralashuvchi cho'lg'amli transformator va elektr mashinalarida sodir bo'ladigan murakkab jarayonlarni ma'lum tarzda aktiv va induktiv qarshiliklarda ulangan jarayonga olib kelish imkonini beradi.

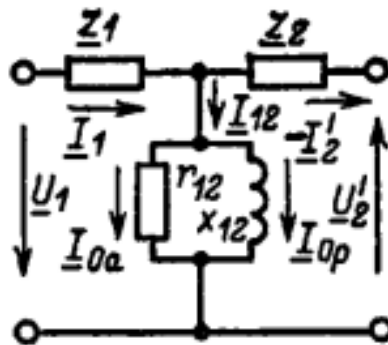
Egallash sxemasida birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar o'rtasida elektr aloqasi mavjud, bu magnit aloqalarni ko'rmaslik imkonini beradi.

(2.21) va (2.28) – (2.30) da magnit simida yo'qotishlar hisobga olinmaydi. Ularni birlamchi cho'lg'amning aktiv qarshiligini r_1 oshirib yoki z_0 ga po'latda yo'qotishlarga ekvivalent, r_0 aktiv qarshilikni kiritgan holda taxminan hisobga olish mumkin:

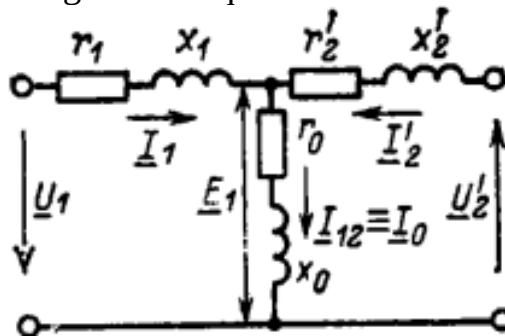
$$z_0 = r_0 + jx_0, \quad (2.36)$$



2.7 -rasm. Transformatorni egallashning T-simon sxemasi



2.8- rasm. Magnitlanish tarmog'ida ikki qarshilikli transformatorni egallash sxemasi.



2.9 -rasm. Transformatorni egallash sxemasining ko'rinishini o'zgartirish bu yerda magnet yo'qotishlar (po'latda yo'qotishlar).

$$I_0^2 \bar{r}_0 = \frac{E_1^2}{Z_0^2} r_0. \quad (2.37)$$

Po'latga yo'qotishlar proporsional $e_1^2 = e_2^2$, chunki $\Phi_m \sim E$, po'latda yo'qotishlar proporsional F_m yoki B^2 . Agar kuchlanishning z_1 ga tushishini hisobga olmasak, po'latga yo'qotishlarni katta aniqlikda U_1^2 kuchlanish kvadratiga proporsional hisoblash mumkin.

Egallashning T-simon sxemasining (2.7 rasm) ko'rinishini ikki qarshilikdan tashkil topgan magnitlanish tarmog'ini keltirgan holda o'zgartirish mumkin.

Egallash sxemasidan 2.8 rasm.

$$I_{0E} = \frac{E_1}{r_{12}}; \quad (2.38)$$

$$I_{0p} = \frac{E_1}{jx_{12}}; \quad (2.39)$$

2.8 rasmda magnitlovchi kontur parametrlari r_{12} va jx_{12} yo'naltirilgan parametrlar ko'rinishida keltirilgan. Aslida ular taqsimlangan. (2.38) va (2.39) ifodalardan foydalanib, magnitlovchi konturning aktiv va reaktiv qarshiligi ketma-ket ulangan sxemaga o'tish mumkin (2.9 rasm). Egallashning bu sxemasida $z_1 = r_1 + jx_1$; $z_2 = r_2 + jx_2$; $z_0 = r_0 + jx_0$. 2.9 rasmdagi sxemaga birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarning aktiv qarshiliklari r_1 va r_2 , birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarning yoyilishiga induktiv qarshiliklar x_1 va x_2 , shuningdek po'latdagi yo'qotishlarga ekvivalent qarshilik, r_{12} va o'zaro induksiya qarshiligi x_{12} kiradi.

O'rnatilgan rejim tenglamasi, vektor diagramma va egallash sxemasi o'rnatilgan rejimda transformator ishini tahlil qilish imkonini beradi.

$z_n = \infty$ bo'lganda, transformatorning erkin yurishi o'rinli ($I_2 = 0$). Bunda transformator tarmoqdan transformatorida maydon yaratish va po'latda yo'qotishlarni qoplashga ketaigan erkin yurish tokini iste'mol qiladi. Erkin yurish toki asosan reaktiv tarkibga ega.

Ikkilamchi cho'lg'amda yuklanish bo'lganida yuklanish oshganida o'sadigan I_2 tok o'tadi. Birlamchi cho'lg'amda yuklanish oshganida shuningdek I_1 tok o'sadi, bunda I_2 va I_1 toklari qarshi yo'nalishlarga ega va ularning summasi deyarli o'zgarmaydi (2.30 rasm). bu transformator tenglamasining geometrik interpretatsiyasi hisoblanadigan vektor diagrammada (2.4 rasimga qarang) yaxshi ko'ringan. Erkin yurish toki I_0 yuklanish bo'lganda o'smaydi va hatto birlamchi cho'lg'amda kuchlanish pasayishi tufayli kamayadi. Ikkilamchi cho'lg'amda yuklanish o'zgarganida tarmoqdan iste'mol qilinadigan birlamchi cho'lg'am quvvati o'zgaradi, transformatoridagi F_m oqim esa deyarli o'zgarmaydi, chunki vektor diagramma va egallash sxemasidan ko'rinib turibdiki E_1 va E_2 ($E_1 = E_2$) deyarli o'zgarmaydi, chunki birlamchi cho'lg'amda kuchlanish tushishi kichik.

Sig'imli yuklanishda reaktiv quvvat transformatorga ikkilamchi cho'lg'am uchlaridan keladi. $\varphi_1 = 1$ bo'lganida U_1 tarmoqdan reaktiv quvvat kelmaydi, transformator reaktiv quvvati esa U_2 tarmoqdan keladi.

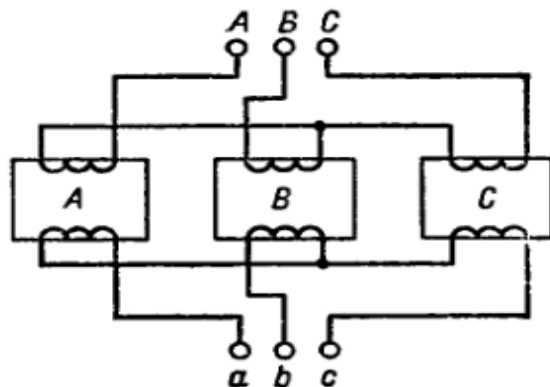
Ikkilamchi cho'lg'amda sig'im oshganida reaktiv quvvat nafaqat transformatorida maydon yaratishga ketadi, balki U_1 tarmoqqa keladi.

Nazorat savollari.

1. Transformatorni egallashning T-simon sxemasini tushuntiring va parametrlarini bog'lang?
2. Magnitlanish tarmog'ida ikki qarshilikli transformatorni egallash sxemasini tushuntiring va parametrlarini bog'lang?
3. Transformatorni almashtirish sxemalari va tenglamalaridagi yoqotishlar bog'liqligini ko'rsating?

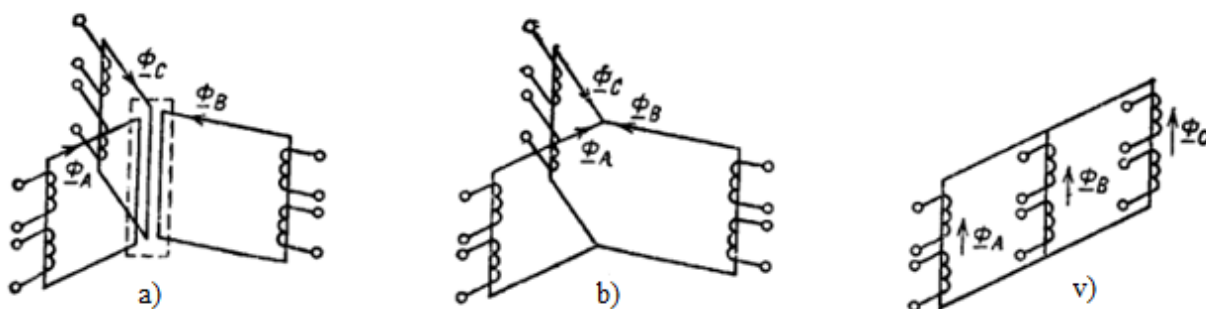
2.5.Uch fazali transformatorlar.

Uch fazali transformatorlar energiya tizimini taqsimlovchi tarmoq hisoblanadi. Shuning uchun yuqori kuchga ega bo'lgan transformatorlar uch fazali transformatorlardir. Uch fazali transformatorni qo'llashda uchta bir fazali transformatoridan foydalanish mumkin (rasm 2.10).



2.10-rasm. Uchta bir fazali transformator to'plami

Uchta bir fazali transformatorni magnit tizimni qo'llash orqali uch fazali transformator hosil qilinadi (2.11 a rasm). Shunday qilib uch fazali sistimaga $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$ uchta asosiy bir xil chiziq bo'ylab ulansada ular bir biriga qo'shilib ketmaydi (2.11 b va v).



2.11-rasm.Uchta bir fazali transformatoridan bitta uch fazali transformator hosil qilish.

Uch fazali transformatorlar asos bilan qabul qilishi keng tarqalgan bir tekislikda yotqiziladi. Eksplatatsiyada katta ahamiyatga ega bo'lsada odatda ula katta simmetriyaga ega emas. Chetdagi asosga qaraganda bir nechta shartlar orqali o'rtadagi fazaga qoyiladi .

Chetdagi magnitlovchi fazalar o'ralgan g'altakchaga qaraganda 10-15% ga farq qiladi .Muallaq xolatdagi bu toklar simmetrik shakli hosil qiladi. Xozirda transformatorlarda asos 120° ga o'z joyidan siljigan xolda ishlab chiqariladi. Uch fazali transformatorlar uchta bir fazali transformator qo'shilishi asosida tashkil etilgan shuning uchun uning ishchi dasturi xuddi uchta bir fazali transformatordek ishlaydi. Uch fazali transformator fazalari uchun o'zgaruvchan miqdorning cheksiz kichik orttirmasi va majmuasi darajasida diagramma va sxema qo'shilgan bir fazali

transformator uch fazali transformator uch fazali transformatorlarda ish jarayoni ko'plab xollarda bir fazaliklar uchun o'zgariladi yani boshqa fazalar vaqt o'tgan sari sijish xosil bo'ladi.

Kuchlanish transformatori uchun uch fazali transformatorlar sistimasida xuddi bir fazali transformatorlar guruxiga kiradigan umumiy magnitli tizimdan foydalaniladi. Uchta bir fazali transformator engil va quvvatliroq. Uch fazali transformatorlarni tayyorlash jarayonida xomashyo va ishchi kuchlari tejaladi.

Yuqorida aytilganlar nafaqat uch fazali balki ko'p fazali transformatorlarga kam tegishli keyingi jarayonlar xam bir fazali transformatorlarga muvofiq ko'rib chiqariladi. 6 va 9 fazali transformatorlar kamroq qo'llaniladi.

Nazorat savollari.

1. Uchta bir fazali transformator to'plamini tuzilishini tushuntiring?
2. Uchta bir fazali transformatoridan bitta uch fazali transformator hosil qilishni tushuntirib bering?
3. Ko'p fazali transformatorlarni afzalligi nimada ekanini tushuntiring?

2.6. Transformator parametrlarning almashtirish sxemalar.

T-shaklli chizma transformatorlarda uchta qo'shilma qarama qarshilikda tuzilgan Z_1 Z_2 Z_{12} yani faol va o'zgaruvchan tok hosil qilingan magnit dastagi mashinasi qarama qarshi sxema aniqlashi tajriba va xisob kitoblar yo'li orqali amalga oshiriladi. Qo'shilgan sxema parametrlarini aniqlash uchun ikkita tajribali usuldan foydalanish mumkin. Bo'sh kitob yo'li bilan aniqlaganda bo'sh xolat tizimi va qisqa tutashuvni kuzatish mumkin.

Transformatorning salt ishlash xolati.

Transformatorning salt ishlash xolatdagi tengligi $I_2=0$ va $Z_B=\infty$ bo'lganda

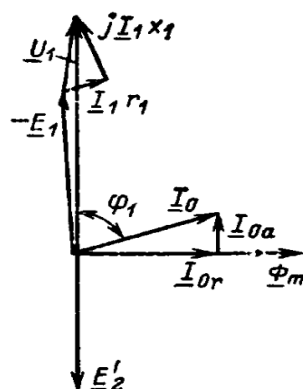
$$U_1=-E+I_1Z_1; \quad (2.40)$$

$$U_2=E_2; \quad (2.41)$$

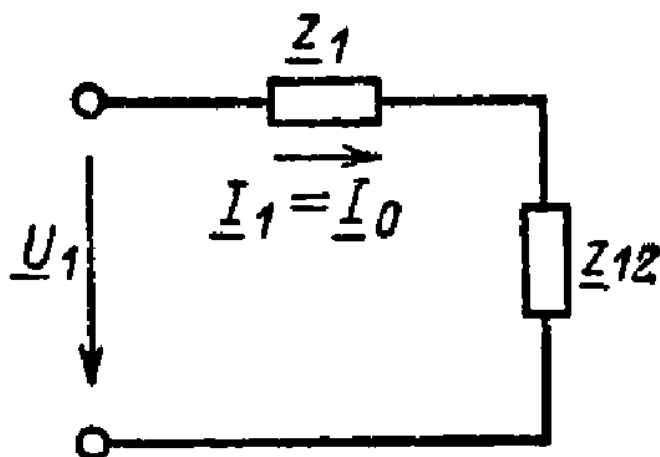
$$I_0=I_2. \quad (2.42)$$

Shu formulani kuzatish mumkin.

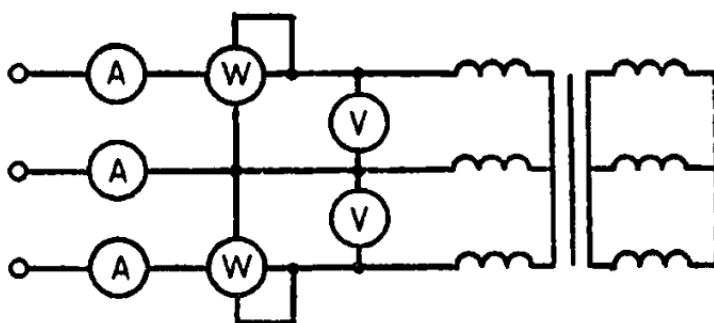
Vektor diagramma transformatorlarning salt ishlash xolati 2.12 rasmda ko'rsatilgan. Transformatorning birinchi cho'lg'amiga boshqarilgan zo'riqish chegaralanadi (0,3:-1,2). U – birinchi cho'lg'amni bo'sh xolatda ishlashi ikkinchi cho'lg'am tomonidan amalga ishirilishi mumkin.



2.12-rasm. Salt ishlash xolatdagi qo'shma sxema T-shaklli sxemadan olingan bo'lishi mumkin; agar shunday xisoblasak $I_2=0$



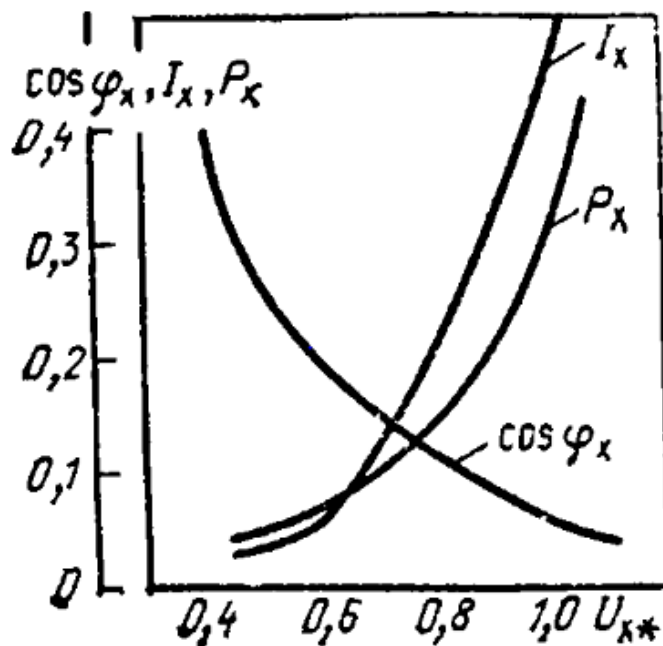
2.13-rasm. Uch fazali transformatorlarning salt ishlash xolatini kuzatish mumkin



2.14-rasm.

Tajriba amalga oshirilganda odatda quvvatlanishi past zo'riqish bilan amalga oshiriladi.

Tajribada salt ishlash jarayoni ko'rish mumkin. Bunda tokning bo'sh xolatdagi mos kelishi I_x , salt xolatning yo'qolishi P_x (2.15 rasm).



2.15-rasm.

Birinchi navbatda bo'sh xolatda bo'sh xolatdagi tok U_x ga bog'liq, $U_x = (0,6:-0,8) U_{nom}$ liniyaning bog'liqligiga bo'y sunishiga olib keladi. $U_x = (1,1:-1,2)$ transformatorning nagnit tizimi o'tkazilganda reaktiv quvvat ko'payadi, shuning uchun $\cos \varphi_x$ o'sishi bilan zo'riqish xosil bo'ladi.

P_x - salt xolatdagi yo'qotilishi bu transformatorning magnit maydon yo'tilishi. Salt xolatdagi tok transformatorning 0,8-10 % kuchini xosil qiladi. Transformatorlarda 200000-630000 kVA tok 0,5- 0,4 % ni hosil qiladi. Shuning uchun energiya yo'qotish $10^2-5 \times 10^4$ marta kamayadi.

Salt xolatdagi yo'qotish bu stolni to'qotilishiga olib keladi. Salt ishlash xolatdagi yo'qotilishni aniqlab P_x , qo'shma sxemada r_0 stoldagi ekvivalent yo'qotilishini faol qiyoslashda ko'rish mumkin. $P_x = mlx^2 (r_1 + r_0)$ lekin $r_1 \ll r_0$ shuning uchun shunday deyish mumkin $P_x = ml_2 z_0$, $z_0 = U_x / I_x$ - o'zaro qarama-qarshi to'liq qarshilik $r_0 = P_x / ml_x^2$ aniqlanadi.

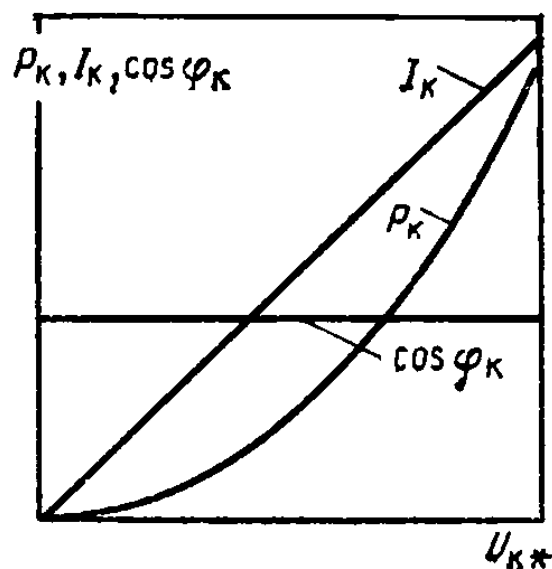
$$x = \sqrt{z_1^2 - r_{02}^2}. \quad (2.44)$$

va r_2 cho'lg'amga doimiy taminlaydi.

Cho'lg'amani doimiy tok bilan oziqlantirishda r_1 va r_2 transformatorning 1- va 2- cho'lg'ama qarshiliklar faoldir. Faol yoki to'g'riroq aytganda omix qarshiliklar tokning doimiy quvvatini bo'lish qarshiligi transformatorning ko'chish sxema qarshiligi $z_0 x_0$ va quvvatga bog'liq U_x ning o'sishi z_0 va x_0 kamayadi va tok ortadi.

Transformatoridagi to'yinish bu vm induksiyasi- U_x cho'lg'amalardagi quvvatga bog'liq. Sim cho'lg'amalarning fazasi va magnitiga bog'liq. Po'latdagi yo'qotish B2 va F darajaga proporsional. po'latdagi to'qotishni kamaytirishda 1-navbatda magnitdagi sterjindagi induksiyaning kamaytirish kerak.

$U_x = U_{NAM}$ $Z_0 \approx X_0 = 33 \div 330$ va $r_u = 5 \div 65$ keying



2.16-rasm.

sonlar kuchli transformatorga tegshli R_1 va X_1 qarshilig R_0 X_0 ning qarshiligidan 100 marta kam kuchli transformatorlar uchun katta aniqlik bilan siljish sxema parametrlarini aniqlanadi xolostoy xolada magnitlarga kontur parametrlarga qarab xolostoy xolattajribasidan transformatorning koiffisenti aniqlanadi quvvatni 1-va 2-orama quvvatidagi munosabati singari

$$n_{12} = U_1/U_2. \quad (2.45)$$

sxemadagi induktiv qarshiliklar tajriba asosida topilgan.

Qisqa tutashuv tajribasi.

Tajriba birlamchi o'rashga va qisqa tutashgan ikkilamchi o'rashga qo'llaniladigan kamaytirilgan kuchlanish bilan amalga oshiriladi (2.14-rasmga qarang). Bunday holda $U_2 = 0$, va oqimlar I_{nom} ga teng,

$$U_1 = -E_1 + I_1 z_1; \quad (2.46)$$

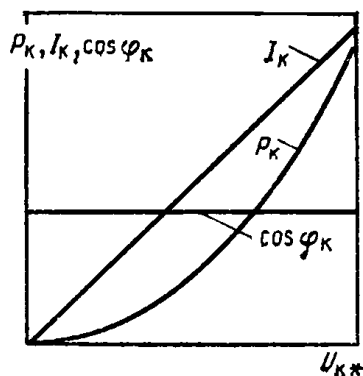
$$0 = E_2 - I_2 z_2; \quad (2.47)$$

$$I_1 = -I_2. \quad (2.48)$$

Past kuchlanishdagi I_0 magnitlangan oqim kichik bo'lgani uchun, qisqa tutashuv tajribasida $I_0 = 0$ deb taxmin qilishimiz mumkin, bu $I_1 = I_2$ ni anglatadi.

Qisqa tutashuv xususiyatlari ko'rsatilgan (2.16-rasm).

Salt ishlash rejimi.



2.16-rasm. Transformatorning qisqa tutashuv xususiyatlari
($P = 100 \text{ kVA}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $U = 6.3-0.22 \text{ kV}$).

Qisqa tutashuv tajribasida transformator to'yinmagan, shuning uchun kuchlanish kuchayib boradigan joriy I_q chiziqli ravishda o'zgaradi. Qisqa tutashuv toklari oqimning kvadratiga mutanosibdir. Kuchlanish o'zgarganda quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_q$ doimiy bo'lib qoladi, chunki faol va reaktiv tarkibiy qismlar o'rtasidagi nisbat deyarli o'zgarishsiz qoladi.

Qisqa tutashuv tajribasidan

$$\cos\varphi_q = \frac{P_q}{mU_qI_q}; \quad (2.49)$$

$$z_q = \frac{U_q}{I_q}; \quad r_q = z_q \cos\varphi_q; \quad x_q = \sqrt{z_q^2 - r_q^2}. \quad (2.50)$$

Tajribani o'tkazayotganda, nominal toklar transformator cho'lg'amlari orqali oqib chiqishini yodda tutish kerak, bu cho'lg'amlarni isitish tufayli o'zgarishi mumkin. Tajriba o'tkazayotganda, cho'lg'amlarning qarshiligini 75^0 C haroratga o'tkazish kerak.

Qisqa tutashuvlar misda tezlashadi. Po'latdagi yo'qotishlarni e'tiborsiz qoldirish mumkin, chunki tajriba nominaldan 10-20 baravar past kuchlanishda amalga oshiriladi va po'latdagi yo'qotishlar kuchlanish maydoniga mutanosibdir. Shuning uchun po'latda qisqa tutashuv tajribasida yo'qotish, qisqa tutashuv tajribasi U_{nom} bilan solishtirganda 100-400 marta kamroq.

Qisqa tutashuv yo'qotilishini formuladan topish mumkin

$$P_q = mU_qI_q \cos\varphi_q = mI_q^2 r_q, \quad (2.51)$$

Bu yerda: $r_q = r_1 + r_2$.

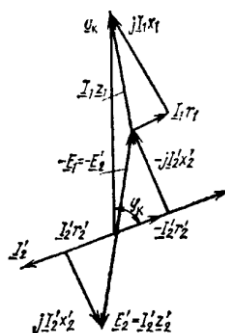
Transformatorlar nazariyasida qisqa tutashuvdagi kuchlanish tushunchasi katta ahamiyatga ega U_q - bu qisqa tutashuv tajribasida transformator cho'lg'amlarida nominal oqimlar oqadigan kuchlanish.

Qisqa tutashuvdagi kuchlanish quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

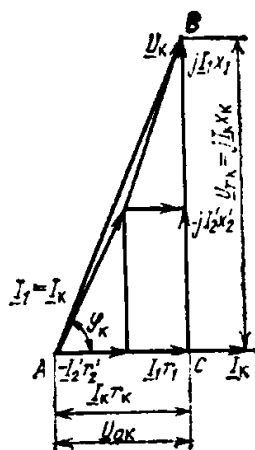
$$U_q = \frac{U_{q.nom}}{U_{1nom}} 100 \%, \quad (2.52)$$

Bu yerda: $U_{q.nom} = I_{q.nom} z_q$, va 75^0 C haroratda qisqa tutashuv z_q -qarshilik.

Quvvat transformatorlari uchun qisqa tutashuvdagi kuchlanish GOST tomonidan aniqlanadi va transformatorning taxtasida (pasportida) taqsimlanadi, U_q transformatorning mis miqdorini aniqlaydi, chunki faol qarshilik r_q cho'lg'amlarning kesishgan qismiga bog'liq. Shuning uchun U_q kattaroq bo'lsa, transformatorning o'lchamlari kichikroq bo'ladi.



2.17-rasm. Qisqa tutashuv uchun vektorli transformator sxemasi.



2.18-rasm. Uch fazali qisqa tutashuv transformatori vektor diagrammasi.

Bundan tashqari, misning yo'qotilishi yuqori va samaradorlik past bo'ladi. Transformator fazasining aylanishlari soni transformator simining kuchlanishiga va kesishgan qismiga bog'liq, chunki transformatorlarni loyihalash paytida ma'lum bir po'lat sinf uchun induksiyaning nominal qiymati keng doirada farq qilmaydi. Qisqa tutashgan kuchlanish transformatorning nominal zo'riqishida qisqa tutashuv paytida zarba oqimlarining qiymatini aniqlaydi. Parallel ishlashi uchun xuddi shunday transformator u_q %. U_q % ni bilish, chunki qisqa tutashuvdagi tokni doimiy va doimiy quvvat bilan ta'minlash mumkin.

Transformatorning chiziqli magnitlanish xarakteristikasini hisobga olib, nisbiy birliklarda yozish mumkin.

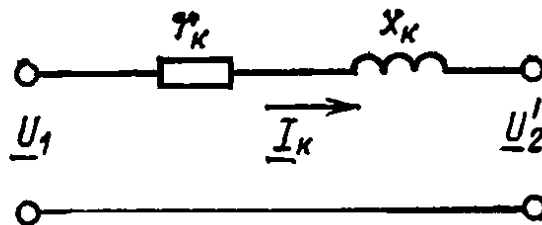
$$I_{q*} = \frac{100\%}{U_q \%}. \quad (2.53)$$

Odatda, transformatorlari uchun U_q % darajasi 4-12% ni tashkil qiladi. U_q % (2.53) dan bilsak, qisqa tutashuvdagi barqaror holatni aniqlash mumkin. Agar $U_q \% = 10\%$ bo'lsa, unda $10I_{nom}$ nominal kuchlanishda I_q .

(2.46) - (2.48) ga muvofiq qisqa tutashuv paytida transformatorning vektor diagrammasi rasm- 2.17. Vektor diagrammasidan

$$z_q = r_q + jx_q; r_q = r_1 + r_2; x_q = x_1 + x_2; I_1 \approx I_2.$$

2.18-rasmda ko'rsatilgandek qisqa tutashuv paytida vektor diagrammasini tiklash orqali siz ABC qisqa tutashuvli uchburchakni olishingiz mumkin.



2.19-rasm. Transformatorning soddalashtirilgan elektr almashtirishi.

Ushbu uchburchakda $AB = u_q$ %. Oyoq $AC = u_{a,q}$, oyoq esa $BC = u_{r,q}$. Qisqa tutashuvdagi kuchlanishning faol komponenti

$$u_{a,q} = \frac{I_{1nom} r_n}{U_{1nom}} 100 \%.$$

Qisqa tutashgan kuchlanishning reaktiv komponenti

$$u_{r,q} = \frac{I_{1nom} x_n}{U_{1nom}} 100 \%.$$

Uchburchak qisqa tutashuvdan

$$u_{a,q} = u_q \cos \varphi_q; \quad u_{r,q} = u_q \sin \varphi_q.$$

Quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_q$ yuqori quvvatli transformatorlarda taxminan 0,1, past kuchlanishli transformatorlarda-0,5-0,6.

Qisqa tutashuv paytida transformatorning xatti-harakatlarini tavsiflovchi (2.46) - (2.48) tenglamalar mos keladigan kontaktlarning zanglashiga to'g'ri keladi (2.19-rasm). $I_0 = 0$ taxminiga binoan olingan ushbu ekvivalent zanjir eng sodda. Yagona qarshilik z_q ko'rinishidagi transformatorning ekvivalent davri energiya tizimidagi transformatorlarning xatti-harakatlarini tahlil qilishda, energiya tizimining bir nechta elementlarini hisobga olish kerak bo'lganda qo'llaniladi.

Ekvivalent zanjir parametrlarini hisoblash yo'li bilan aniqlash.

Transformator chulg'amlarining faol qarshiligi formula bo'yicha aniqlanadi

$$r = \frac{\rho l}{s}, \quad (2.54)$$

Bu yerda: ρ -chulg'am materialini solishtirma qarshiligi, $om \cdot m$; l -chulg'am simining uzunligi, m ; s -chulg'am simining ko'ndalang kesim yuzasi, m^2 .

Transformatorlarni loyihalashda dastlab qisqa tutashuvdagi yo'qotishlar hisoblab chiqiladi, so'ngra birlamchi va ikkilamchi sargilarning faol qarshiligi aniqlanadi. Misda yo'qotishlar $P_m = I^2 r$, oqim zichligi va o'tkazgichning kesimi orqali oqimni almashtirgandan so'ng, biz olamiz

$$P_m = \Delta^2 s^2 \frac{\rho l}{s} = \Delta^2 s \rho l, \quad (2.55)$$

Bu yerda: Δ -tok zichligi, A/m^2 ; sl -simning hajmi, m^3 .

(2.55) ning o'ng tomonini misning zichligiga ko'paytirib va ajratsak ... biz mis yo'qotishlarini olamiz:

$$P_m = \frac{\Delta^2 (sl \gamma_m) \rho}{\gamma_m}. \quad (2.56)$$

(2.56) da almashtirishdan $\gamma_m = 8.9 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$ va $\rho = 0.02135 \cdot 10^{-6} Om \cdot m$, biz olamiz

$$P_m = 2.4 \Delta^2 G_m \cdot 10^{-12}, \quad (2.57)$$

Bu yerda: G_m -chulg'am massasi, kg , $G_m = sl \gamma_m$;

Past kuchlanishli chulg'amini har bir fazasida aylanishlar soni

$$\omega_1 = \frac{U_f}{4.44 f B_{st} S_{st}}, \quad (2.58)$$

Bu yerda: U_f - past kuchlanishli chulg'amning fazaviy kuchlanishi, B ; f - chastotasi, Hz ; B_{st} - yadro induktsiyasi, Tl ; S_{st} -yadro kesim yuzasi, m^2 .

(2.58) dan ω_1 burilish soni eng yaqin butun songa yaxlitlanadi. Shuni ta'kidlash kerakki, past kuchlanishli transformatorlarda bitta aylanishning EYuK darajasi 1-1,5 V ni tashkil qiladi.

$$U_v = \frac{U_f}{\omega_1}$$

Ikkilamchi o'rashning burilishlar soni transformatsiya koeffitsientini bilish orqali aniqlanishi mumkin. Biroq, amaliy hisob-kitoblarda, chulg'amining umumiy massasi va sarg'ishdagi yo'qotish aniqlanadi va keyin topiladi

$$r_q = r_1 + r_2.$$

Alyuminiy chulg'amlar uchun

($\rho_{750} = 34 \cdot 10^{-9} \text{ OM} \cdot \text{M}$, $\gamma = 2.7 \cdot 10^3 \text{ kr/M}^3$) yo'qotish

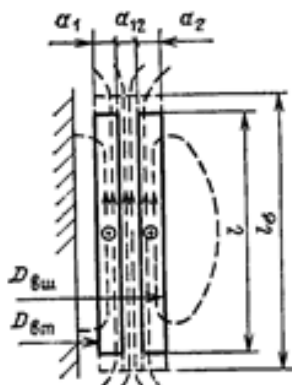
$$P_{al} = 12.75 \Delta^2 G_{al} \cdot 10^{-12}, \quad (2.59)$$

Bu yerda G_{al} - alyuminiy o'rashning massasi.

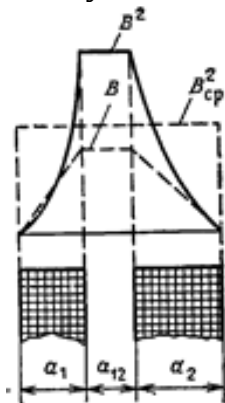
Chulg'amlarning faol qarshiligi iflos oqimlarning ta'siri tufayli taxminan 5% ga oshadi.

x_1 va x_2 ning induktif oqish qarshiligini alohida aniqlash katta qiyinchiliklarga olib keladi va transformatorlarni loyihalashda $x_q = \omega L_q = x_1 + x_2$ ni hisoblash kifoya qiladi. Bundan tashqari, $x_1 \approx x_2$ ekanligiga ishoniladi.

Hisoblash orqali x_q aniqlash V. Rogovskiy tomonidan asrning boshlarida o'tkazilgan va E.G. tomonidan ishlab chiqilgan. Marquardt va G. N. Petrov [10].



2.20-rasm. Tarqaladigan maydon energiyasini aniqlash uchun.



2.21-rasm. Radial chayqalish maydonini taqsimlash.

Belgilangan x_q uchun sochish maydonining energiyasini hisoblash kerak. Oqimlarni $i_1 = -i_2 = i_q$ konsentrik chulg'andan o'tkazing (2.20-rasm) va chiziqli yuk teng taqsimlanadi. Keyin tarqaladigan maydonning energiyasi

$$A_\sigma = \frac{i_q^2 L_\sigma}{2}. \quad (2.60)$$

(2.60) dan tarqoq induksiya

$$L_\sigma = \frac{2A_\sigma}{i_q^2}. \quad (2.61)$$

Tarqaladigan maydonning induksiyon chiziqlari novda o'qiga parallel va bir tekisda joylashgan deb faraz qilsak, tarqaladigan maydonning radial yo'nalishda tarqalishi trapezoidal deb taxmin qilinishi mumkin (2.21-rasm).

Tarqaladigan maydonning energiyasini formuladan ham topish mumkin

$$A_\sigma = \frac{1}{2\mu_0} \int B^2 dV_\sigma = B_{sr}^2 \frac{V_\sigma}{2\mu_0}, \quad (2.62)$$

Bu yerda: B_{sr} - tarqaladigan maydon hajmidagi induksiyaning o'rtacha qiymati; V_σ - sochish maydonining hajmi (2.20-rasm).

Tarqaladigan maydonning hajmi V_σ - taxminiy balandligi l_σ bo'lgan ichi bo'sh silindrning hajmi. Bo'shliq silindrning taxminiy tezligi l (chulg'am) balandligidan biroz katta (2.20-rasm):

$$l_\sigma = \frac{1}{k_R l}, \quad (2.63)$$

Bu yerda k_R - o'rash balandligining o'sishini hisobga oladigan Rogovski koeffitsienti, $k_R \approx 0.93 \div 0.98$. V. Rogovskiyning tadqiqotlari shuni ko'rsatdiki,

$$l_\sigma \approx \frac{l}{\left[1 - \sigma \left(1 - e^{-\frac{1}{\sigma}}\right)\right]}, \quad (2.64)$$

Bu yerda: $\sigma = \frac{a_{12} + a_1 + a_2}{\pi l}$.

Konsentrik chulg'amlarda $\sigma < 0.1$ va

$$l_\sigma \approx \frac{l}{1 - \sigma} \approx l(1 + \sigma) = l + \frac{a_{12} + a_1 + a_2}{\pi}.$$

Tarqaladigan maydon hajmi

$$V_\sigma = \frac{\pi l_\sigma (D_{vsh}^2 - D_{vn}^2)}{4} = 2\pi l_\sigma S R_{sr} = 2\pi l_\sigma \delta R_{sr},$$

Bu yerda: $S = \frac{D_{vt}}{2} - \frac{D_{vsh}}{2} = a_{12} + a_1 + a_2$; $R_{sr} = \frac{D}{2}$ - o'rtacha radius.

Keyin

$$V_\sigma = \pi D_{sr} (a_{12} + a_1 + a_2) l_\sigma. \quad (2.65)$$

2.21-rasmdan ko'rinib turibdiki

$$B_{sr}^2 = B^2 \frac{a_{12} + (a_1 + a_2)/3}{a_{12} + a_1 + a_2}. \quad (2.66)$$

Tarqaladigan maydonning energiyasi umumiy oqim qonunidan kelib chiqib, tarqaladigan maydon hajmida to'plangan.

$$i_k \omega = \frac{Bl_\sigma}{\mu_0} \quad (2.67)$$

Kerak

$$B = \frac{\mu_0 i_k \omega}{l_\sigma}. \quad (2.68)$$

Keyin (2.61) va (2.62) dan keyin (2.66) va (2.68)

$$L_\sigma = \frac{\mu_0 \pi D_{sr} \omega^2}{l_\sigma} \left(a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} \right). \quad (2.69)$$

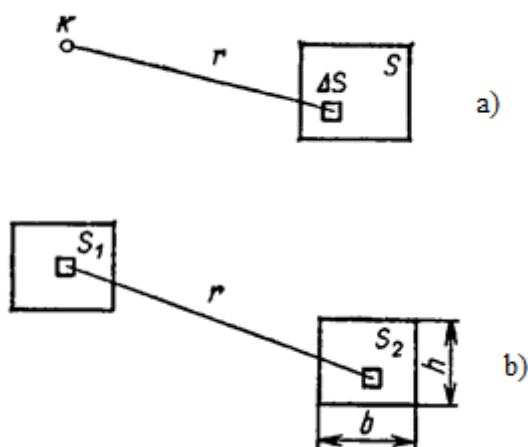
Induktiv qisqa tutashuv

$$x_q = 2\pi f L_\sigma = \frac{7.9 f \pi D_{sr} \omega^2}{l_\sigma} \left(a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} \right) \cdot 10^{-6}; \quad (2.70)$$

Bu yerda barcha o'lchamlar metrlarda ko'rsatilgan.

Yuqoridagi usul bilan L_σ ni hisoblash har doim ham qo'llanilmaydi. Agar o'roqlar ferromagnit novda bir-biriga nisbatan siljish bilan yoki fazoda o'zboshimchalik bilan joylashgan bo'lsa, qiyinchiliklar yuzaga keladi.

x_q ni aniqlashning umumiy usuli bu K. Maksvell tomonidan tavsiya etilgan o'rtacha geometrik masofa usuli hisoblanadi [10].



2.22-rasm. Nuqta va bo'lim orasidagi geometrik o'rtacha masofa.

K nuqtasi va S kesimi o'rtasida bir xil tekislikda joylashgan g geometrik o'rtacha masofani aniqlang (2.22-rasm, a). S qismini m elementar saytlarga ajratib, har bir uchastkaga bo'lgan masofani aniqlab, biz geometrik o'rtacha masofani topamiz:

$$g = \sqrt[m]{r_1 r_2 r_3 \dots r_m} \quad (2.71)$$

Yoki

$$\ln g = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \ln r_k. \quad (2.72)$$

$m \rightarrow \infty$ (2.72) qarash kerak

$$\ln g = \frac{1}{S} \int_S \ln r dS. \quad (2.73)$$

S_1 va S_2 bo'limlari orasidagi geometrik o'rtacha masofa logarifmi (2.22-rasm,b)

$$\ln g = \frac{1}{S_1 S_2} \int_{S_1}^n \int_{S_2}^n \ln r dS_1 dS_2. \quad (2.74)$$

Agar S_1 va S_2 bo'limlari bitta transformator ustunida joylashgan o'rashlarning kesimlari bo'lsa, L_σ formula bilan aniqlanadi.

$$L_\sigma = \frac{\mu_0}{2\pi} \omega^2 \ln \frac{g_{12}^2}{g_1 g_2}, \quad (2.75)$$

Bu yerda g_{12} — S_1 va S_2 bo'limlari orasidagi geometrik o'rtacha masofa; g_1 va g_2 — geometrik S_1 va S_2 bo'limlarining o'zlaridan masofa.

g_1 va g_2 masofalari, tegishli ravishda, S_1 va S_2 kesimlari bo'ylab dS_1 va dS_2 harakatlari bilan olinadi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, qismning geometrik o'rtacha masofasini formuladan topish mumkin

$$g = k(b + h), \quad (2.76)$$

Bu yerda: $k = 0.223$ va faqat k chorak belgisi b / h nisbatiga bog'liq.

Agar biz tarqaladigan maydonni tekislikka parallel deb hisoblasak, o'rtacha geometrik masofa usuli induktiv tarqalish qarshiligini aniqlash bilan bog'liq ko'plab muammolarni yechishga imkon beradi.

O'zaro induksiyon qarshiligining faol va reaktiv tarkibiy qismlarini aniqlash uchun $z_{12} = r_{12} + jx_{12}$, ochiq kontaktlarning zanglashiga olib keladigan oqimning faol I_{0a} va reaktiv I_{0r} komponentlarini bilish kerak. 2.8-rasmga muvofiq magnitlanish filialining faol r_{12} va reaktiv x_{12} qarshiligi bo'ladi

$$r_{12} = \frac{E_1}{I_{0a}}; \quad (2.77)$$

$$x_{12} = \frac{E_1}{I_{0r}}. \quad (2.78)$$

I_{0a} ni aniqlash uchun transformator po'latidagi yo'qotishlar $\sum p_m G_m$, qismlari va tayoqlarning massasini va berilgan yo'qotishlarni aniqlab, oldindan hisoblab chiqiladi:

$$I_{0a} = (\sum p_m G_m) / mE_1, \quad (2.79)$$

Berilgan induktsiyadagi p_m — ga xos yo'qotishlar, Vt / kg; G_m — bu ma'lum yo'qotishlar qabul qilinadigan magnit pallasining qismi massasi.

Ochiq kontaktlarning zanglashiga olib keladigan I_{0r} reaktiv tarkibiy qismni hisoblash uchun avval reaktiv magnitlanish kuchini $p_m G_m$, so'ng esa tokni aniqlash kerak:

$$I_{0r} = \frac{\sum p_r G_m}{mE}, \quad (2.80)$$

Bu yerda p_r — o'ziga xos magnitlanadigan kuch, V * A / kg.

Maxsus yo'qotishlar p_r va o'ziga xos magnitlangan kuch p_r qiymatlari magnit pallasining har bir bo'limining induktsiyasiga qarab tegishli jadvallardan (masalan, [29]) topiladi.

Agar biz transformatorlarning parametrlari va yo'qotishlarini nisbiy birliklarda ifodalasak, ular kichik diapazondagi transformatorlar uchun farq qilishini ta'kidlashimiz mumkin, ammo oqim, yo'qotish va qarshiliklarning imkoniyatlari va haqiqiy qiymatlari kattalikning bir necha darajalari bo'yicha farq qiladi. Shunday qilib, 25 dan 50 000 kV * A gacha bo'lgan uch fazali kuch transformatorlari uchun

$$\begin{aligned} I_{0*} &= 0.03 \div 0.003; P_{S*} = P_{0*} = 0.005 \div 0.0006; P_{E1*} = P_{E2*} = P_{q*} \\ &= 0.25 \div 0.0025; x_{\sigma 1*} = x_{\sigma 2*} = 0.03 \div 0.07; z_{0*} = x_{0*} \\ &= 33 \div 330; r_{1*} = r_{2*} = 0.0125 \div 0.00125; r_{0*} = 5.5 \div 65. \end{aligned}$$

Bu yerda ko'proq kuchli transformatorlar faol qarshiliklarning past qiymatlariga va induktiv qarshilikning yuqori qiymatlariga mos keladi. Nisbiy birliklardan foydalanganda berilgan ikkilamchi miqdorlarning zarbalari qo'yilmaydi.

Qoldiq birliklarda faol qarshilik po'latdagi yo'qotishlarni va misdagi yo'qotishlarni namoyish etadi:

$$\begin{aligned} r_{12*} &= \frac{r_{12}}{z_n} = \frac{P_{st} I_{1nom}}{3 I_0^2 U_{1nom}} = \frac{P_{st}}{3 U_{1nom} I_{1nom}} \left(\frac{I_{1nom}}{I_0} \right)^2 = \frac{P_{st*}}{I_{0*}}; \\ r_{1*} &= \frac{r_1}{z_n} = \frac{3 r_1 I_{1nom}^2}{3 U_{1nom} I_{1nom}} = \frac{P_{E1}}{S_{1n}} = P_{E1*}; \\ r_{2*} &= \frac{r'_2}{z_n} = \frac{3 r'_2 I_{1nom}^2}{3 U_{1nom} I_{1nom}} = \frac{P_{E2}}{S_{1n}} = P_{E2*}. \end{aligned}$$

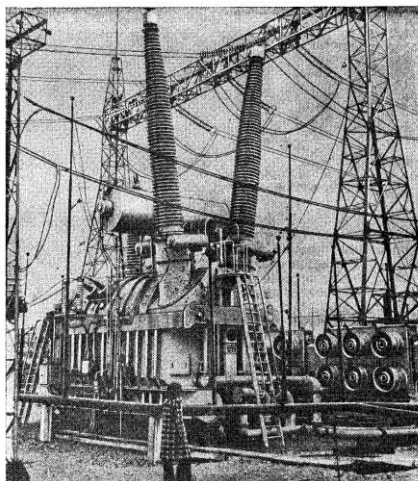
Nazorat savollari.

1. Transformatorlarni almashtirish sxemasidan nima maqsadda foydalaniladi?
2. Transformatorlarni salt ishlash tajribasidan qaysi parameter aniqlanadi?
3. Transformatorlarni qisqa tutashuv tajribasidan qaysi parameter aniqlanadi?

2.7.Transformatorlarning konstruksiyasi.

Transformatorning dizayni uning maqsadi va ko'lamiga bog'liq. Biroq, deyarli barcha transformatorlarda bir xil asosiy tarkibiy elementlar mavjud magnit tizim va chulg'amlar.

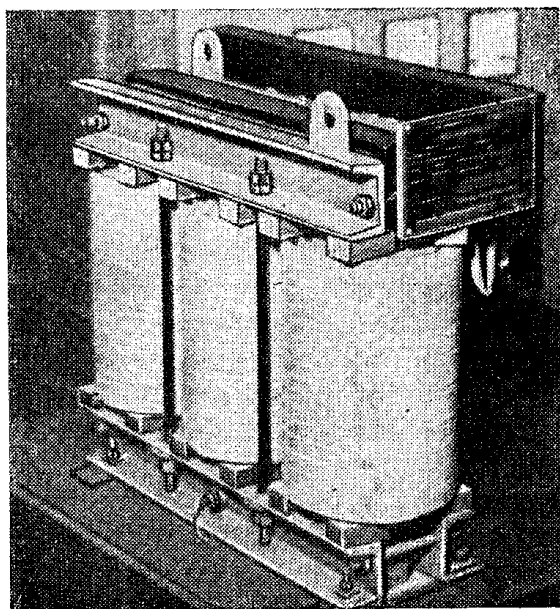
Elektr energiyasini uzatish va uni iste'molchilar o'rtasida taqsimlashga xizmat qiluvchi kuch transformatorlari eng ko'p ishlatiladigan hisoblanadi. Umumiy maqsadga mo'ljallangan quvvat transformatorining faol qismi (magnit tizimli chulg'amlar), qoida tariqasida, transformator moyi bo'lgan tankga botiriladi. Bunday transformatorlarga yog' to'ldirilgan yoki yog' bilan to'ldirilgan deyiladi (2.23-rasm). Chulg'amlarni va magnit pallani yuvadigan transformator yog'i jonli qismlarning elektr izolatsiyasini yaxshilaydi.



2.23-rasm. Transformator tashqi ko'rinishi.

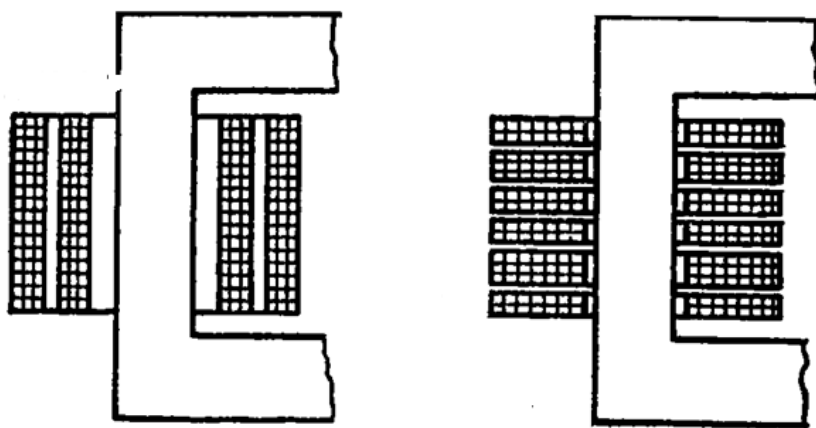
2.23-rasm bir fazali kuch transformatorining tuzilishi ko'rsatilgan. Transformatorning asosiy qismlari uning magnit o'tkazgichi bilan cho'lg'amlaridir. Transformatorning magnit o'tkazgichi qalinligi 0,35 yoki 0,5 mm li elektrotexnikaviy polat listlardan tayorlandi. Yig'ish oldida listlarning ikkilatomoniga lak surtib bir-biridan izolatsiya qilinadi. Magnit o'tkazgichning bunday konstruksiya undan hosil boladigan uyrma toklarni anchagina susaytirishga imkon beradi

Katta quvvatli transformatorlarda magnit o'tkazgichning konstruksiyasi bron sterjenli qilinadi bunda elektrotexnikaviy polat koproq sarflanasa ham lekin u magnit o'tkazgichning balandligini $[H_{bc} > H_c]$ va binobarin transformatorning ham balandligini kamaytirishga imkon beradi. Bu holdantransformatorni yig'ilgan holda bir joydan ikkinchi joyga tashishda katta ahamiyatga ega.

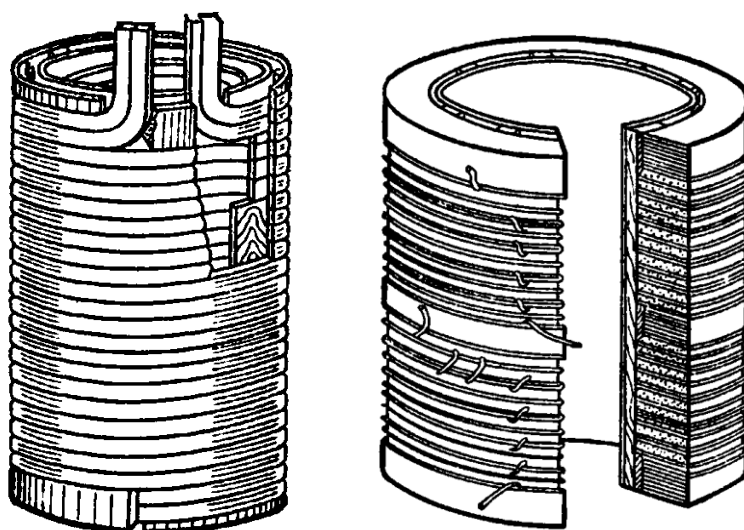


2.24-rasm. Bir fazali transformatorning sterjen tipidagi magnit o'tkazgichi.

Magnit o'tkazgichning bunda konstruksiyasi cho'lg'amlarni sterjenga o'tkazishni osonlashtiradi, chunki buning uchun yuqori yarmoni olish kifoya.

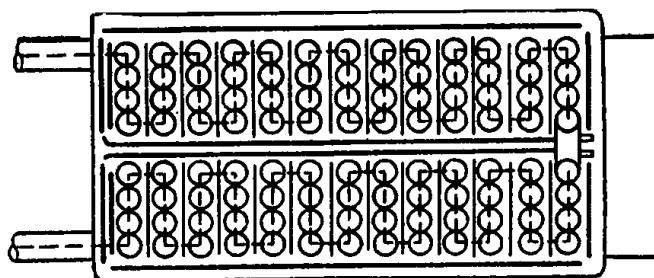


2.25 rasm. Chulg'am turlari.



2.26-rasm. Ventilyasion kanalli sterjenlar. 2.27-rasm. Silindr shaklidagi ikki qatlamli PK cho'lg'ami.

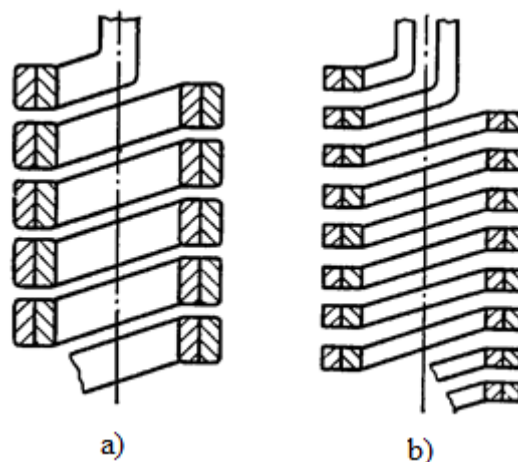
Diskaviy cho'lg'amlarida disksimon g'altak (PK va YUK) lar sterjenlarda navbatlashib keladigan tartibda joylashtiriladi. Diskaviy cho'lg'amlar tayyorlash konstantrik cho'lg'amlar tayorlashga qaraganda ko'p mexmat talab etiladi va mexanikaviy mustaxkamligi xam kamroq boladi. Shuning uchun transformatorlarda ko'proq konsentrik cho'lg'amlar ishlatiladi.



2.28-rasm. O'zaro almashinadigan dumaloq disk diskleri.



2.29 -rasm. Cho'lg'amdagi uzluksiz va to'qilgan cho'lg'amlar joylashuvi.



2.30 -rasm Vintli cho'lg'amlar.

To'qilgan cho'lg'am kavsharlarsiz ketma-ket ulangan g'altak qatorlaridan tuzilgan. G'altakda cho'lg'amlar soni 30 dan 150 gacha bo'ladi. G'altakdagi cho'lg'amlar spiral bo'yicha yon tomoni bilan radial yo'nalishda o'raladi. G'altak uzun va yupqa taxtachaga o'raladi.

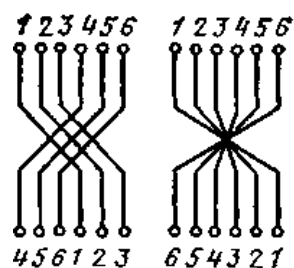
Har bir cho'lg'amcho'lg'ami bir yoki bir nechta parallel simlardan tashkil topgan bo'lishi mumkin. To'qilgan cho'lg'am, cho'lg'amdagi uzluksiz birin ketin joylashgan cho'lg'amlardan farq qiladi (2.29 b).

Agar uzluksiz cho'lg'amdagi cho'lg'amalar ketma ketligi $1, 2, 3 \dots n$ bo'lsa, unda to'qilgan cho'lg'am uchun $1(n/2+1); 2(n/2+2); 3(n/2+3) \dots m(n/2+m)$; bu yerda: n – juft g'altaklar soni; m – cho'lg'amlarning tartib raqami;

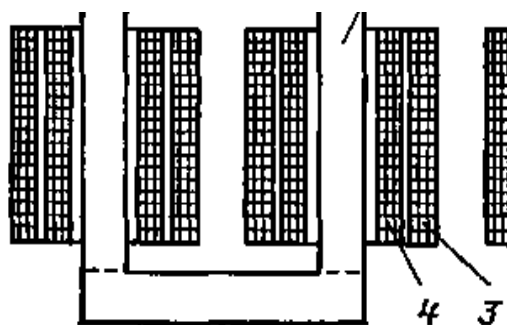
To'qilgan cho'lg'amda, ketma-ket cho'lg'amga nisbatan qo'shni cho'lg'amlar orasidagi kuchlanishlar farqi $n/2$ marta katta. To'qilgan cho'lg'amlar kuchlanishi 110 – 1200 kv gacha bo'lgan quvvat transformatorlarida keng qo'llaniladi.

Vintli cho'lg'am (2.30) cho'lg'am qatorlaridan iborat. Katta quvvatli transformatorlarda parallel o'tkazgichlarga ko'plab duch kelish mumkin. Vintli cho'lg'amlar bir, ikki va ko'p xodli bo'ladi. Sovutish uchun kanallar xuddi uzluksiz cho'lg'amdagidek bo'ladi. Agar cho'lg'amlar parallel joylashgan va sterjendan turlicha uzoqlikda joylashgan bo'lsa, unda ularning ulanishlari farqli tomonga yo'nalgan va ularning EYUK lari ham farqli bo'ladi. Parallel o'tkazgichlar turli xil induktiv qarshilikka ega va toklari ham teng tarqalmaydi. Cho'lg'amdagi parallel sohalarda toklarning teng tarqalishini ta'minlash uchun qarshiliklarni bir xil yoki bir biriga yaqin qilish kerak. Buning uchun parallel o'tkazgichlarda transpozitsiya bajariladi. Umumiy transpozitsiyada har bir o'tkazgich hamma holat bilan navbatma navbat shug'ullanadi. Qisman transpozitsiyalash bir qancha yerda amalga oshadi va qarshiliklar tenglashadi (rasm 2.31).

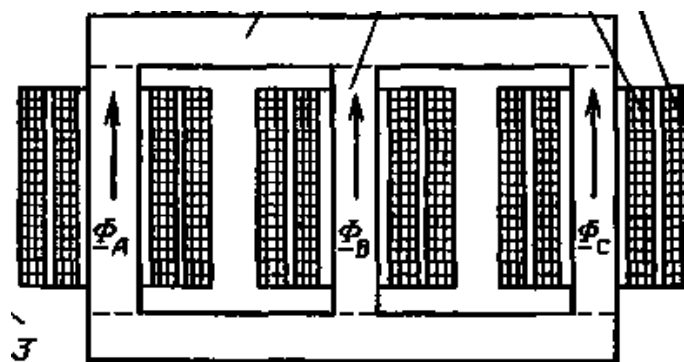
Katta kuchlanishli transformatorlarda va avto transformatorlarda cho'lg'am ishlarida qiyinchilikni pasaytirish uchun o'tkazgichlarni transpozitsiyalash keng qo'llaniladi. Transpozitsiyalangan sim transpozitsiyalangan parallel o'tkazgichdan quriladi.



2.31 –rasm. Qisman transpozitsiya sxemasi.



2.32 –rasm. Bir fazali transformatorning sterjenli konstruksiyasi.



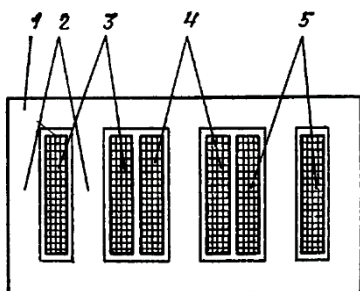
2.33 –rasm. Uch fazali transformatorning sterjenli konstruksiyasi.

Oxirgi paytlarda cho'lg'am uchun sifatli o'tkazgich materiali sifatida alyuminiy folga qo'llanilmoqda. Solishtirma qarshilik alyumin simda, mis simga nisbatan 64 % ko'proq. Alyumin folgalardan foydalanish cho'lg'amdagi sovutishni kuchaytirayotganda, undagi gabaritlarni kichraytiradi, bu esa g'altakdagi haroratni bir xil taqsimlanishini ta'minlaydi. Transformator magnit sistemasi konstruksiyaini ikki asosiy tipga ajratish mumkin: bular sterjenli va bromli.

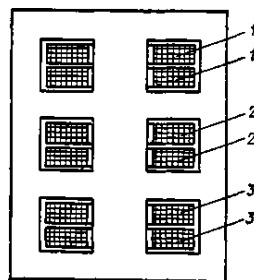
Kuch ransformatorlari uchun magnit sistemaning sterjenli tipidan foydalaniladi. Bir fazali sterjenli transformatorlar ikki sterjendan 2, ko'tarib turuvchi cho'lg'am 3, 4, uch fazali esa uchta sterjendan iborat. Sterjenlar Yuqori va quyi yarmalarga birlashtiriladi 1 (rasm 2.32 va 2.33).

Bir fazali bronli transformator bitta sterjen 2 va ikkita yarma 1, yopiq cho'lg'amlardan iborat (2.34).

Uch fazali bronli transformator uchta bir fazali hisoblanadi agar ular bir biriga ustma ust qo'yilganda (rasm 2.35) .



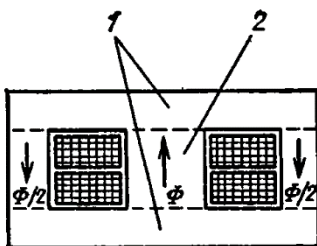
2.34 -rasm. Bir fazali transformator
1,2,3 – past kuchlanishli fazalar.
1`, 2`, 3` - Yuqori kuchlanishli fazalar.



2.35 -rasm. Bronli uch fazali transformator bron konstruksiyasi.

Quvvati 100 MVA va kuchlanishi 220 kv va undan yuqori bo'lgan uch transformatorlarida bronsterjenli yoki ko'p sterjenli konstruksiyalar qo'llaniladi (rasm 2.36).

$$\Delta P_{CT} = \Delta P_{xx}, \text{ kVt}; \quad (2.80)$$

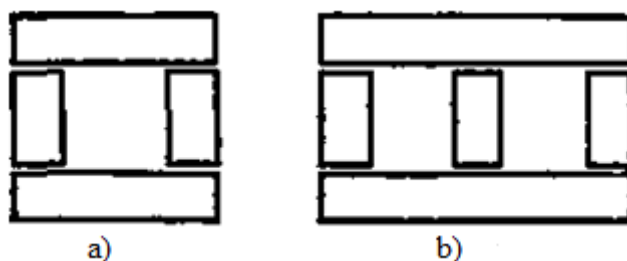


2.36 -rasm. Uch fazali transformator:
1 – yarma; 2 – Sterjen; 3, 4, 5 – A, B, C faza kuchlanishinig pastki va yuqori kuchlanishlari.

Sterjenlar o'zining joylashishiga ko'ra magnit sistemasining joylashiga ko'ra tekiz va fazoviy vazifalarni bajaradi. Kerakli xom ashyo toifasida asos qilib, qayta ishlangan 333 markadagi po'lat ishlatiladi. Ular zavodlarga cho'lg'am sivatida etkaziladi. Po'latning qalinligi 0.3 – 0.35 – 0.5 mm gacha bo'ladi. 0.3 0.35 qalinlikdagi po'latlar elektr o'tkazuvchan issiqlikga chidamli qatlamga ega. Lekin 0.5 mm qalinlikdagi p esa elektr o'tkazuvchanlik qolibga ega emas. Bunday po'latning ishlatilishi magnit o'tkazuvchi tranlarning magnit induksiyasini 0.7 – 0.8 Tl gacha ko'tardi. Shu bilan birgalikda salt ishlash tokining ish faoliyatini pasaytirdi. Sterjenlar va yarmolarning birlashtirilishi quyidagilarga bo'linadi: uchma – uch ulash, shixtali va quyma ulash.

Uchma – uch ulash konstruksiyalarda (2.37) Sterjen va yarmolar alohida alohida yig'iladi va bir biriga mustahkamlovchi shpilkalar bilan birlashtiriladi. Ustunlar

o'rniga izolyasiyalangan yostiqlar quyiladi. Ular sterjen va yarmoning qisqa tutashuvidan saqlaydi. Uchma– uch ulangan konstruksiyalardagi magnitsiz tirqishlar magnit qarshilikni kuchaytiradi. Ular esa salt ishlash tok kuchini kuchaytiradi. Shunig uchun ham uchma uch biriktiruvlar juda kam qo'llaniladi. Shixtalangan konstruksiyalar (2.38). Sterjen va yarmolar alohida element hisoblanmaydi. Ularning plastinalari esa birin ketin to'qiladi (shixtalanadi).

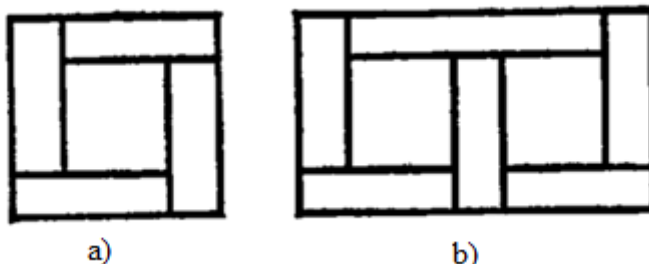


2.37 –rasm. Uchma – uch ulangan magnet o'tkazgichlar:
a – bir fazali; b – uch fazali

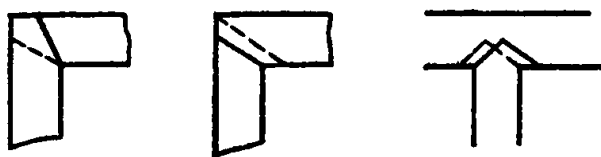
Birinchi izolyatsiya



Ikkinchi izolyatsiya



2.38 –rasm. Po'lat listdan tayyorlangan shixtali magnetli o'tkazgich;
a-bir fazali b-uch fazali.



2.39 –rasm.Egri bog'lanish.

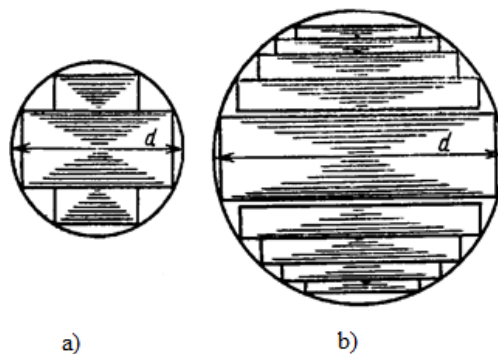
Magnet sistemasi alohida qatlardan yig'iladi. Ular bitta yoki bir nechta bo'lishi mumkin. Shixtovlangan konstruksiyalar shakliga ko'ra to'g'ri va egri ustunlarda bo'ladi. Bunday konstruksiyalar magnit zanjirini tejash uchun ham ishlatiladi. Egri ustunlik shixtovlangan konstruksiyalar salt ishlash elektr tokining kamayishiga olib keladi.

Sterjenlarning to'g'ri kesilganligi uning cho'lg'amiga qarab aniqlanadi. Chunki transformatlarning kuchli cho'lg'ami silindr shaklida bo'ladi. Sterjenlar tuzilishiga

ko'ra aylana plastinalardan tashkil topgan. Bu plastina disklar bir xil aylanada va bir xil qalinlikda bo'lishi kerak. Ular takma-tak joylashtiriladi (2.40). D sterjenning diametrining kengayishi bilan ketma-ket kelayotgan diskarning soni ham o'zgaradi. Kuchli transformatorlarda ularning soni 15 ta va undan ham ko'proq bo'lishi mumkin. Disklar soni qanchalik ko'p bo'lsa, Transformatoridagi magnit o'tkazuvchanlik quvvati shuncha ko'p bo'ladi. Transformatoridagi sterjen diametr D_v bilan o'lchanadi. Shuning uchun sterjen uchun eng yaxshi hom ashyo po'lat hisoblanadi. Kesimning ishlatilishi quyidagi koeffitsient birligi bilan xarakterladi

$$k_i = \frac{S_{st}}{\pi D_{vt}^2}, \quad (2.81)$$

Bunda S_{st} -sterjendagi qo'rg'oshin o'lchami D_{vt} -Sterjen aylanasi ga eng yaqin joylashgan diametr birligi (2.40).



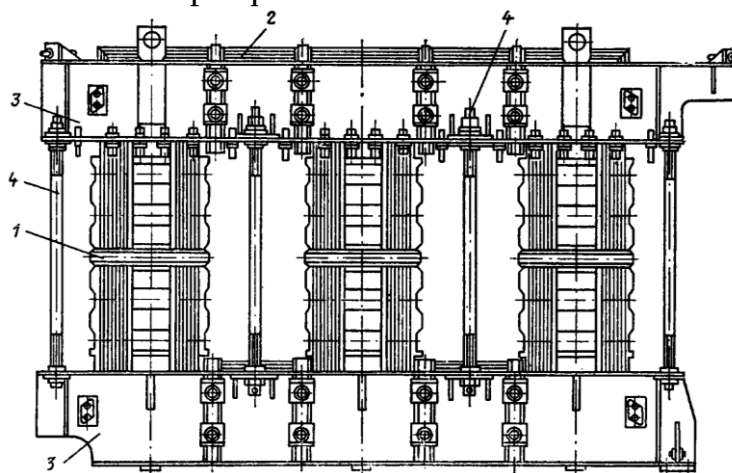
2.40 –rasm. Transformator magnit o'tkazgichning yuzasi:
a-ikki qatlamli plastinkali; b-besh qatlamli.

Foydalanish koeffitsienti po'latda qo'llangan kanallar va ketma-ketlik koeffitsientiga bog'liq, $k_i = 0.65 \div 0.92$. Agar ketma-ketliklar soni sterjenda qo'llanilgan po'lat disklar soniga teng bo'lsa, Sterjen kesmasi aylana maydoniga tenglashtirildi deyish mumkin yoki $k_i = 0.95 \div 0.96$. Hozirgi kunda bunday sterjenlarni po'lat kesish uchun mo'ljallangan maxsus avtomatlar ishlab chiqilyapti. Transformatorlarning kesishuv yarmosi texnologiyasini soddalashtirish maqsadida ketma-ketliklar soni ancha qisqartirildi. Salt ishlash elektr tokini kamaytirish maqsadida yarmo kesishuvi 10 - 15% ko'proq sterjen kesishuvini qabul qiladi.

Kichik va o'rta kuch translarning quvvati izolyasiyalangan silindrlarga biriktirilgan kamquvvatli bog'lamalar bilan amalga oshiriladi. Silindr va sterjenni yog'och yoki plastmassa rekalar yordamida mahkamlanadi. Transformatoridagi sterjenlar maxsus tokdan izolyasiyalangan qisqa tutashuvga chidamli maxsus shipilkalar yordamida mustahkamlanadi. Hozirgi kunda bu uchun plastmassa bog'ichlar yoki shisha tolali cho'lg'amlar ishlatiladi. Bunday mustahkamlanish ziyoti harajatni oldini oladi. Yarmolarning ustunlari yog'och yoki po'lat balkalar yordamida mustahkamlanadi.

Shixtavlangan konstruksiyalar yig'ilishi qiyin chunki avvalo magnit o'tkazgich yig'iladi keyinesa bir yarmo shixtovlanadi. Sterjen himoyalaniadi va yarmoga

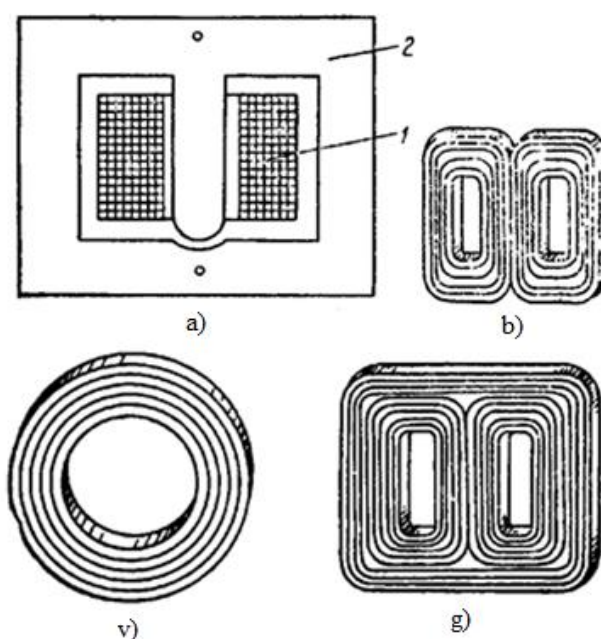
biriktiriladi. Stikovlangan konstruksiyalar yig'ilmasi ancha sodda , lekin salt ishlash tok kuchi yo'q qilinishi ancha ko'proq.



2.41 –rasm. Qabirg'ali transformator.

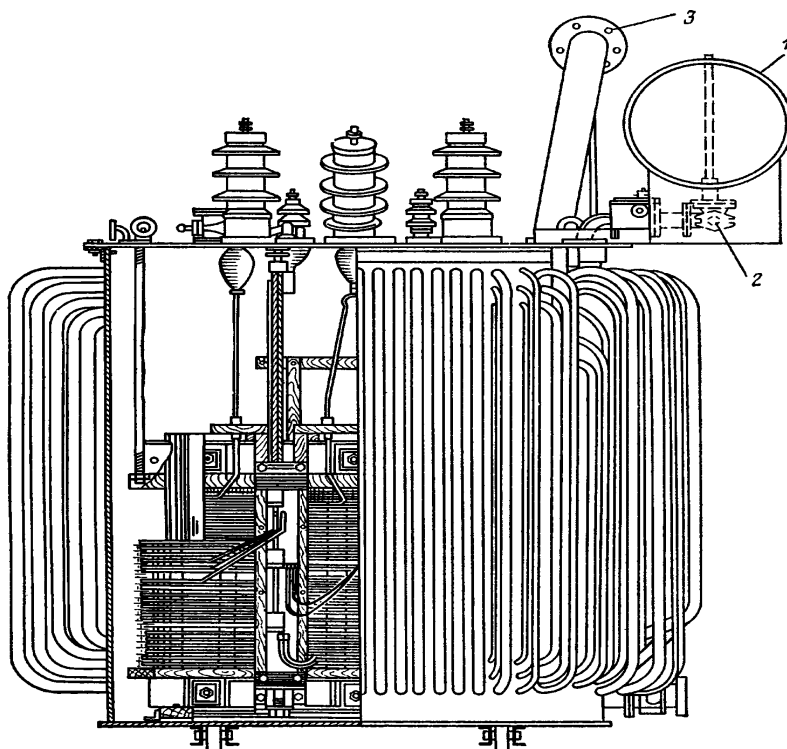
Kam quvvatli transformator konstruksiyalari ancha oddiy va tejamkor hisoblanadi. Ularning ishlab chiqarilishi ham ancha sodda shulardan biri sifatida transformator ishlab chiqarishda avtomatik navivkalar hisoblanadi. Ular lentali elektra texnik po'latdan yoki maxsus eritmali po'latlardan ishlab chiqariladi.

Lentadagi aylanalar magnit kuchini bir qatlamdan ikkinchi qatlamga po'lat lentalarining zijligiga ko'ra o'tkazib beardi. 2.42 rasmda kam quvvat bian ishlaydigan keng tarqalgan trans konstruksiyasi ko'rsatilgan. 2.42 rasm a surat ostida bir fazali transformatorning shixtalangan konstruksiyasining magnit o'tkazgichi ko'rsatilgan. Bu yerda o'rtada bo'shliq mavjud. Sterjen qatlamlari biroz qiya qilinib baland va past quvvatga moslashadi. Bunday konstruksiya ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. 2.42 rasmning b va g ko'rinishida km quvvqli translarning magnit o'tkazgichlari ko'rsatilgan ular bir fazalik o'rtaliqlar hisoblanadi. G surati esa 3 fazali hisoblanadi.



2.42 –rasm. Kichik transformatorlarning magnit tizimi.

Transformatorlarning asosiy elementlari kirish va chiqishlari hisoblanadi. Transformator ichidagi birikishlar bir funksiyadan ikkinchi funksiyaga o'tish jarayonlari o'tkazgij yordamida amalga oshiriladi. Ular sim yoki kabel ko'rinishida bo'ladi. Transformatorni elektr tokiga ulash uchun izolyasiyalangan maxsus similar xizmat qiladi. Ularning ichida tok o'tkazgich sterjenlar mavjud . O'tkazgichlar tok quvvati kuchiga ko'ra turli xil bo'ladi.



2.43- rasm. Quvvati 100 kVA va kuchlanishi 6 kV bo'lgan transformatorning umumiy ko'rinishi.

O'tkazgich tirik organizmlardan puxta himoyalangan bo'lishi kerak. Transformator baki maxsus texnik moy bilan to'ldirilgan sovitgich vazifasini bajaradi. Transformator ishlay boshlaganda sovuq bak uni qizib ketishidan saqlaydi. Bak ko'rinishi ko'pincha oval shaklida bo'ladi va mexanik mustahkam bo'lishi shart. T ning ishlashiga ko'ra va tabiat inijliklariga ko'ra bakdagi moy har xil xaroratda bo'ladi. Xaroratning o'zgarishi bakning ichidagi moy massasiga ta'sir etmasligi uchun bak ichiga maxsus kengaytiruvchi moslama quyiladi. (2.43 rasm) kengaytiruvchi asbob sifatida silindr ko'rinishidagi maxsus metall idish ko'rsatiladi. Kengaytiruvchi moslama transformator bak ichidagi moyini hamisha bir xil saqlash uchun xizmat qiladi.

Kengaytiruvchi transformator moyini tashqi atmosfera bilan reaksiyaga kiritishdan, moyning buzilishidan saqlaydi. Shunday germiklangan transformatorlar borki ular azot moyiga to'yintirilgan ya'ni kengaytiruvchining moy bilan oralig'i azot bilan to'yintirilgan. Zamonaviy quvvatlovchi transformatorlar mehnat faoliyati yaxshilanish maqsadida va buzilishining oldini olish maqsadida qator yordamchi qurilmalar bilan boyitilgan. Bu qurilmalar 2.43 rasmda ko'rsatilgan. Bak va

kengaytiruvchi moslama o'rtasida maxsus gazlangan rele quvurlar joylashtirilgan (2), ular transformatorning har qanday ichki buzilish jarayonida ishga tushadi: bakdan moy oqqanda yoki bakning ichiga kislorod kirganda. Jiddiy avariya vaqtida transformator ayrim sabablarga ko'ra o'chirilmay qolsa yoki to'xtatilmasa bakning ichida uni portlatib yuborishga qodir bosim paydo bo'ladi. Shunday ehtimolni oldini olish maqsadida transformator qapqog'iga mustahkamlanadigan quvur o'rnatiladi (3)bu quvur orqali ortiqcha gaz va moy chiqarib tashlanadi. Quvur og'zi maxsus shisha disk bilan yopilgan (membrana) bu shisha disk bosim yuqori paytida sinib tushadi.

Nazorat savollari.

1. Transformatorlarni tashqi konstruksiyasi qismlarini sanab bering?
2. Transformatorlarni chulg'am turlari qaysilar?
3. Transformatorlarni sterjenlari qanday tuzilishga ega?

2.8. Ulash guruhleri va sxemalari.

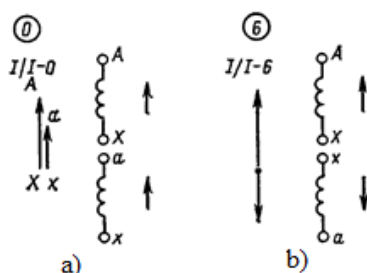
Transformatorlarni ishlatish jarayonida ularning tuzilishi va sinflanishi muhim ahamiyatga ega. Bir fazali transformatorlarda cho'lg'amning boshlanishi A a harflar bilan belgilanadi, oxiri esa X, x bilan belgilanadi. Katta harflar cho'lg'amning yuqori kuchlanishda ekanini bildiradi. Kichik harflar esa cho'lg'amning past kuchlanishda ekanini bildiradi.

Uch fazali transformatorlarda yuqori kuchlanish cho'lg'amlarning boshi A, B, C, oxirlari esa- X, Y, Z bilan belgilanadi. Past cho'lg'amlarning boshi- a, b, c, belgilanadi, oxirlari esa kichkina harflar bilan- x, y, z, belgilanadi. Nol nuqtalar O va o bilan belgilanadi. Agar uchinchi o'rtacha kuchlanishdagi cho'lg'am bo'lsa, quyidagi harflar bilan belgilabadi $A_m B_m C_m$, va $X_m Y_m Z_m$. Agar bir sterjenda bira to'la o'ng tarafga va chap tomonga buraladigan cho'lg'amlar bo'lsa, boshi va oxirini bir xil deb olsak, EYUK 180° darachaga buriladi. Tabiiyki markalash jarayonida cho'lg'amning boshi va oxiri o'zgarganligi o'zgarsa ham qapqoqdagi EYUK lar o'zdar olmaydi.

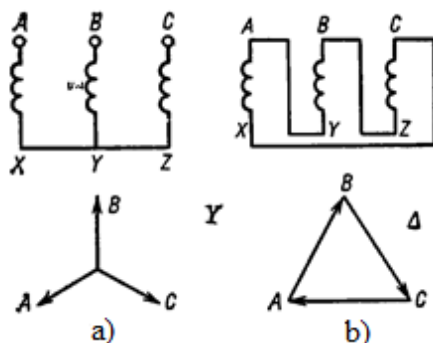
Qapqoqni o'ng va chap tomondan o'ralgan cho'lg'amni bir xil biriktirish uchun cho'lg'amni boshi va oxirini biriktirib olish kerak. Ya'ni a_1 va x_2 , a_2 va x_1 . tenglashish jarayonida ya'ni $E_1=E_2$ bo'lganda qapqoqdagi tok kuchi nolga teng bo'ladi. Agar bu jarayonda cho'lg'amning boshi va oxiri biriktirilsa, cho'lg'amda EYUK tarafdin belgilangan tok kuchi $2E_1$ ga teng bo'ladi.

Transformatorlarni ishga tushirish jarayonida bir transformatorning boshlanish cho'lg'ami bilan ikkinchi transformatorning boshlanish cho'lg'ami yuqorida aytilgan holatda standart ishlay boshlaydi. Transformatorni ishlash jarayonida xatolarga yo'l qo'ymaslik maqsadida birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlarni bir xil ishga tushirish tushuniladi. Cho'lg'amlarning ishlash quvvati quvvatlanish fazasi, bosimi o'rnatilgan soat sifr blatida ko'rsatiladi. O'lchamning elektr harakatlanish kuchi sifr blatdagi daqiqa ko'rsatgichiga o'rnatilgan bo'lib maksimum 12 gacha bo'ladi. Soat ko'rsatgichida esa past quvvat bilan ishlaydigan cho'lg'am kuchi ko'rsatiladi. Bir fazali transformatorlar uchun ikki guruhli biriktirishlar mavjud: nollik va oltilik

(2.44 rasm). Nollik (o'nikkinchi) quvvatlanish oralig'i nol darajaga teng soat va daqiqa ko'rsatgichlari mos tushadi. (2.44- rasm a). Oltinchi garuhdagilar uchun esa quvvatlanish oralig'i 180 darajaga teng. Soat ko'rsatgichi 6 ni ko'rsatadi. (2.44 rasm b).

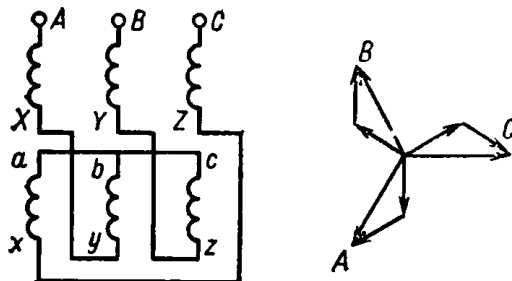


2.44- rasm. Bir fazali transformatorning ulanish guruhi.



2.45- rasm. Chulg'am ulanishining sxemasi va vektor diagrammasi:
a-yulduz; b-uchburchak.

Bu guruhlar I/I -0 va I/I- 6 deb belgilanadi. Nol guruhi standartlashtirilgan va qo'llaniladi. Uch fazali va ko'p fazali transformatorlarda cho'lg'amlarning turli xil biriktirish yo'llaridan foydalaniladi va ko'rib chiqiladi. Eng ko'p yulduz sxemasida joylashtirilgan yoki uchburchak shaklida joylashgan sxemalar keng tarqalgan. Zikzak shaklidagi sxemalar (2.46 rasm) kam foydalaniladi. Boshqa sxemalardan esa deyarli foydalanilmaydi. Yulduz shaklidagi sxemalar Y shaklida belgilanadi. Uchburchak shaklida biriktirish sxemalari- Δ zikzak shaklidagilar esa Z shaklida belgilanadi. Yulduz va zikzak shaklidagi biriktiruvlarda nol nuqtasini topish mumkin. Bunday holatda yulduz sxemasi ham va zikzak sxemasi ham nol shaklida belgilanadi.



2.46- rasm. Zigzag ulanish sxemasi va vektor diagrammasi.



2.47- rasm. a-besh burchakli yulduz; b-besh uchburchakli.

Ko'p fazali transformatorlar uchun ham shu prinsiplar ham belgilanadi. Besh fazali sxema uchun biriktiruv nuqtalari ham besh fazali yulduz yoki besh burchak ko'rinishida bo'ladi. (2.47a,b), t-fazali sistema uchun t-fazali yulduz va t- burchak.

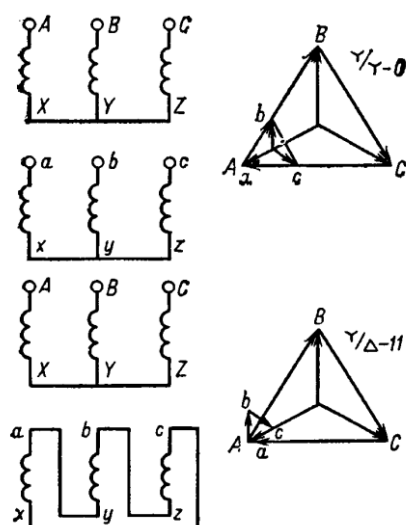
Uch fazali sxema sistemalari uchun Y va Δ birikishi birato'la quvvatlanadigan o'nikkita birikuv guruh sinflarini ko'rsatiladi. Bu soatning o'nikki raqamiga mos tushadi. Ilgari birikuvning ikki guruhi standartlashtirilgan edi. Bular Y/Y-0 va Y/ Δ -II (2.48 rasm). Bunda fazalarning harakatlanishi noldan 330° darajagacha bo'lgan transformatorlarning ishlatish jarayonida ikkita guruhdan foydalanish maqsadga muvofiq, lakin qolgan o'nta guruhni ham nazardan qochirmaslik kerak.

Transformatorlarni o'rganish jarayonida qolgan guruh biriktirishlari qanday amalga oshiriladi haqida tasavvurga ega bo'lish kerak. Nol va 11 guruhlari ishlash jarayonida 6 va 5 gguruhlarini ham tushunib olish mumkin. 0,6,11, va 5 guruhlari asosiy hisoblanadi. Ularning ichidan aylanma harakat davrida xulosalardan yana uchta guruhni olish mumkin: 0 guruhdan to'rt va sakkiz guruhlari hosil bo'ladi. 6 dan 10 va 2, 11 dan 3 va 7, 5 dan 9 va 1 guruhlari hosil bo'ladi.

2.1 jadvalida 12 ta guruh uchun ham cho'lg'amlarning aylanma harakat xulosalari to'liq ko'rsatilgan.

Malakali yo'llar bilan biriktiruv guruhlari quyidagicha aniqlanadi. Cho'lg'amalarning yuqori va past quvvatlanishdagi xulosalar biriktiriladi. Masalan A va a. Transformator tarmoqqa ulanadi va o'zgarmas bir xil quvvat ostida uning xulosalari tekshiriladi. Ishlash jarayonidagi diagrammaga qarab 2.1 jadvalda berilgan guruhlar taqqoslanadi. Diagramma 12 ta guruhdan biriga mos kelishi mumkin. Shundan keyin transformatorni ishlash guruhi aniqlanadi. Zikzak sxemasi ostida ishlash quvvatlanishning har qanday burchagini topishda yordam beradi. 2.46 rasmda ko'rsatilgandek, yuqori va past bosim ostida ishlash vektorlari cho'lg'amning vintlar soniga ko'ra aniqlanadi. Ular birin ketin biriktirilgan va har xil sterjenlarda joylashtirilgan bo'ladi. Bu zikzak sxemasining afzalligi 30 darajadan kam bo'lgan quvvat olishda qo'l keladi. EYukning vektor diagrammasi

gruppa	EYuKning burchar al mashuvi	EYuKning vektor diagram masi	Ulanish guruhi			gruppa	EYuKning burchar al mashuvi	EYuKning vektor diagram masi	Ulanish guruhi		
			Y/Y	Δ/Δ	Δ/Z				Y/ Δ	Δ/Y	Y/Z
0	0°					11	330°				
4	120°		bir xil sxema			3	90°		bir xil sxema		
8	240°		bir xil sxema			7	210°		bir xil sxema		
6	180°					5	150°				
10	300°		bir xil sxema			9	270°		bir xil sxema		
2	60°		bir xil sxema			1	30°		bir xil sxema		



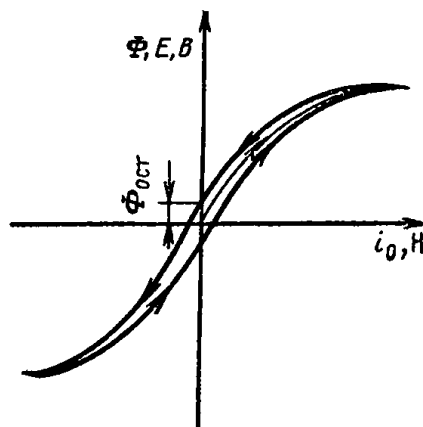
2.48- rasm.Uch fazali transformatorning 0-11 ulanish guruhi.

Nazorat savollari.

1. Transformatorlarni ulanish guruhlari nechta va qaysilar?
2. Transformatorlarni ulanish guruhlarining eng ko'p qollaniladigan turlarini ayting?
3. Transformatorlarni ulanish guruhlariga mos vector diagrammalarni chizing?

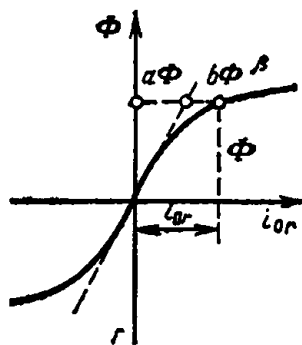
2.9 Bir fazali va uch fazali to'yintirilgan transformatorlarning ishlash xususiyatlari.

Qattiq jism elektrotexnik po'latlardagi doimiy va o'zgaruvchan magnit maydonlarning hosil bo'lishi bo'yicha fizikaning qattoq jismlar bilan ishlaydigan mutaxassislar shug'ullanadi. Elektr mexaniklarni po'latdagi o'zgaruvchan strukturalari murakkab xususiyatlari reaktiv kuchlanishi magnitlanishi mexanik qayta ishlashga quvvat bardoshligi qiziqtiradi. Elektra texnik po'latning asosiy xususiyati magnitlanish xususiyati hisoblanadi (2.49 rasm) magnit xususiyati doimiy tok ostida kuzatiladi. Bunda po'lat tezlikka o'z xususiyatini yo'qotmaydi. Shuning uchun u tokning o'zgarish kuchiga chidamli reaktiv bardosh hisoblanadi.

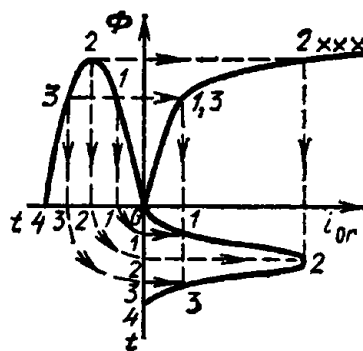


2.49-rasm. Elektrotexnik po'latning magnit xarakteristikasi.

Bunda tok kuchining to'liqlari orasida po'latning navi magnit sistemasining tuzilish jarayoni chastotasi va harorati kuzatiladi. Shuning uchun tokning salt ishlashida transformatorning ishlash xususiyati magnit kuchining qay darajada ishlash quvvati to'liq ma'lumot beradi. Loyihalash jarayonida tajribalar olinadi tok yoqotishlari magnit maydoninig kuchayib ketishi induksiya va chastotasi hammasi hisobga olinadi. Po'latdagi tokning yo'qotishlar ehtimoli bor vatt bilan belgilanadi, bir kg massa magnit o'tkazgichda ifodalandi, yo'qotilishi ehtimoli bor tok kuchi reaktiv kuchlanish bo'lib bir kg massada volt- amper bilan o'lchanadi. Odatda jadvallarda transformatorning yarmo sterjenning birikish nuqtalaridagi quvvat manbai ko'rsatib o'tiladi.



2.50-rasm. Magnit xarakteristikaning analitik tavsifi.



2.50-rasm. Magnitlangan tokda yuqori garmonikalarning paydo bo'lishi.

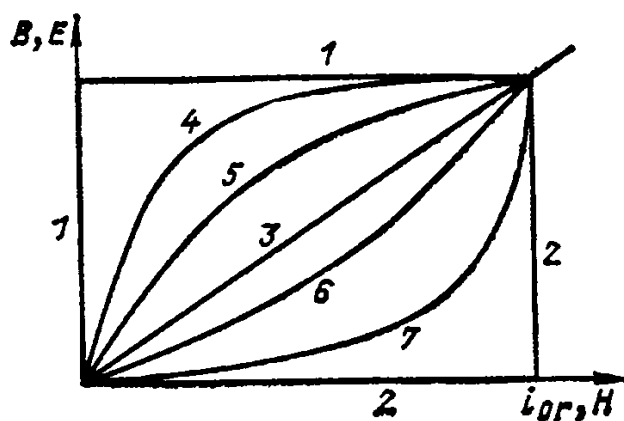
Magnitlanish xarakteristikasi tajriba asosida olinadi yoki hisoblanadi. U tavkkal aytilishi yoki formulaga yaqinlashtirilishi mumkin. Magnitlanish xarakteristikasi aniq tasvirga ega emas. Hozirgi kunda magnitlanish xarakteristikasining o'nlab taxminiy tasvirlari mavjud. Ya'ni magnit oqimning reaktivlanish xususiyatlari:

$$i_{0r} = a\Phi + b\Phi^\beta, \quad (2.82)$$

Bu yerda a , b daraja ko'rsatgichi β ikki nuqtaga ko'ra topilishi mumkin. Boshlang'ich burilishiga ko'ra va xususiyatlariga ko'ra (2.50)

Magnitlanish xarakteristikasi har bir siklda bir biridan farq qiladi. Xarakterlanishlarning kirish va mos tushmaydiagan shoxlari $B=f(H)$ birikmaydi (2.49). Xarakterlanish maydoninig tuguni $B=f(H)$ qayta magnitlash jaroyonida isrof kuzatiladi, ya'ni gistirizis isrof amalga oshadi. Transformator to'xtatilganda va unadn quvvat ketagnda transformatorida $F(\text{oct})$ qoldiqlari qoladi. Bu transformatorning keying ishlash jarayoniga ta'sir qiladi.

Transformatorni loyihalash jarayonida, elektr mashinalarni sozlashadi magnitlanish xarakteristikasiga asosan hisob kitob qilinib induksiua tanlanadi. Bu esa transformatorning massasining tushushini va quvvatbardosh bo'lishini ta'minlab beradi. Transformatorni ishlash jarayonida magnit tuzilmasining to'yintirilganligi qator imkoniyatlar beradi.



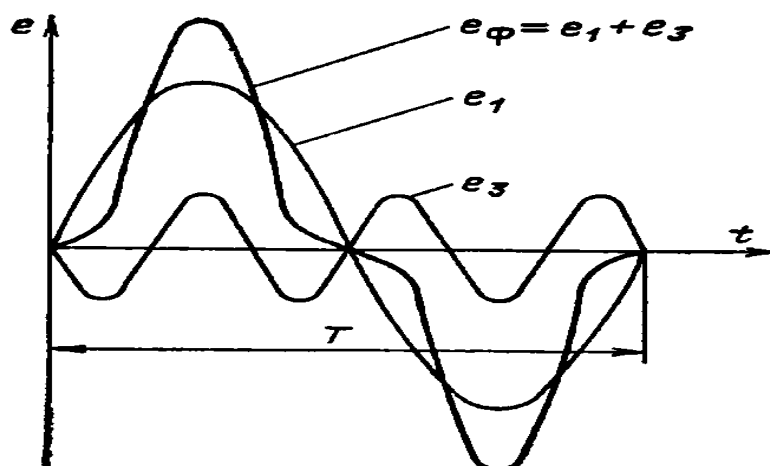
2.52-rasm. Mumkin bo'lgan magnitlanish egri turi.

Bir fazali transformatorni ko'rib chiqamiz. Agar uning boshlang'ich cho'lg'amiga sin kuchlanish biriktirilgan bo'lsa, magnit o'tkazgichda ham bosim sinus bo'ladi. Zaryadlangan tok esa sinus bo'lmaydi. Magnit maydon to'yintirilgan

transformatorlarda tok kuchi sinus bo'ladi, bosim esa sinus bo'lmaydi. Umumiy ko'rinishda to'yintirilgan transformatorlarda bosim boshqa magnit tok kuchi esa boshqa bo'ladi. Magnitlanish xarakteristikasining o'zgaruvchanligi sababli salt ishlash tokining ishlatilishida ham kuzatiladi. Agar bosimda doimiy o'zgarishlar kuzatilsa, zaryadlangan tokda ham toq garmonika kuzatiladi. Yuqori amplitude esa 3 va 5 garmonikada kuzatiladi. Ular transformator ishlashi uchun muhim ahamiyatga ega. Magnit maydonning yuqri garmonik tebranishsi transformatorlarda tok kuchining zaryadlanishiga ko'ra aniqlanadi. Eng yuqori tebranishlarning garmonikalari $B=f(H)$ (to'g'ri 1 va 2) to'g'ri burchaklar beradi. To'g'ri burchaklar harakteristikasida tebranishning uchunchi garmonikasi 30% ga 1 va 5 da esa 20% ga ko'tariladi. Elektra texnik po'latlar to'g'ri burchaklar orasiga quyiladi. Uch ko'rinishdagi po'latlarning magnit maydoni transformatorlarda ko'pincha qo'llanilmaydi. Bunday ko'rinishdagi magnit maydonlar sust ishlaydi. Transformator magnit maydoni bilan to'yintirilmaganda yuqori tebranishlarning garmonikalari noga teng tiradi. Oraliq zaryadlanadigan tok amplitude garmonikasi nolga tenglashtirilmaydi va zaryadlanish foiz koeffitsientidan oshirilmaydi.

Ko'p fazali transformatorlarda egri magnitlanuvchi liniyasizlik transformatorning ishlashida o'z asosiga ega. Bu narsani uch fazali grupp va bir fazali transformatorlarning cho'lg'amlarini yulduzcha ulanish sxemasida ko'rishimiz mumkin. Har bir transformatorning birlamchi cho'lg'amiga sinusoidal kuchlanish kelib turadi, shuning uchun transformatorning har bir cho'lg'amini alohida ishlashini ko'rishimiz mumkin.

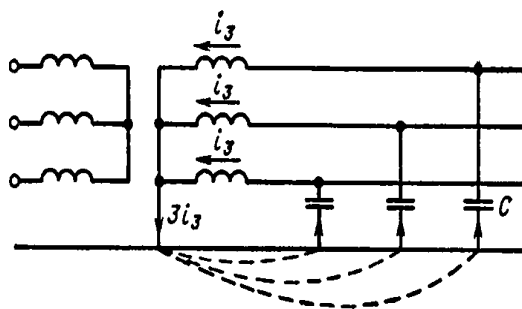
Cho'lg'amlarni yulduzcha qilib ulashda uchinchi garmonikaning magnitlanuvchi toklari transformatorning cho'lg'amlariga tutasholmaydi. Shuning uchun bir fazali transformatorlarning oqimi sinusoidallanmagan va shundan kelib chiqib EYUK va faza kuchlanishi ham sinusoidal emas. (2.53 rasm) EYUK oqimining yuqori garmonikalaridagi katta tebranishlarda, faza kuchlanishida mavjud bo'ladi. Bu keraksiz narsa bo'lib ayniqsa yuqori kuchlanishli transformatorlarni qayta loyihalashtirishga, izolyatsiyani qalinlashtirishga olib keladi. Tebranish oqimini oshirish ham po'latda isrofni ko'payishiga olib keladi.



2.53- rasm. Qiya EYUK lar sinusoidal magnitlashgan toklarda to'yintirilgan transformatorlar grafigi.

Yulduzcha ulanish - yulduzcha nollik o'tkazgichi bilan uchinchi garmonikaning toklarini nollik o'tkazgichda oqib o'tishini ta'minlaydi, shuning uchun bunday ulanishda oqimlar va faza kuchlanishlari bir fazali transformatorida sinusoidaldir.

Uchinchi garmonika toklari er bilan elektr o'tkazgichlar orasida sig'im orqali tutashganligi sababli aloqa tizimida shovqin paydo qiladi. Agar yuklama yerga ulangan neytral bo'lsa unda uchinchi garmonika toklari yerdan o'tgan metal qurilmalariga qattiq ta'sir ko'rsatib o'ta kuchli korroziyaga olib kelishi mumkin.(2.54 rasm)

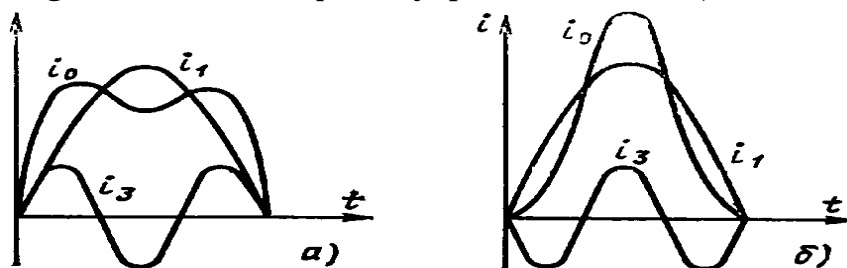


2.54- rasm. 3-garmonika konturining Y/Y₀ ulanishdagi sxemasi.

Yulduzcha-uchburchak ulanishining yulduzcha-yulduzcha ulanishida ko'ra afzalliklari mavjud. Uchinchi garmonika toklari uchburchakichida tutashadi, shuning uchun oqim va faza kuchlanishlari transformatorning yulduzcha-uchburchak sxemasida sinusoidli bo'ladi.

Shundan kelib chiqadiki bu reaktiv quvvatni yulduzcha ulangan cho'lg'amidan yoki uchburchak ulangan cho'lg'amidan kelayotganini aniqlaydi, reaktiv tok ma'lum bir ko'rinishga ega.

Transformatorning yulduzcha cho'lg'ami tarmoqqa ulangan bo'lsa magnit transformatorning magnit maydoni uning birlamchi cho'lg'amida vujudga keladi (magnitlanuvchi birinchi va uchinchi garmonikaning toklari cho'lg'amning uchburchak ulangan tomonidan oqib o'tyapti 2.55 a-rasm)



2.55 - rasm. Uchburchak va yulduzcha ulanish sxemasida magnitlashgan tok formalari.

- Transformatorni Δ ulangan tomonidan reaktiv tok bilan to'yintirish;
- Transformatorni Y ulangan tomonidan reaktiv tok bilan to'yintirish.

Transformatorni to'yinish toki bilan quvvatlantirsa reaktiv quvvat birinchi garmonika orqali birinchi cho'lg'amga o'tadi, ikkinchi cho'lg'amida uchinchi

garmonikaning magnit maydoni hosil bo'ladi.(2.55 b-rasm) Aktiv tok birinchi va ikkinchi cho'lg'amlar orasida taxminan 180^0 burchk ostida bo'ladi, xuddi shunday transformatorga yulduzcha va uchburchak ulanganda tok berilganda uchinchi garmonikaning magnitlanuvchi toklari 180^0 elektr burchagiga burilgan bo'ladi.

Transformatorning uyurma toklarini magnitprovodini hisobga olmay magnitlanish jarayonini ko'rish mumkin. Uyurma toklarga ahamiyat bermaslik ruxsat etilgan po'lat qarshiligiga katta ta'sir ko'rsatadi.

Kontur hosil qilishda uchinchi garmonikaning qisqa tutashuv toki transformatorning guruhlarida sinusoidal bo'lishi lozim. Uch fazali ikki cho'lg'amli transformatorlarda uchinchi garmonika qisqa tutashuvi birinchi cho'lg'amda uchburchak ulangan. Zamonaviy transformatorlarda va avtotransformatorlarda 110, 150, 220, 330 va 500 kV kuchlanish sinflarida bitta cho'lg'ami albatta uchburchak ulanadi. Bu kuchlanishi 35 kV quvvati 4000 kVA dan yuqori bo'lgan transformatorlarda qo'llaniladi.

Transformatorning loyihasi uning ishlashida alohida o'ringa ega. Uch fazali uch sterjenli transformatorlarda uchinchi garmonika toklari bir-biriga bak devori va havo orqali tutashadi. Zirxli transformatorlarda uchinchi garmonika toklari po'lat orqali tutashadi. Uch fazali guruppalarda bir fazali transformatorlarning 3-garmonika oqimi ham po'lat orqali tutashadi. Zirxli transformatorlar va uch fazali gruppalar bir fazali transformatorlarda induktiv qarshiligi 3-garmonikada ko'proq, ular 3-garmonika toklarini chegaralab turadi.

Ko'p fazali tarmoqlarda cho'lg'amlar ko'p fazali yulduzcha va ko'pburchak shaklda ulanadi. Masalan; besh fazali sistemalarda cho'lg'amlar besh fazali yulduzcha va beshburchak ulanadi. Besh fazali sistemalarda asosan 5- garmonika beshburchakda paydo bo'ladi va ularning yig'indisi nolga teng. Besh fazali sistemalarda 3-garmonika kompensatsiya qilinmaydi. Olti fazali sistemalarda 6-garmonika, ko'p fazali sistemalarda m-garmonika.

To'yingan transformatorlar to'yinmagan transformatorlardan farqli ravishda oliy garmonikali generator hisoblanadi. $3f$, $5f$, $7f$ chastotali garmonikalar transformatorning ishiga katta ta'sir ko'rsatadi. Bu garmonikalar transformatoridagi shovqin va qo'shimcha yo'qotishlarning manbai bo'lib hisoblanadi.

To'yingan transformatorlardagi qo'shimcha yo'qotishlar cho'lg'amlardagi yuqori garmonika toklarini o'tishi orqali sodir bo'ladicho'lg'amlari uchburchak yoki nol simli yulduz shaklida ulangan bo'lsa. Qo'shimcha yo'qotishlarpo'latdagi yo'qotishni ko'payishi hisobiga ham paydo bo'ladi. Yuqori garmonika oqimi po'latda yo'qotishlarga sabab bo'ladi. Oliy garmonika oqimining tebranishlari yuqori bo'lishiga qaramasdan magnitlanishning yuqori chastotasi tufayli bu yo'qotishlar

Transformatorida shovqinning darajasi magnitsimon tebranishlar bilan bog'liq. Magnitsimon tebranishlarning eng yuqorisi 100 Gs lik chastotada yotadi. Toyinish bilan birga to'yinish toki kengayib boradi. Shovqinning

ko'payishi asosan transformatoridagi asosiy va qo'shimcha qismlarning sifatsiz mahkamlanishi po'latning shixtovkasi bilan bog'langan.

Nazorat savollari.

1. Elektrotexnik po'latning magnit xarakteristikasi tushuntirib bering?
2. Mumkin bo'lgan magnitlanish egri turidan afzalini ko'rsating?
3. Uchburchak va yulduzcha ulanish sxemasida magnitlashgan tok formalarini tushuntirning?

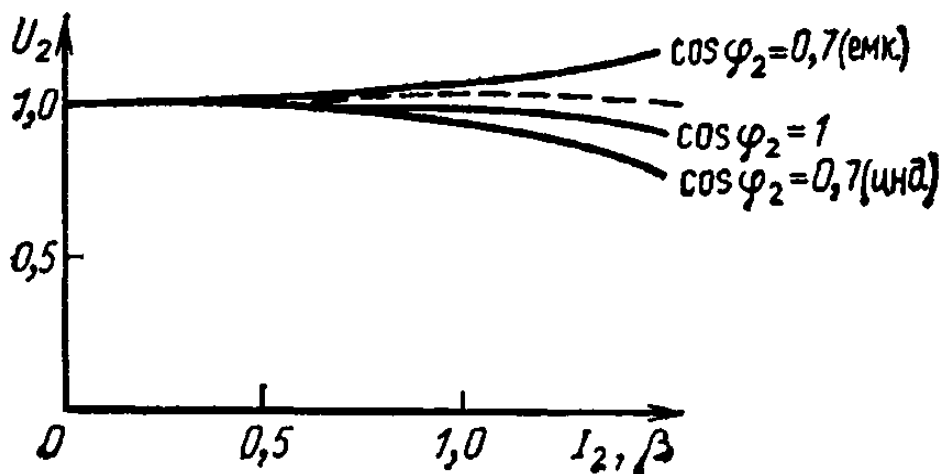
2.10. Transformatorlarning tavsifi.

Salt ishlash va qisqa tutashuvning tavsiflari bilan birga FIK ni yuklamaga bog'liqligi transformatorlarning tashqi xarakteristikalari hisoblanadi.

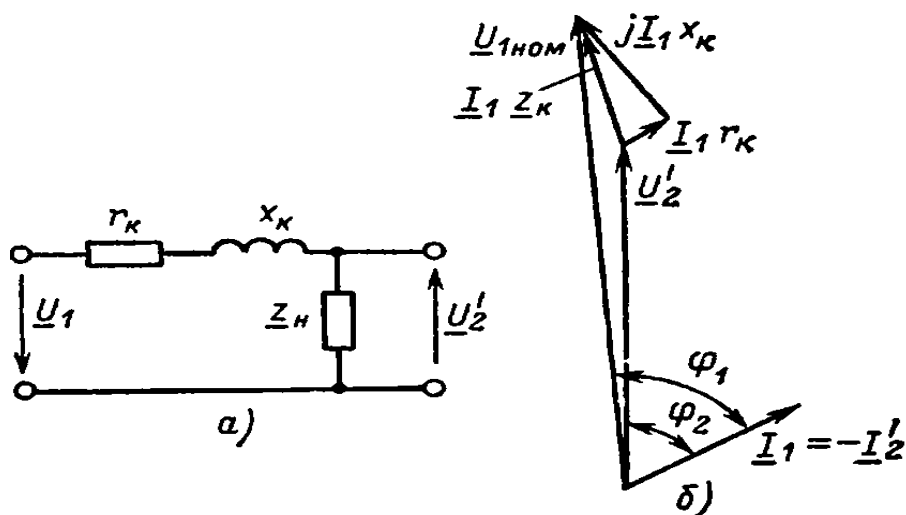
Transformatorning tashqi xarakteristikasi deb ikkinchi cho'lg'amning $U_2 = f(\beta)$ yoki $U_2 = f(I_2)$ $\beta = \frac{I_2}{I_{2nom}}$ yuklamalari bo'yicha quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_2$

har xil qiymatlaridagi va tarmoqning birinchi kuchlanishi va chastotasi o'zgarmagan holdagi kuchlanishga bog'liqlik grafigiga aytiladi.(2.56 rasm)

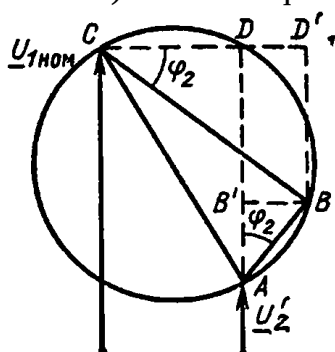
Kuch transformatorlarda salt ishlash toklari kata emas. Shuning uchun ikkilamchi kuchlanishlar aniqlanganda transformator o'rnini bosuvchi qisqartirilgan sxemalardan foydalaniladi, ularning ichki qarshiligi qisqa tutashuvning $z_k = r_k + jx_k$ qarshiligi bilan aniqlanadi.



2.56- rasm. Transformatorning tashqi xarateristikasi.



2.57-rasm. a) joylashuv sxemasi b) $\Delta u\%$ aniqlanadigan vector diagrammasi.



2.58 - rasm. ΔU ni aniqlash uchun qo'shimcha qurilma sxemasi.

Ikkilamchi kuchlanishni foizli o'zgarishini aniqlash uchun

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\% = \frac{U_{1nom} - U_2}{U_{1nom}} \cdot 100\% \quad (2.83)$$

qisqartirilgan sxemaga (2.57 a rasm) va vector diagrammasiga (2.57b rasm) e'tiborni qaratish lozim.

Δu %ni aniqlash uchun ba'zi bir oddiy o'zgarishlar o'tkazamiz 2.57 b rasmdagi vektor diagramma qismini kattalashtirilgan masshtabda tasvirlaymiz (2.58 rasm) 2.58 rasmdan

$$\Delta u = \frac{U_{1nom} - U_2}{U_{1nom}} = 1 - \frac{U_2}{U_{1nom}} = 1 - \frac{1}{U_{1nom}} \left(\sqrt{U_{1nom}^2 - CD^2} - AD \right) \quad (2.84)$$

$$n = \frac{CD}{U_{1nom}} \text{ va } m = \frac{AD}{U_{1nom}} \text{ ni belgilab}$$

$$\Delta u = 1 - \left(\sqrt{1 - n^2} - m \right) \quad (2.85)$$

$$\sqrt{1 - n^2} \approx \sqrt{1 - \frac{n^2}{2}} \text{ ni almashtirib}$$

$$\Delta u = 1 - 1 + \frac{n^2}{2} + m = m + \frac{n^2}{2} \quad (2.86)$$

$$\Delta u = \beta(u_{a,k} \cos \varphi_2 + u_{p,k} \sin \varphi_2) + \beta^2 \frac{(u_{p,k} \cos \varphi_2 - u_{a,k} \sin \varphi_2)^2}{200} \quad (2.87) \text{ ni olamiz}$$

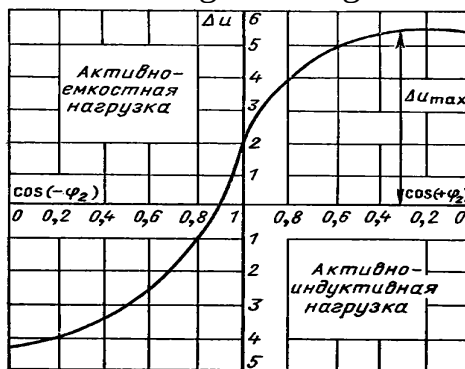
Vektor diagrammasidagi ACB uchburchagi qisqa tutashuv uchburchagidir. Uning BC kateti $u_{p,k}$ qisqa tutashuvni reaktiv kuchlanishini, AB kateti esa $u_{a,k}$ faol tarkibini tavsiflaydi. Odatda (2.87) ikkinchi qismini e'tiborga olmasak va ikkilamchi kuchlanishning yuklama ko'effitsientiga bog'liqligi yoki aktiv quvvatning nominal quvvatga nisbati orqali aniqlanadi. Quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$\Delta u = \beta(u_{a,k} \cos \varphi_2 + u_{p,k} \sin \varphi_2) \quad (2.88)$$

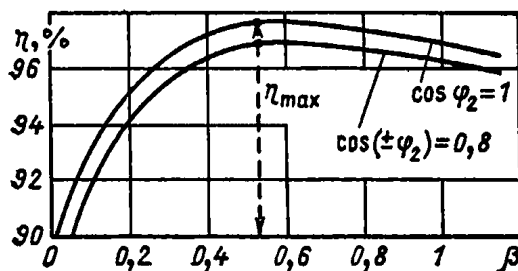
Bunda kuchlanish isrofi Yuklama ko'effitsienti $\cos \varphi_2 \beta$ va quvvat ko'effitsientiga hamda qisqa tutashuv kuchlanishini aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarga bog'liqligi aniqlanadi.

Aktiv yuklamada I_2 tokni oshishida reaktiv kuchlanish oshishi tufayli ikkinchi cho'lg'amdagi kuchlanish oshadi. Kuchlanish tushuvi tufayli aktiv va aktiv-induktiv yuklamalarda z_2 ichki qarshilik u_2 pasayadi.

2.59 rasmda bir nominalga teng bo'lgan o'zgarmas tok ΔU ni $\cos \varphi_2$ ga bog'liqligi ko'rsatilgan. Transformatorlarda maydon paydo qilish uchun reaktiv quvvat zarur. Bu quvvat soddalashtirilgan sxemalar x_k orqali aniqlanadi. Aktiv sig'imli yuklamada reaktiv quvvat transformatorlarda maydon hosil qilish uchun yuklamadan olinadi. Yuklamada sig'im kattalashgan sari reaktiv quvvat transformatorlarda maydon hosil qilish uchun sarflanadi, ortiqchasi birinchi tarmoqqa beriladi. Bunda EYUK $E_1 = E_2$ ortadi, bu esa transformatoridagi oqimning ko'payishi va kuchlanishning oshishiga olib keladi.



2.59- rasm. Nominalga teng bo'lgan tokning $\Delta u = f(\cos \varphi_2)$ kuchlanishga bog'liqlik grafigi.



2.60 - rasm . $\cos \varphi_2$ qiymati o'zgarmaganda FIK ni yuklamaga bog'liqlik grafigi.

Transformatoridagi F.I.K birinchi cho'lg'andan ikkinchi cho'lg'amga teskari beriladigan bog'liqlik va quvvat o'rtasidagi bog'liqlikni ko'rsatadi. Transformatorning F.I.K 2.89 formula bilan aniqlanadi.

$$\eta = \frac{P_2}{(P_2 + \sum P)} = 1 - \frac{\sum P}{(P_2 + \sum P)} \quad (2.89)$$

Bu yerda $\sum P$ - transformatorning isrof summasi ; P_2 - ikkinchi cho'lg'amdagi quvvat

Ikkinchi cho'lg'amdagi quvvat 2.90 formula bilan aniqlanadi.

$$P_2 = mU_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (2.90)$$

Bu yerda P_{2nom} - transformatorning $\cos \varphi_2 = 1$ bo'lgandagi nominal quvvati; β -Yuklama koeffitsienti.

GOST FIK ni quyidagi formula bo'yicha aniqlashni tavsiya etadi

$$\eta = 1 - \frac{P_{x,nom} + \beta^2 P_{k,nom}}{\beta P_{2nom} \cos \varphi_2 + P_{x,nom} + \beta^2 P_{k,nom}} \quad (2.91)$$

Bu yerda $P_{x,nom}$ - nominal kuchlanish va chastotada salt ishlash yo'qotishi; $P_{k,nom}$ nominal tokda qisqa tutashuvning yo'qotishi.

Qisqa tutashuvdagi yo'qotishlar metal cho'lg'amlardagi asosiy yo'qotishlardan (misdagi yo'qotishlardan) tok elementlari qismlaridagi yo'qotishlardan shuningdek qo'shimcha yo'qotishlardan ya'ni transformator konstruksiyalardagi ferromagnit qismlarida bak devorlarida preslovchi boltlardan va transformatorning boshqa konstruktiv qismlaridan iborat. Bu qo'shimcha yo'qotishlar 100000 KVA kuchlanishdagi transformatorlarda va 20-25 % li qisqa tutashuvlarda bo'ladi.

FIKni yuklamaga bog'liqligi 2.60 rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda ko'rinib turibdiki $\eta = f(\beta)$ bog'liqlikdan $\frac{d\eta}{d\beta}$ yuqori chetlanishga ega ekanligi aniqlash mumkin.

F.I.K salt ishlash yo'qotishlari misdagi yo'qotishlarga teng bo'lganda maksimal holatga etadi. Bunda $P_{x,nom} = \beta^2 P_{k,nom}$ ya'ni doimiy yo'qotishlar tenglashganda yuklamaga bog'liq bo'lmagan doimiy yo'qotishlar $P_{x,nom}$ - yuklamadagi o'zgaruvchan isrof $\beta^2 P_{k,nom}$ transformatorlarda misdagi isrof. Salt ishlash isrofi va misdagi isrofnings tengligidan quyidagi kelib chiqadi.

$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_{x,nom}}{P_{k,nom}}} \quad (2.92)$$

Transformatorlarni loyihalashda mis va po'tatdagi isroflar orasidagi bog'liqlikni ya'ni ularning massalari orasidagi bog'liqlikni o'zgartirish mumkin.

Moyli kuch transformatorlari quyidagicha hisoblanadi;

$$P_{x,nom} \div P_{k,nom} \approx (1 \div 4) \div (1 \div 6) \quad (2.92)$$

Shuning uchun FIK 0,5-0,7 yuklama nominalida maksimalga etadi. (2.60 rasm) Shunday qilib egri FIK da maksimumlarni tanlash hisoblovchiga bog'liq. Odatda energo tizimida transformatorlarga kuchlanish etmagan holatda ishlaydi ya'ni FIKning qiymati maksimal bo'lgan holatda.

FIKni maksimal qiymatga etkazish uchun peregruzka vaqtida uning cho'lg'amlariga ko'proq mis o'rash kerak ya'ni cho'lg'amlarda tok zichligini kamaytirish lozim. Bunday transformatorlar qimmat turadi.

Reaktiv quvvat uzatilayotganda $\cos\varphi_2$ kamayganda FIK ham kamayadi. (2.60 rasm)

Odatda transformatorlar sutka va yil davomida bir tekisda yuklanmaydi. Chunki tunda, yoz faslida kuz qish paytlarida elektr energiya iste'moli max darajaga etadi. Shuning uchun energo tizimida transformatorlardan foydalanishni baholashda yillik FIK haqida so'z yuritiladi.

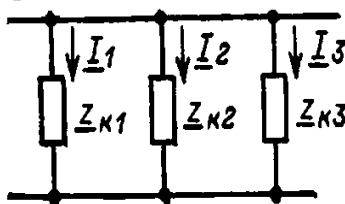
Nazorat savollari.

1. Transformatorning tashqi xarakteristikasi nimani anglatadi?
2. Nominalga teng bo'lgan tokning $\Delta u = f(\cos\varphi_2)$ kuchlanishga bog'liqlik grafigini tushuntiring?
3. $\cos\varphi_2$ qiymati o'zgarmaganda FIK ni yuklamaga bog'liqlik grafigini tushuntiring?

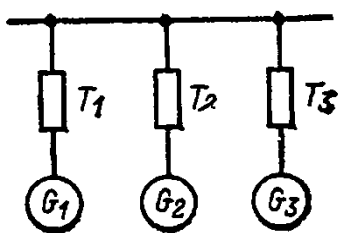
2.11. Transformatorlarning parallel ishlashi.

Bir necha bir xil quvvatdagi transformator ishlatgandan ko'ra ularning quvvat yig'indisiga teng bo'lgan bitta transformator tayyorlash foydali. Quvvati katta transformatorlarda aktiv materiallar isrofi kamroq va energetik ko'rsatkichlari yuqori bo'ladi. Energetik qurilmalarda bir necha transformatorlarni parallel ulab yoqish zarur. Bunda iste'molchilarni elektr ta'minoti muommasi oson hal bo'ladi, ta'mirlash ishlarini tashkil qilish qisqaradi. To'liq yuklanmagan holatda transformatorni bir qismini o'chirish mumkin. Katta tarqatuvchi qurilmalarda ba'zan bitta transformatorni o'rnatish mumkin emas, chunki transformatorning belgilangan quvvati tarqatuvchi podstantsiyaning quvvatidan kichik.

Transformatorning parallel ishlashida birinchi va ikkinchi cho'lg'amlar umumiy shinalarga ulangan. 2.61 rasmda 3 ta parallel ulangan transformatorning ekvivalent joylashuv sxemasi ko'rsatilgan. 2.62 rasmda ko'rsatilgan T_1 va T_2 transformatorlarni G_1 va G_2 generatorlarga ulanish sxemasi transformatorni parallel ishlashiga aloqasi yo'q.



2.61- rasm. Transformatorning parallel ishlash sxemasi.



2.62 - rasm. Umumiy shinalardagi generatorlarni ishlash sxemasi.

Transformatorlar parallel ishlaganda qurilmalar quvvatidan yaxshi foydalanish uchun transformatorlarning proporsional quvvat yuklamasi yig'indisidan chiqish lozim, chunki salt ishlashda tenglashtiruvchi tok bo'lishi mumkin emas. Bir xil quvvatdagi transformatorlarning parallel ishlashga ulashda bu shartlar oson bajariladi. Ammo amaliyotda parallel ulashda nominal quvvat bir xil bo'lmagan transformatorlar ham ulanadi.

Transformatorlarni parallelulashda birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlardagi kuchlanishlar bir xil bo'lishi zarur. Bunda transformatsiya koeffitsienti bir-biriga teng. Bir xil ulash guruhiga mansub transformatorlar parallel ishlaydi. Bundan kelib chiqadiki transformatorlarda tenglashtiruvchi toklar bo'lmaydi.

Parallel uangan transformatorlarda transformatsiya koeffitsientlari bir-biridan EYUK tufayli farq qiladi. Transformator cho'lg'amlarida tenglashtiruvchi tok oqadi, transformatsiya koeffitsientlari esa 1 foizga farq qiladigan transformatorlar parallel ishlashga ruxsat etiladi. Bunda tenglashtiruvchi toklar juda kam miqdorda bo'ladi.

Agar 0 va 11 guruhdagi transformatorlarni parallel ishlashga ulasak 30° ga teng bo'lgan E_1 va E_2 orasidagi farq tufayli 2.63 rasmdagi ΔE paydo bo'ladi.(2.63 rasm);

$$\Delta E = 2E_1 \sin 15^\circ \approx 0.5E_1 \quad (2.94)$$

va tenglashtiruvchi tok nominal tokdan bir necha marotaba kata bo'ladi. Tenglashtiruvchi toklar transformatorning birinchi va ikkinchi cho'lg'amida oqadi. Ular transformatorni qisqa tutashuv qarshiliklari va ΔE bilan aniqlanadi.

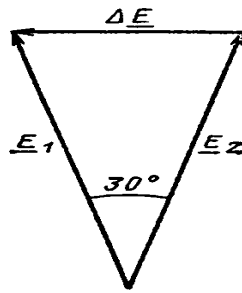
O'zaro parallel ulangan transformatorlar yuklamalarini taqsimlash qisqa tutashuv qarshiligiga bog'liq.(2.61 rasm) eng oddiy ko'rinishdagi transformatorlarni joylashish sxemasi $Z_k = Z_1 + Z_2$ qarshilik ko'rinishida ko'rsatilgan.

Shuning uchun parallel ulashda 2.61 sxemadan foydalanish mumkin , bundan fazalardagi EYUK farqini hisoblamay

$$I_1 \div I_2 \div I_3 = \frac{1}{Z_{k1}} \div \frac{1}{Z_{k2}} \div \frac{1}{Z_{k3}} \quad (2.95)$$

Olish mumkin. Chunki

$$I_1 Z_{k1} = I_2 Z_{k2} = I_3 Z_{k3} \quad (2.96)$$



2.63 -rasm. Transformatorlarda tenglashtiruvchi toklarni aniqlash sxemasi.

Parallel ishlayotgan transformatorlardagi toklar qisqa tutashuv qarshiliklariga proporsional ravishda teskari taqsimlanadi. Shuning uchun transformatorlarning orasidagi quvvatni to'g'ri taqsimlash uchun u_k % ga ega bo'lgan bir xil kuchlanishdagi qisqa tutashuv zarur.

GOST bo'yicha transformatorlarni parallel ishga yoqish uchun u_k % 10 % dan oshmagan tarzda farq qilgandagina ruxsat beriladi. Transformatorlar parallel ishlashda u_k % har xil bo'lsa, u_k % qiymat kichik bo'lganda transformator zo'riqadi.

Agar transformatorlarning u_k % qiymati kichik bo'lganda nominal quvvat bilan Yuklanadi. u_k % qiymati katta bo'lganda boshqa transformatorlar Yuklama olmaydi. Bunda boshqa transformatorlar nominal Yuklama olmaydi va transformatorlarni belgilangan quvvati ishlatilmaydi.

Katta quvvatli transformatorlar kichik quvvatli transformatorlarga nisbatan reaktiv quvvat tashkil etuvchisi aktiv quvvat tashkil etuvchisidan foizlar nisbatiga bir qancha kattadir. Shuning uchun parallel ishlaganda transformatorlarda quvvatlar teng taqsimlanmaydi. Bundan kelib chiqib quvvati 3 baravardan ortiq bo'lgan transformatorlarni parallel ulashga ruxsat beriladi.

Nazorat savollari.

1. Transformatorning parallel ishlash sxemasini tushuntiring?.
2. Umumiy shinalardagi generatorlarni ishlash sxemasini tushuntiring?
3. Transformatorlarda tenglashtiruvchi toklarni aniqlash sxemasini tushuntiring?

2.12. Ko'p cho'lg'amli transformatorlar.

Sanoatda ikki cho'lg'amli transformatorlardan tashqari ko'p miqdorda uch cho'lg'amga ega bo'lgan kuch transformatorlari ishlab chiqariladi. Kichik quvvatdagi transformatorlar esa odatdagidek bir necha kuchlanishga mo'ljallangan bir necha cho'lg'amga ega. Barcha kuch transformatorlari uyurma tok oqadigan magnit simiga ega. Agar uyurma toklarni ekvivalent konturini alohida cho'lg'am deb hisoblasak shunday xulosaga kelish mumkinki barcha transformatorlar uch cho'lg'amlidir.

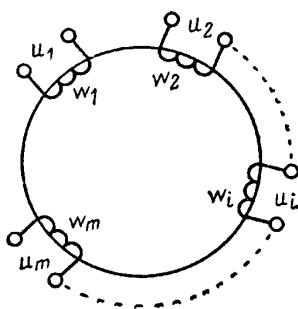
Ko'p cho'lg'amli transformatorlarda bitta sterjenda bir necha cho'lg'am joylashgan. Bir fazali cho'lg'amlar soni bir xil bo'lganda m-cho'lg'amli transformatorni ko'ribchiqamiz. (2.64rasm) m cho'lg'am umumiy F_m ishchi

oqimni o'tkazadi deb hisoblaymiz. Shuning uchun har bir cho'lg'amning o'zining o'tkazuvchanlik oqimi mavjud. Bunda m-cho'lg'amli transformatorni tenglashtiruvchisi quyidagi ko'rinishga ega.

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ u_i \\ \vdots \\ u_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1 + \frac{d}{dt} L_1 \frac{d}{dt} M_{12} \dots \frac{d}{dt} M_{1i} \dots \frac{d}{dt} M_{1m} \\ \frac{d}{dt} M_{21} r_2 + \frac{d}{dt} L_2 \dots \frac{d}{dt} M_{2i} \dots \frac{d}{dt} M_{2m} \\ \vdots \\ \vdots \\ \frac{d}{dt} M_{i1} \frac{d}{dt} M_{i2} \dots r_i + \frac{d}{dt} L_i \dots \frac{d}{dt} M_{im} \\ \vdots \\ \frac{d}{dt} M_{m1} \frac{d}{dt} M_{m2} \dots \frac{d}{dt} M_{mi} \dots r_m + \frac{d}{dt} L_m \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ i_i \\ \vdots \\ i_m \end{pmatrix} \quad (2.97)$$

Bu yerda: $r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_m$ - cho'lg'amning aktiv qarshiligi; $L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_m$ - cho'lg'amning induktivligi; $L_1 = M + L_{\sigma 1}$, $L_2 = M + L_{\sigma 2}$ va h.k; $M_{12}, M_{21}, \dots, M_{1i}, M_{2i}, \dots, M_{im}$ - cho'lg'amlar orasidagi o'zaro induktivlik; $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}, \dots, L_{\sigma i}, \dots, L_{\sigma m}$ - cho'lg'amlarning tarqalgan induktivligi; $u_1, \dots, u_i, i_1, \dots, i_m$ - kuchlanishga muvofiq m-cho'lg'amlardagi va transformator cho'lg'amlaridagi tok.

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ -u_2 \\ -u_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1 + \frac{d}{dt} L_1 \frac{d}{dt} M_{12} \frac{d}{dt} M_{13} \\ \frac{d}{dt} M_{21} r_2 + \frac{d}{dt} L_2 \frac{d}{dt} M_{23} \\ \frac{d}{dt} M_{31} \frac{d}{dt} M_{32} r_3 + \frac{d}{dt} L_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{pmatrix} \quad (2.98)$$



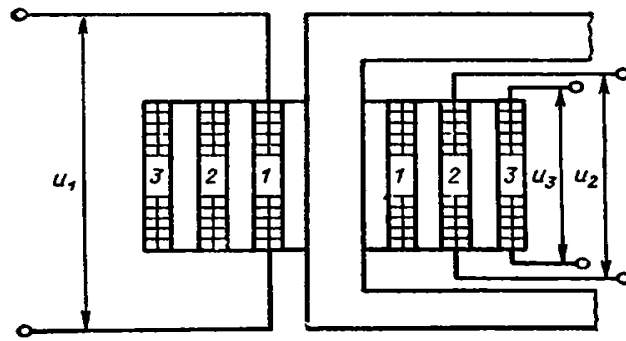
2.64- rasm. Ko'p cho'lg'amli bir fazali transformator.

2.97 da kuchlanish oldidagi (+) belgisi transformatoridagi bu cho'lg'amlarga quvvat berilganini bildiradi.

Agar tenglamani echishda kuchlanish manfiyga o'tib qolsa bu cho'lg'amlardan aktiv quvvatni echish kerakligini bildiradi.

m-cho'lg'amli transformatorlar tenglamasini alohida holat deb olsak ko'p cho'lg'amli kuch transformatorlari orasida ko'p tarqalgan uch cho'lg'amli transformatorlarning tenglamasi kelib chiqadi.

Uch cho'lg'amli transformatorlarning har bir sterjenida 3 ta cho'lg'am bor. (2.65 rasm). Sterjenga yaqin joylashgan cho'lg'am birinchi past kuchlanishga ega. Ikki cho'lg'amli transformatorlar kabi uch cho'lg'amli transformatorlar ko'p hollarda uch fazalidir.



2.65 - rasm. Uch cho'lg'amli transformator.

Uch cho'lg'amli transformatorlar tenglamasi bitta birlamchi cho'lg'am bilan va har xil kuchlanishga ega bo'lgan ikkilamchi cho'lg'amlar 2.97 dan olinadi;

$\frac{d}{dt} = j\omega$ almashtirish yo'li bilan o'rnatilgan rejimdagi 2.99 formulani olamiz.

$$\begin{aligned} U_1 &= I_1 r_1 + I_1 j\omega L_1 + I_2 j\omega M_{12} + I_3 j\omega M_{13} \\ -U_2 &= I_2 r_2 + I_2 j\omega L_2 + I_1 j\omega M_{21} + I_3 j\omega M_{23} \\ -U_3 &= I_3 r_3 + I_3 j\omega L_3 + I_1 j\omega M_{31} + I_2 j\omega M_{32} \end{aligned} \quad (2.99)$$

Transformatorni keltirilgan cho'lg'amlar sonini hisobga olib $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$ $L_1 = M + L_{\sigma 1}$, $L_2 = M + L_{\sigma 2}$, $L_3 = M + L_{\sigma 3}$ va barcha o'zaro induktivliklar bir xildir, 1-cho'lg'am uchun

$$U_1 = I_1 r_1 + I_1 j\omega M + I_2 j\omega L_{\sigma 1} + I_2 j\omega M + I_3 j\omega M \quad (2.100)$$

formulaga ega bo'lamiz.

Ikki cho'lg'amli transformatorlar kabi

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2.101).$$

Bunda

$$U_1 = I_1 r + I_1 jx_1 + I_0 j\omega M \quad (2.102)$$

Bu yerda: $x_1 = \omega L_{\sigma 1}$ - birlamchi cho'lg'amni induktiv qarshiligi.

Shunday qilib $e_1 = -j\omega M I_0$ birlamchi cho'lg'am tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega

$$U_1 = -E_1 + I_1 z_1 \quad (2.103)$$

Shu bilan birga transformatorni ikkita ikkilamchi cho'lg'ami uchun tenglama kelib chiqadi.

$$U'_2 = E'_2 - I'_2 z'_2 \quad (2.104)$$

$$U'_3 = E'_3 - I'_3 z'_3 \quad (2.105)$$

Shunda uch cho'lg'amli transformatorning tenglamasi quyidagicha bo'ladi

$$\begin{cases} U_1 = -E_1 + I_1 z_1 \\ U'_2 = E'_2 - I'_2 z'_2 \\ U'_3 = E'_3 - I'_3 z'_3 \\ I_0 = I_1 + I'_2 + I'_3 \end{cases} \quad (2.106)$$

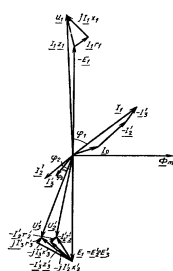
Bu tenglamalarda cho'lg'amlarning to'liq qarshiligi

$$z_1 = r_1 + jx_1 z'_2 = r'_2 + jx'_2 z'_3 = r'_3 + jx'_3$$

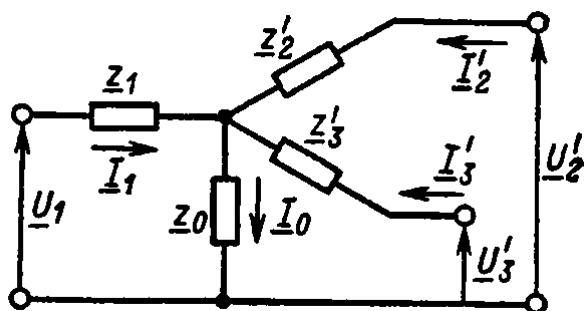
$$x_2 = \omega L_{\sigma 2}; \quad x_3 = \omega L_{\sigma 3} \quad \text{ga teng.}$$

Uch cho'lg'amli transformatorlarning muvofiqlashgan vektor diagrammasi 2.66 rasmda ko'rsatilgan.

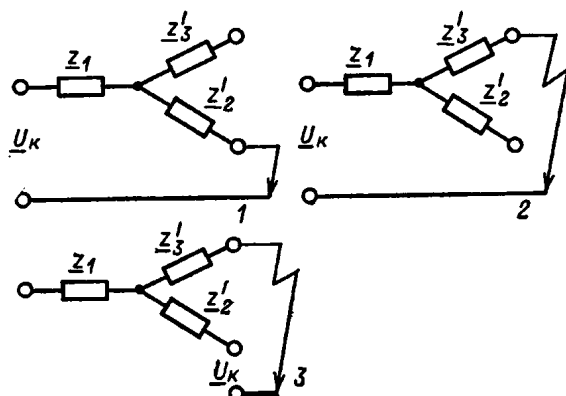
2.106 formula uchun va uch cho'lg'amli transformatorni (2.66 rasm)vektor diagrammasi radial joylashuv sxemasi to'g'ri keladi.(2.67 rasm).



2.66- rasm. Uch cho'lg'amli transformatorning vector diagrammasi.



2.67- rasm . Uch cho'lg'amli transformatorning joylashuv sxemasi.



2.68 - rasm. Uch cho'lg'amli transformatorlarda parametrlar joylashish sxemasini aniqlash uchun qisqa tutashuv tajribasi.

Vektor diagramma va sxemalar joylashuvidan kelib chiqib bitta II-cho'lg'amda yuklama o'zgarganda ikkilamchi cho'lg'amda ham kuchlanish

o'zgarishi kuzatiladi. Tok yuklamasi o'zgarganda cho'lg'amlarda tok oshib ketadi. Bunda magnitlangan tok va uch cho'lg'amli transformator oqimi umuman o'zgarmaydi. Ikkinchi cho'lg'amlarning birida yuklamaning ta'sir qilish darajasi boshqasiga z_1 qarshilikka bog'liq, chunki z_1 qarshilik qanchalik kata bo'lsa 1-cho'lg'amlarda kuchlanish tushadi va EYUK da o'zgarish ko'payadi.

Agar uch cho'lg'amli transformatorning joylashuv sxemasida z_0 kuchlanishni cheksiz desak joylashish sxemasini qarshiliklari tufayli hosil bo'lgan 3 ta konturni anglash qiyin emas. Shuning uchun joylashish sxemasi parametrlarini aniqlash uchun qisqa tutashuv bo'yicha 3 ta tajriba o'tkazish zarur (2.68 rasm). Bu tajribalarda navbat bilan transformator cho'lg'amlari tutashadi va ajraladi. Bunda har bir tajribada bitta qarshilik inkor qilinadi.

Birinchi tajribada

$$z_{k12} = r_{k12} + jx_{k12} = z_1 + z'_2 \quad (2.107)$$

Ikkinchi tajribada

$$z_{k13} = r_{k13} + jx_{k13} = z_1 + z'_3 \quad (2.108)$$

Uchinchi tajribada

$$z_{k23} = r_{k23} + jx_{k23} = z_2 + z'_3 \quad (2.109) \text{ lar aniqlanadi.}$$

Qisqa tutashuvni 3 ta tajribasida sxemalar joylashuv parametrlarini aniqlash mumkin.

$$z_1 = \frac{1}{2}(z_{k12} + z_{k13} - z_{k23}); \quad (2.110)$$

$$z'_2 = \frac{1}{2}(z_{k12} + z_{k23} - z_{k13}) \quad (2.111)$$

$$z'_3 = \frac{1}{2}(z_{k13} + z_{k23} - z_{k12}); \quad (2.112)$$

Magnitlashgan kontur qarshiligi ikki cho'lg'amli transformatorlar uchun ham salt ishlash tajribasidan kelib chiqadi. Shunu nazarda tutish lozimki qisqa tutashuv tajribasidan cho'lg'amlar qarshiliklari induksiya sinig teng summalari qarshiliklari $x_{k12}, x_{k13}, x_{k23}$ qisqa tutashuv tajribasidan aniqlanadi. x_1, x'_2, x'_3 cho'lg'amlar qarshiligining induktiv qiymati bir-biriga nisbatan cho'lg'amlar joylashuviga bog'liq va transformator sterjeniga bog'liq. Qisqa tutashuv tajribasidan x_1, x'_2, x'_3 ni aniqlashda induktiv qarshilikning manfiy qiymati olinadi.

Uch cho'lg'amli transformatorning cho'lg'amlarida kuchlanish o'zgarishi ikki cho'lg'am uchun aniqlanadi;

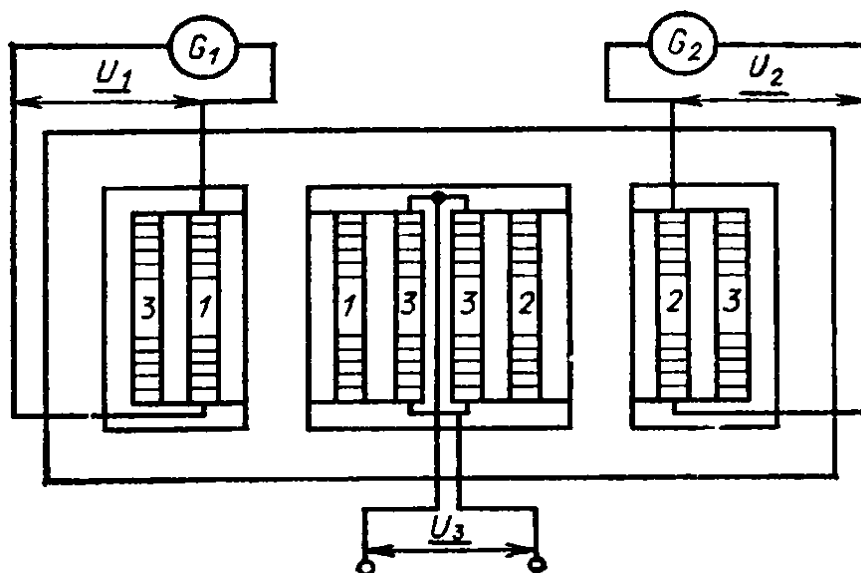
$$\Delta U_{12} = \frac{U_1 - U'_2}{U_1} \text{ va } \Delta U = \frac{U_1 - U'_3}{U_1}$$

Cho'lg'amlarning bunday bajarilishida GOST barcha 3 cho'lg'amlar uchun quvvatni belgilaydi

$$\begin{array}{ccc} 100\% & 100\% & 67\% \\ 100\% & 67\% & 100\% \\ 100\% & 67\% & 67\% \end{array}$$

Cho'lg'amlarning bunday bajarilishida transformator 100% quvvatni ikkilamchi cho'lg'amlardan biriga berishi mumkin.

Avval quyidagi cho'lg'amlardagi transformatorlar ishlab chiqarilgan.



2.69 - rasm. Ikkita bir va bitta ikki cho'lg'amli bir fazali 3 cho'lg'ali transformator.

Bu transformatorlarga mis kam sarflangan. Ularda bir cho'lg'amda 100% quvvatni yoki $2/3$ quvvatni yo'naltirish mumkin bo'lgan. Uch cho'lg'amli transformatorlar $Y/Y_0 - 0 - 11$ yoki $Y_0/\Delta/\Delta - 11 - 11$ ulanish sxemasiga ega. Bir fazali uch cho'lg'amli transformatorlar nol ulanish guruhiga ega. Transformator pasportida qisqa tutashuv $u_{k12}\%$, $u_{k13}\%$, $u_{k23}\%$ kuchlanishi ko'rsatilgan.

Uch cho'lg'amli transformatorlar ikkita generator chiqishiga ulangan ikkita bir cho'lg'amga ega bo'lgan transformatorlarni kuchaytiruvchi sifatida qo'llaniladi. 3- cho'lg'ami esa yuqori voltli tarmoqqa ulanadi. Bu holatda uch fazali guruhga ulangan uchta transformator qo'llaniladi. Bir fazali uch cho'lg'amli transformatorning sxemasi 2.69 rasmda ko'rsatilgan.

Birlamchi cho'lg'amlar har xil sterjenlarda joylashgan bo'laklarining yuqori kuchlanishli ikki cho'lg'am ikkita parallel tarmoqqa ega. Transformator (G_1 yoki G_2) generatorlardan biri o'chirilganda ham ishlay oladi. Bunda ikkilamchi cho'lg'amdagi tok ikki parallel tarmoqlardan birida oqadi. Bu sxemada ko'rinib turibdiki uchcho'lg'amli transformator birlamchi konstruksiyada ikkita ikki cho'lg'amli transformatorni bog'lab turibdi.

Ikkita birlamchi cho'lg'amlarga ega bo'lgan uch cho'lg'amli transformatorlar bu cho'lg'amlarda har xil nominal kuchlanishga ega. G_1 va G_2 generatorlarni kuchlanishlari teng bo'lmaganda I_3 tok parallel tarmoqlarda teng taqsimlanmaydi.

Bunda U_1 va U_2 kuchlanishlarni aniqlaydigan F_1 va F_2 oqimlar har xil bo'ladi. Bu esa sterjenlardagi to'yinishni har xilliligiga, po'latdagi isrofni bir xilda taqsimlanmasligiga olib keladi.

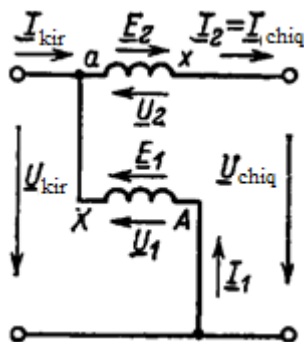
Uch cho'lg'amli transformatorlarni ko'rib chiqilgan nazariyasini to'rt cho'lg'amli va ko'p cho'lg'amli transformatorlarga ham qo'llash mumkin.

Nazorat savollari.

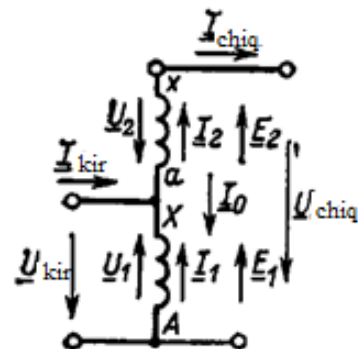
1. Ko'p cho'lg'amli bir fazali transformator tenglamalarni tushuntiring?
2. Ikki bir va bitta ikki cho'lg'amli bir fazali 3 cho'lg'ali transformator sterjen va chulg'amlarini tuzulishini tushuntiring?
3. Ko'p chulg'amlarini bog'lanish tenglamalarini yozing?

2.13. Avtotransformatorlar.

Elektromagnit energiyani qayta hosil qilish, transformatorlarda energiyani bir cho'lg'amdan boshqasiga uzatish magnit maydoni yordamida amalga oshiriladi. Uning energiyasi magnit uzatgichda yig'iladi. Avtotransformatorlarda energiya uzatish magnit maydoni va birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar orasidagi elektr aloqasi hisobiga amalga oshiriladi. (2.70 rasm) 2.70 sxemadagi avtotransformator 2.71 rasmdagi kabi boshqacha ko'rsatilishi mumkin. Bu sxemada transformatsiya koeffitsienti 1 ga yaqin bo'lgan transformatorlarga nisbatan avtotransformatorni afzalligi ko'rsatilgan. Transformatorlarda birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlardagi toklar bir-biriga qaratilgan yo'nalishda yuboriladi. Shuning uchun avtotransformatorlarda transformatsiya koeffitsienti U_{chiq}/U_{kir} da uncha katta bo'lmagan cho'lg'am joylashishi hisobiga misni tejashga erishiladi. Agar $\frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = 1$ bo'lsa barcha quvvat birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar orasida elektr aloqasi hisobiga uzatiladi. Transformatsiya koeffitsienti katta bo'lganda avtotransformator massasining kamayishi transformator bilan taqqoslanganda to'g'ri kelmaydi. Bunda avtotransformatorni qo'llash maqsadga muvofiq emas.



2.70- rasm. Avtotransformator cho'lg'amlarini ulanish sxemasi ko'rinishi.



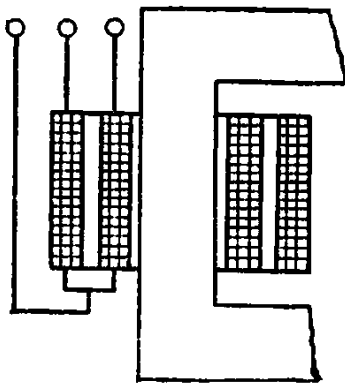
2.71 - rasm. Avtotransformatorni o'zgargan sxemasi.

Barcha joyda (110 va 220; 220 va 330; 330 va 500; 500 va 750 kv) qo'shimcha kuchlanishlar hosil qilishda faqat avtotransformatorlardan foydalaniladi. energotizimi uchun ko'pincha kuchlanishlarni hosil qiladigan eng yuqori quvvatga ega bo'lgan qurilmalar qurish talab qilinadi. Transformatorlar va avtotransformatorlarning o'lchami temiryo'l o'lchamlari va ularni yasovchi zavodlari, ularni ishlaydigan joyiga eltish imkoniyatlari bilan limitlashtiriladi. Avtotransformator aktiv materiallarini kam isrof qilganligi

uchun berilgan o'lchamlarda katta quvvatda bajarishi mumkin transformatorga qaraganda.

Avtotransformatorlar shuningdek past kuchlanishli tarmoqlarda kam quvvatli kuchlanishga ega bo'lgan laboratoriya regulyatorlari sifatida qo'llaniladi. Bu avtotransformatorlarda kuchlanishni boshqarish cho'lg'am buralishlaridagi sirpanuvchi kontaktlarni joylashishi asosida amalga oshiriladi. Qo'shni buralishlar tutashganda latorni ichiga buralish tutashuvlar kirmaydi. Chunki toklar tarmog'i va cho'lg'amlarda joylashgan kuchlanishlar avtotransformatorlarda bir-biriga yaqin joylashgan va bir-biriga qarab yo'naltirilgan.

Loyihalashda avtotransformatorlar transformatorlardan amaliy jihatdan farqlanmaydi.(2.72 rasm) Magnit oqimi sterjenlarida ikkita cho'lg'am joylashgan. Xulosa ikki cho'lg'amdanda va umumiy nuqtadan olinadi. Avtotransformatorning ko'p detallari konstruktsiya jihatidan transformatorlar detallaridan farq qilmaydi. Ko'pincha avtotransformatorning faol qismi moy bilan to'ldirilgan bakda joylashgan.(2.131 rasm)



2.72- rasm. Transformatorni bir fazali cho'lg'amining bajarilishi.

Avtotransformatorni loyihalashda boshlang'ich va hisobiy quvvatni farqlash lozim. Boshlang'ich quvvat

$$S_{at} = U_{kir} I_{kir} \approx U_1 I_{kir} \approx U_{chiq} I_2 \quad (2.113)$$

Avtotransformatorning hisob quvvati – bu magnit maydon orqali beriladigan quvvat:

$$S_{to'la} = U_1 I_1 \approx U_2 I_2 \quad (2.114)$$

Hisob quvvat avtotransformator gabaritlarini aniqlaydi va transformatsiya koeffitsientiga bog'liq:

$$S_{to'la} = S_{at} \left[1 - \frac{1}{1 + n_{21}} \right], \quad (2.115)$$

Bu yerda: $n_{21} = \omega_2 / \omega_1$ - birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar tarmoqlari sonining nisbati.

(2.115) dan avtotransformator transformatsiyaning kichik koeffitsientlarida kam faol materiallarni talab qilishi kelib chiqadi. Shuning uchun o'tish quvvati bir xil bo'lganida avtotransformatorlarni qo'llash foydaliroq – ular kam narx va birmuncha yaqxshe energetik ko'rsatkichlarga ega.

Avtotransformatorlarning kamchiliklari ikkala cho'lg'amning izolyatsiyasini katta kuchlanishga bajarish zaruriyati hisoblanadi, chunki cho'lg'amlar elektr aloqaga ega.

Avtotransformatorlar kuchlanish 0,38 kV gacha tushganida 6 kV tarmoqarda kuchlar sifatida qo'llanila olmaydi, chunki 380 V kuchlanish odamlar ishlayotgan qurilmaga beriladi. Avariyalarda avtotransformator cho'lg'amlari o'rtasidagi elektr aloqa tufayli yuqori kuchlanish pastki cho'lg'amga berilgan bo'lishi mumkin.

Avtotransformatorning cho'lg'amlarini yoqishga qarab Yuqori yoki past kuchlanish olish mumkin (2.73, a, b rasm).

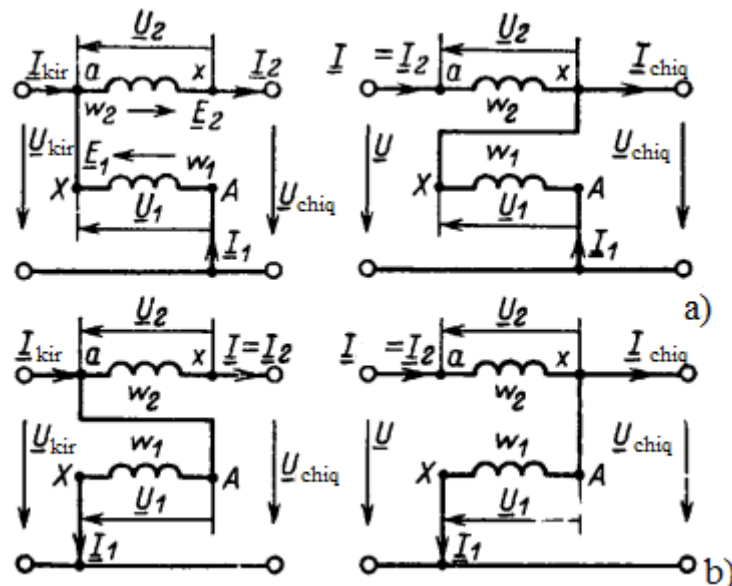
Avtotransformatorlarda ish jarayonlarini tahlil qilishda transformatorlar nazariyasidan maksimal foydalaniladi. Cho'lg'amlar o'rtasidagi elektr aloqa borligi avtotransformator tenglamasiga katta o'zgartirish kiritmaydi.

2.73, a rasmdagi sxemalar uchun avtotransformator tenglamasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= -E_1 + I_1 z_1; \\ U_2 &= E_2 - I_2 z_2; \\ I_0 &= I_1 + I_2 n_{21}, \end{aligned} \right\} \quad (2.116)$$

Bu yerda: I_0 tok ω_1 cho'lg'amdan o'tuvchi hisoblanadi; z_1 va z_2 - avtotransformator cho'lg'amlarining to'liq qarshiliklari.

(2.116) ga I_1 va I_2 toklarni I_{kir} va I_{chiq} va U_1 va U_2 kuchlanishlarni U_{kir} va U_{chiq} kuchlanishlar bilan bog'lovchi tenglamani qo'shish kerak. Bunda 2.70 rasm bo'yicha



2.73 -rasm. Bir fazali avtotransformatorlarni yoqish sxemasi:

a - ($U_{chiq} > U_{kir}$) ko'taruvchi; b - ($U_{chiq} < U_{kir}$) pasaytiruvchi.

$$\begin{aligned} U_{kir} &= -U_1; \quad U_{chiq} = U_{chiq} + U_2 \\ I_{chiq} &= I_2; \quad I_{kir} = -I_1 + I_2. \end{aligned}$$

(2.116) tenglamalarga mos keluvchi avtotransformatorning vektor diagrammasi 2.74 rasmda ko'rsatilgan.

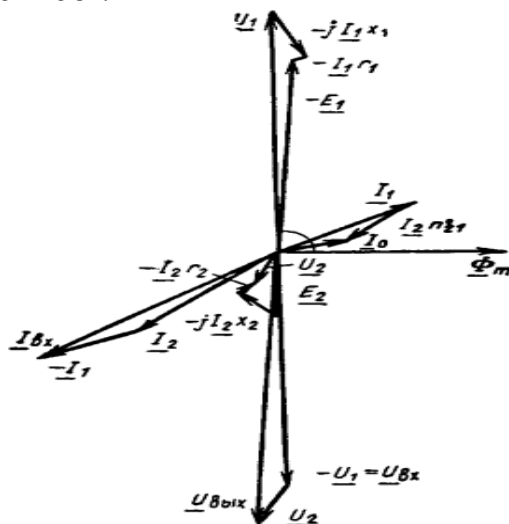
Avtotransformator qisqa tutashuvining kuchlanishi transformatorniki kabi quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$u_{k.at\%} = \frac{I_{2nom} Z_{k.at}}{U_{2nom}} 100 \%. \quad (2.117)$$

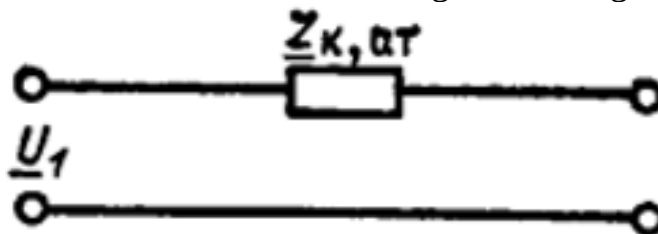
Avtotransformatorda qisqa tutashuv qarshiligi $z_{k.at}$ transformatordagidan kam, chunki qisqa tutashuv toki cho'lg'amlarning bir qismidan o'tadi, avtotransformatorning magnit tizimi esa yoyilish oqimlari bilan to'ynadi. Erkin oqish tokini hisobga olmaganda avtotransformatorning o'rnini bosish sxemasi 2.75 rasmda berilgan.

Qisqa tutashuvning katta toki avtotransformator kamchiligi. Bu tarmoqlarda qisqa tutashuv toklarini tizimning boshqa elementlari hisobiga cheklash zaruriyatiga olib keladi. Avtotransformator qisqa tutashuvining kichik kuchlanishi va qisqa tutashuvining katta toklari avtotransformatorning mexanik chidamliligini kuchaytirish zaruriyatini tug'diradi.

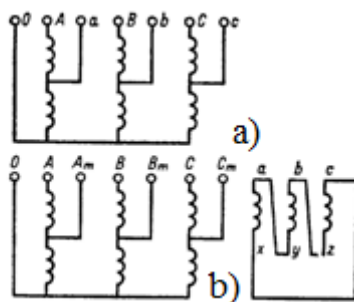
Bir fazali ikki cho'lg'amli avtotransformatorelar bilan bir qatorda ko'pincha uch fazali ikki cho'lg'amli (2.76 a rasm) va uch fazali uch cho'lg'amli (2.76 b rasm) avtotransformatorelar qo'llaniladi.



2.74 -rasm. Avtotransformatorning vektor diagrammasi.



2.75- rasm. Avtotransformatorning o'rnini bosishning oddiy sxemasi.



2.76 -rasm. Uch fazali (a) va uch fazali uch cho'lg'amli (b) avtotransformatorlar cho'lg'amini ulash sxemasi.

Uch fazali avtotransformatorlar, qoidaga ko'ra, yuqori kuchlanish tomonida nol simli yulduzga ulanadi. Yulduzga ulanish avtotransformatorizolyatsiyasi mo'ljallanadigan kuchlanishning pasayishini ta'minlaydi.

Avtotransformatorlarning qo'llanilishi energo tizimlar FIK ini yaxshilaydi, energiya berilish narxini pasayishini ta'minlaydi, lekin qisqa tutashuv toklari oshishiga olib keladi.

Nazorat savollari.

1. Avtotransformator cho'lg'amlarini ulanish sxemasini tushuntiring?
2. Bir fazali avtotransformatorlarni yoqish sxemasini tushuntiring?
3. Uch fazali avtotransformator tuzulishi haqida ma'lumot bering?

2.14. Ketma-ket transformatorlar.

Ketma-ket ulanadigan transformatorlar o'z xarakteristikalarini bo'yicha avtotransformatorlarga yaqin. Ketma-ket transformatorlar yuqori voltli tarmoqlarda energo tizimning alohida qismlarida tebranish va faza bo'yicha kuchlanishni boshqarish uchun qo'llaniladi.

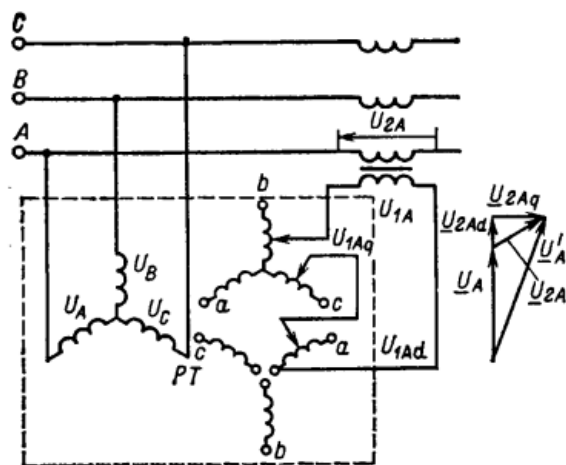
Energo tizimning alohida qismlarida kuchlanish tushishining o'rnini bosish elektr energiyasining sifati uchun muhim ahamiyatga ega. Faqat kuchlanish tebranishsi boshqarilganda bo'ylama boshqaruv o'ringa ega. Agar kuchlanish fazasi o'zgarib, tebranish o'zgarishsiz qolsa, kuchlanishning ko'ndalang boshqariluv haqida gapirishadi. Bunda tizimda $\cos\varphi$ o'zgaradi. Kuchlanishning ham tebranishsi, ham fazasi o'zgarganida kuchlanishni bo'ylama-ko'ndalang boshqaruvi o'ringa ega bo'ladi. bunda aktiv va reaktiv quvvat boshqariladi[4].

PT boshqaruv transformatorga ega ketma-ket transformator sxemasi 2.77 rasmda ko'rsatilgan. Boshqaruv transformatori ikki ikkilamchi cho'lg'amlarga ega, ularda alohida boshqaruv kuchlanishi echilishi mumkin. Bu aslida bir birlamchi va ikki ikkilamchi cho'lg'amga ega uch cho'lg'amli transformator.

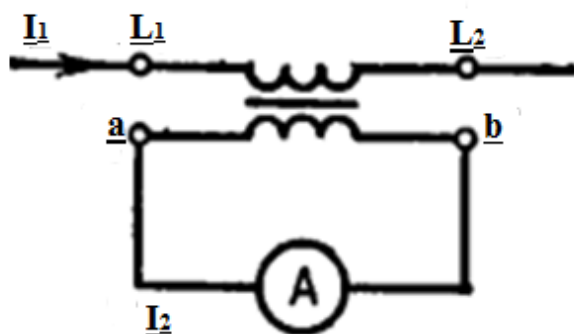
U_{1Aq} va U_{1Ad} kuchlanishlar 90° ga surilgan, chunki U_{1Aq} 120° ga surilgan ikki cho'lg'amdan echiladi (2.77 rasm):

$$U_{1A} = U_{1Ad} + U_{1Aq} \quad (2.118)$$

Shunday qilib, ketma-ket transformatorida kuchlanishni tebranish va faza bo'yicha boshqarish mumkin.



2.77- rasm. Boshqaruv transformatoriga ega ketma-ket transformator sxemasi.



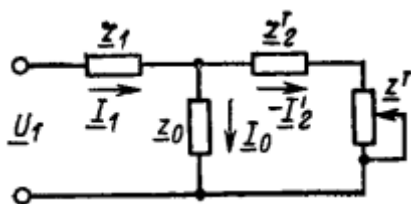
2.78- rasm. Tok transformatori.

Kuchlanishni bo'ylama-ko'ndalang boshqaruvi uchun transformator qo'pol va qimmat bo'ladi, shuning uchun ko'pincha faqat bo'ylama boshqaruv qo'llaniladi. Bu holatda boshqaruv transformatori bir yuklanish ostida boshqariladigan ikkilamchi cho'lg'amga ega, bu oddiy va ishonchli uskunani yaratish imkonini beradi.

Ketma-ket ulanish transformatorlarining butun sinfi o'lchov transformatorlari sifatida keng qo'llaniladi. O'lchov transformatorlari tok va kuchlanish transformatorlariga bo'linadi. Tok transformatorlarida ikkilamchi cho'lg'amga past qarshilikli qurilma yoki avtomatika uskunasi ulanadi (2.78 rasm). kuchlanish transformatorlari yuqori voltli tarmoqlarda pasaytiruvchi transformatorlar sifatida qo'llaniladi.

O'lchov transformatorlari bir necha yuz volt-amperglassha kichik quvvatga tayyorlanadi. Loyihalashtirishda ularga bosh talab tok va kuchlanishlarni o'zgartirishda kichik xatoliklar.

Tok transformatorlarida birlamchi cho'lg'am tarmoqqa ketma-ket ulangan, ikkilamchisi esa kichik qarshilikka ega. Tok transformatori aslida qisqa tutashuv rejimida ishlaydi.



2.79- rasm. tok transformatorining o'rni egallash sxemasi

$$\frac{I_0}{-I_2} = \frac{z_2 + z'}{z_0}, \quad (2.119)$$

Bu yerdan

$$I_2' = -I_1 \frac{z_0}{z_0 + z_2 + z'}, \quad (2.120)$$

Qurilmada tok I_1 o'lchanayotgan tokka proporsional bo'ladi, agar (2.120) da qarshilik yuklanishga bog'liq bo'lmasa, I_1 esa z_0 qarshilikdan ancha kichik bo'ladi. Tok transformatorlarining xatoligi qarshiliklarga bog'liq.

Tok transformatorlari ikkilamchi cho'lg'amlarda 1; 2; 2,5 va 5 A toklarda 40 000 A gacha toklarga bajariladi. Tok transformatorlari lentada yoki plastinalardan to'plangan magnit simida joylashgan ko'p tarmoqli yoki bir tarmoqli cho'lg'amga ega bo'ladi. Taqsimlovchi qurilma shina birlamchi cho'lg'am bo'lishi mumkin. Izolyatsiya turi bo'yicha transformatorlar quruq (havo, chinnili yoki boshqa qattiq izolyatsiyali) va moylilarga bo'linadi.

Tok transformatorlari 1150 kV chegara kuchlanishlargacha yuqori voltli tarmoqlarda qo'llaniladi. Tokning yuqori voltli transformatorlari ikki pog'onali kaskadli bajariladi (2.80 rasm).

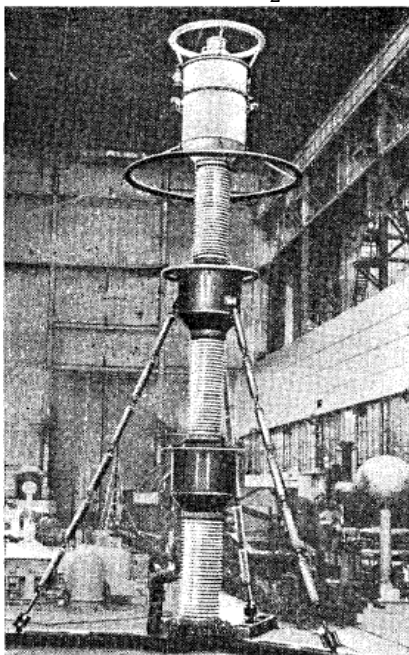
Kuchlanish transformatorlari yuqori voltli tarmoqlarda o'lchov transformatorlari va past kuchlanish tarmoqlarida rele himoyasi zanjirini ta'minlash va avtomatika uchun qo'llaniladi.

Kuchlanish transformatorlari erkin yurish rejimida ishlaydi. Transformatorni almashtirishning T-simon sxemasidan quyidagi kelib chiqadi

$$U_2' = -U_1 \frac{z}{z_1 + C_1 z_2 + C_1 z_1}, \quad (2.121)$$

Bu yerda:

$$C_1 = 1 + \frac{z_1}{z_2}.$$



2.80-rasm. 1150 kV kuchlanishga EFRM 1150B U-1 tok transformatori.

Kuchlanish transformatorida xatolik minimal bo'lishi uchun, $z+C_1z_2$ minimumga intilish va 1 ga yaqin C_1 ga ega bo'lish lozim.

Kuchlanish transformatorlarining xatoligi transformator quvvati va qizishiga bog'liq.

Kuchlanish transformatorlari 0,38 dan 1150 kV kuchlanishgacha bir fazali va uch fazali bajariladi. Ko'pincha biri ochiq uchburchakka ulanadigan ikki ikkilamchi cho'lg'amdan foydalaniladi. Kuchlanish transformatorlari quruq yoki moyli chiqariladi. 220 kV va undan yuqori kuchlanishlarda kaskad sxemalar qo'llaniladi. Kaskad bajarilganida transformator izolyatsiyasi engillashadi.

O'lchov transformatorlari "Elektr o'lchovlari" va "Elektr apparatlari" kurslarida batafsil ko'rib chiqiladi.

Nazorat savollari.

1. Boshqaruv transformatoriga ega ketma-ket transformator sxemasini tushuntiring?
2. Tok transformatorining o'lchov tizimidagi ahamiyati?
3. Tok transformatorining tenglamalarini yozing?

2.15. Transformator kuchlanishini boshqarish.

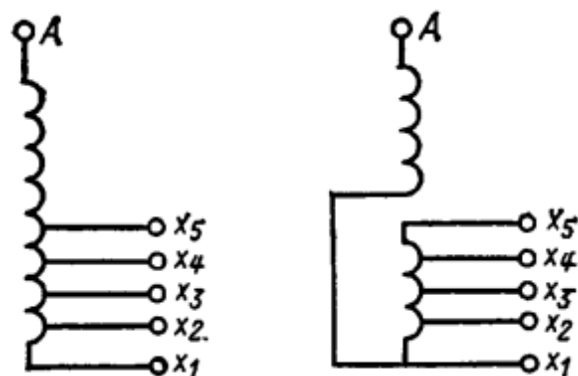
Energo tizimda yuklanish o'zgarganida, ayniqsa cheklangan quvvatning uzun chizig'i oxirida, kuchlanish o'zgarishi sodir bo'ladi. Kuchlanishning nominal bilan taqqoslaganda hatto 3 – 5 % ga kamayishi elektr mashinalari iste'mol qiladigan toklarning oshishiga olib keladi, bu elektr qurilmalarning ishiga yomon ta'sir qiladi. Shuning uchun transformatorlarning ikkilamchi kuchlanishini boshqarish zaruriyati tug'iladi.

Ikkilamchi kuchlanishni ikkilamchi cho'lg'am tarmoqlari sonini yoki ikkilamchi cho'lg'am bilan ulangan transformator oqimini o'zgartirish yo'li bilan o'zgartirish mumkin. ikkilamchi yoki birlamchi cho'lg'amlar sonini o'zgartirilishi bilan bog'liq usul keng tarqalgan, ya'ni transformatsiya koeffitsienti o'zgartiriladi.

Transformatsiya koeffitsientini o'zgartirish uchun cho'lg'am tarmoqlar bilan bajariladi, bu bilan kuchlanishning pog'onali boshqariluviga erishiladi (2.81 rasm).

O'rta quvvatli standart transformatorlar GOST bilan mos ravishda besh tarmoqqa ega. O'rtadagilar nominal kuchlanishga, qolgan ikkitasi esa nominaldan $\pm 2,5$ va $\pm 5\%$ ga farq qiluvchi kuchlanishlarga mos keladi. Katta quvvat transformatorlari tarmoqlarning ko'p soniga ega. Tarmoqlarni ko'proq yuqori kuchlanish tomonda bajarishadi, chunki boshqaruv katta aniqlikda o'tkazilishi mumkin, o'tkazuvchi esa ixchamlashadi[4].

Cho'lg'amlarning o'tkaziladigan qismlarini turli tarmoqlarda ishlaganda yarmalarga nisbatan toklarning taqsimlanishi simmetrik bo'lishi uchun cho'lg'am o'rtasida joylashtirishga harakat qilishadi.

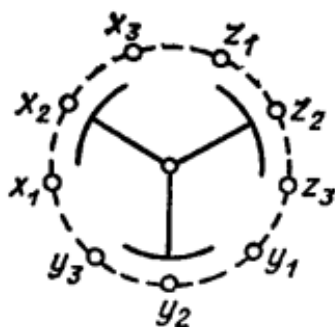


2.81- rasm. Kuchlanishni pog'onali boshqarish uchun tarmoqli cho'lg'am sxemasi.

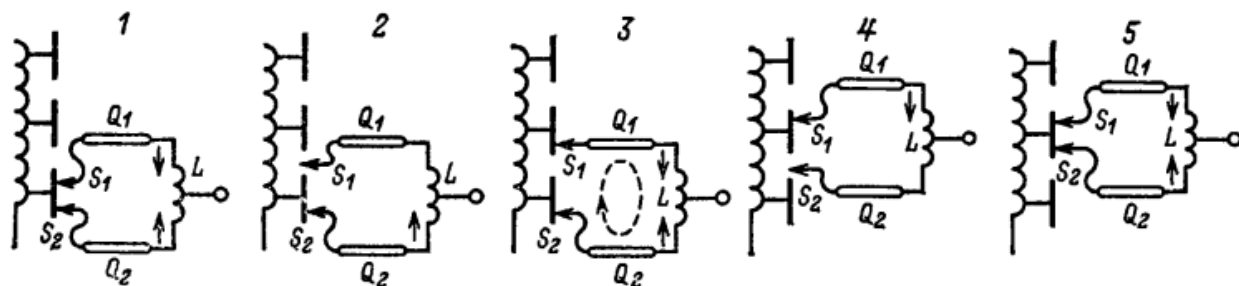
Chiziqli yuklanishlar birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amlar yonida teng taqsimlanishiga intilish kerak. Tarmoqlarning bir qismini o'chirish yoyilish magnit maydonining ravonligini buzadi. Bunda cho'lg'am tarmoqlarini o'q yo'nalishida siljitishga urinuvchi elektromagnit kuchlar hosil bo'ladi. bu kuchlar qisqa tutashuvda cho'lg'amni buzishi mumkin. Ortiqcha yuklanishlarni kamaytirish uchun tarmoqlar sonini almashtirishni cho'lg'amning nol nuqtasi tomonidan bajarish maqsadga muvofiq. Bunda o'tkaziladigan tarmoqlar izolyatsiyasini kamaytirish mumkin.

Transformatorlarning kuchlanishini boshqarishni ikki turga ajratishadi: tarmoqdan o'chirishda transformator tarmoqlarini almashtirish va yuklanish ostida kuchlanishni boshqarish.

Transformatorni tarmoqdan o'chirishda tarmoqlarning o'tkazilishini amalga oshiruvchi o'tkazgich cho'lg'am tarmoqlari bilan ulangan qo'zg'almas kontaktlar tizimi va qo'zg'aluvchi kontaktlar tizimiga ega (2.82 rasm). O'tkazgich bakning tomida yoki devorida joylashadi va o'tkazish qo'lda amalga oshiriladi. Bunday o'tkazgich bilan kuchlanishning boshqariluvchi yuklanishning mavsumiy o'zgarishida yoki sutka davomida amalga oshiriladi.



2.82- rasm. Transformator o'tkazgich.

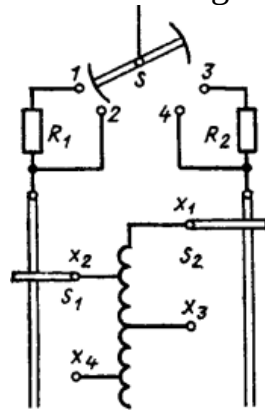


2.83- rasm. Yuklanish ostida transformator o'tkazgichlarining sxemasi.

Yuklanish ostida cho'lg'am tarmoqlarini o'tkazishda o'tkazgich murakkabroq bo'ladi. Yuklanish ostida transformatsiya koeffitsientini boshqarishda tarmoqlarning o'tkazilish sxemasi 2.83 rasmda ko'rsatilgan. Hosil bo'lgan konturda tarmoqlarning tutashuvida katta tok o'tmasligi uchun, bo'lingan cho'lg'amli L reaktordan foydalanishadi. Tokni cheklovchi reaktor qisqa muddatli Yuklanishga mo'ljallangan va uning ikkala kontakti bir tarmoqqa ulangan ish holatida qarshilikka deyarli ega emas, chunki uning ikkala yarimi qarama-qarshi ulangan. S_1 va S_2 o'tkazgichlar va reaktor transformatorning moy bakiga joylashtiriladi. Q_1 va Q_2 o'chirgichlar moyning asosiy hajmini ifloslantirmasligi uchun transformator devorida joylashgan alohida bakda joylashadi. O'tkazuvchi qurilmani boshqarish avtomatlashtirilgan.

Tarmoqlarning o'tkazilishi quyidagicha sodir bo'ladi. 1 holatda Q_1 o'chirgich o'chiriladi va S_1 2 holatga o'tkaziladi. 3 holatda, Q_1 cho'lg'am tarmoqlari va kommutatsiyalovchi qurilma bilan hosil qilingan yopiq konturda o'chirilganida, tok L reaktor bilan cheklanadi (yopiq konturdagi tok shtrix liniya bilan ko'rsatilgan). Keyin Q_2 o'chirgich o'chiriladi va S_2 o'tkazgich boshqa tarmoqqa o'tkaziladi (4 holat). 4 holatda Q_2 o'chirgich yoqilgan va transformator transformatsiyaning boshqa koeffitsienti bilan ishlaydi.

Yuklanish ostida tarmoqlarning o'tkazilishi tokni cheklovchi qarshiliklarni qo'llagan holda 2.84 rasmdagi sxema bo'yicha amalga oshirilishi mumkin. Bu qurilmada uch o'tkazgich bor – S , S_1 , S_2 . x_1 tarmoqdagi ishdan o'tishda oldin toksiz S_2 o'tkazgich yoqiladi, keyin S o'tkazgich 1, 3 holatga o'tkaziladi va R_1 va R_2 rezistorlar kiritiladi, keyin S_1 o'chiriladi va S o'tkazgich 3, 4 kontaktlarni yopadi. Qarshiliklar va transformator cho'lg'amlarining yopiq tarmoqlari qizishining oldini olish uchun kommutatsiya 0,1 s davomida amalga oshiriladi.



2.84 -rasm. Tokni cheklovchi qarshiliklar bilan o'tkazish sxemasi.

Yuklanish ostida kuchlanishni ravon boshqarishni transformator ish oqimining bir qismi ulanadigan shuntning magnitlanishida olish mumkin. Lekin bunday sxemalar qo'pol va cheklangan miqdorda qo'llaniladi.

So'ngi yillarda javobgar iste'molchilarning chiqishida kuchlanishni turg'unlashtirish, yuqori aniqlikda o'zgarmas qo'llash zaruriyati paydo bo'ldi. Kuchlanish turg'unlashtiruvchilarimaishiy qurilma va televizorlar uchun keng qo'llanila boshlandi.

Kuchlanishning yuqori turg'unligiga transformatsiya koeffitsientini o'zgartirish yo'li bilan erishiladi. Bunda cho'lg'am tarmoqlarining sonini almashtirish uchun boshqariladigan yarimo'tkazgichli qurilmalardan foydalaniladi – tiristor va tranzistorlar. Kuchlanishni turg'unlashtiruvchilar sxemasi [5] da ko'rib chiqilgan.

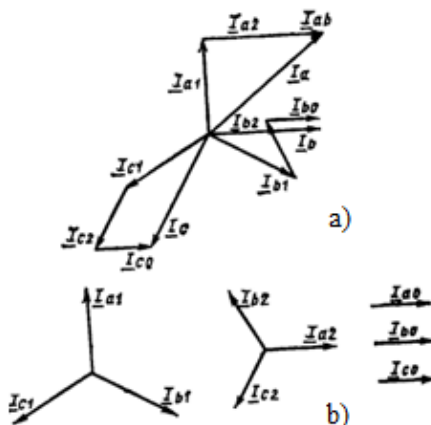
Nazorat savollari.

1. Kuchlanishning nominal qiymatini boshqarishning ahamiyati nimada?
2. Kuchlanishni pog'onali boshqarish uchun tarmoqli cho'lg'am sxemasini tushuntiring?
3. Tokni cheklovchi qarshiliklar bilan o'tkazish sxemasini tushuntiring?

2.16. Uch fazali transformatorlarning nosimmetrik yuklanishi.

Energo tizimlarda transformatorlardan foydalanishda ko'pincha fazalar bo'yicha yuklanish har xil bo'lishi mumkin. Bu odatda bir fazali yuklanishning uch fazali transformatorlariga ulanish bilan bog'liq: tortish stansiyalari, elektrotermik pechlar, yoritish yuklanishi va bir fazali iste'molchilar. Toklarning faza bo'yicha turliligi transformatorlar kuchlanishini yomonlashtiradi, bu iste'molchi uchun salbiy holatlarga olib keladi – elektromotorlar quvvati kamayadi, qizdirish lampalarida kuchlanish oshadi, bu ularning xizmat muddatini kamaytiradi.

Nosimmetrik rejimlar avariyalarda o'ringa ega bir va ikki fazali qisqa tutashuv. Nosimmetrik rejimlarda transformator yoki avtotransformatorda magnit simda induksiya erkin yurish nominal induksiyasidan oshganida ortiqcha qo'zg'alishi sodir bo'lishi mumkin. mavjud standartlar nominal kuchlanishning 10 % oshishiga yo'l qo'yadi. Foydalanishda bundan chuqur qo'zg'alishlarga yo'l qo'yilmaydi. 1,9 Tl dan katta induksiyalarda magnitlovchi tok ancha o'sadi va magnit simdan tashqarida magnit maydon deformatsiyalanadi, bu qo'shimcha yo'qotishlarning ko'payishi va sterjen va tortuvchi shpilkalar qisqish plitasi qizishiga olib keladi.



2.85- rasm. Nosimmetrik tizimning I_a, I_b, I_c , (a) simmetrik tashkil etuvchilarga bo'linishi (b).

Nosimmetrik rejimlarni o'rganish uchun simmetrik tashkil etuvchilar metodi qo'llaniladi. bunda birlamchi kuchlanishlar simmetrik va transformator cheksiz

quvvat tarmog'iga ulangan, ikkilamchi toklar esa nosimmetrik yuklanish bilan aniqlanadi deb hisoblanadi. simmetrik tashkil etuvchilar metodi bo'yicha I_a, I_b, I_c toklarning nosimmetrik tizimi (2.85, a rasm) to'g'ridan-to'g'ri, teskari va nolli ketma-ketlik simmetrik tok tizimlariga bo'linadi (2.85, b rasm):

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}; \\ I_b &= I_{b1} + I_{b2} + I_{b0}; \\ I_c &= I_{c1} + I_{c2} + I_{c0}, \end{aligned} \right\} \quad (2.122)$$

Bu yerda:

$$\begin{aligned} I_{b1} &= a^2 I_{a1}; \quad I_{b2} = a I_{a2}; \quad I_{c1} = a I_{a1}; \quad I_{c2} = a^2 I_{a2}; \quad I_{a0} = I_{b0} = I_{c0}; \quad a = e^{j\frac{2\pi}{3}}; \quad a^2 \\ &= e^{j\frac{4\pi}{3}}; \quad 1 + a + a^2 = 0. \end{aligned}$$

Bunda

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}; \\ I_b &= a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}; \\ I_c &= a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}, \end{aligned} \right\} \quad (2.123)$$

Bu yerdan

$$\left. \begin{aligned} I_{a1} &= \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c); \\ I_{a2} &= \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c); \\ I_{a0} &= \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c). \end{aligned} \right\} \quad (2.124)$$

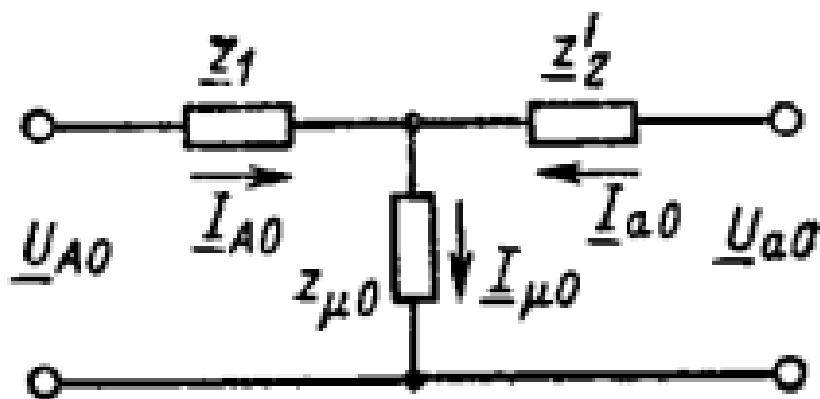
Shunga o'xshab kuchlanishlarning nosimmetrik tizimining U_a, U_b va U_c kuchlanishlar simmetrik ketma-ketligini hisoblash mumkin.

To'g'ridan-to'g'ri, teskari va nol ketma-ketliklarning tashkil etuvchilari (2.122)–(2.124) bo'yicha tahliliy yoki geometrik qurilishda aniqlanadi. Simmetrik tashkil etuvchilarga bo'lingandan so'ng qo'yish prinsipini qo'llashadi va to'g'ridan-to'g'ri, teskari va nol ketma-ketliklar uchun alohida transformator ishini tahlil qilishadi.

To'g'ridan-to'g'ri va teskari ketma-ketliklarning qarshiliklari transformatorlarda bir-biriga teng. Transformator chiqishida fazalar navbati tartibi o'zgarishida transformator qarshiligi o'zgarmaydi. Fazalar kelish tartibi o'zgargani faqat sterjenlar bo'yicha oqim maksimumining ko'chishi ketma-ket o'zgarishiga olib keladi. To'g'ri va teskari ketma-ketliklar uchun transformator qisqa tutashuvining qarshiligi bir xil va $z_1 + z_2 = z_k = r_k + jx_k$ ga teng, erkin yurish qarshiligi esa z_{12} ga teng.

Nol ketma-ketlik nuqtasi to'g'ri va teskari ketma-ketliklar ega chastotaga ega va barcha uch cho'lg'amda faza bo'yicha mos keladi. Nol ketma-ketlik toklari nol uzatmali uchburchak va yulduzga ulangan cho'lg'amlarda yopilishi mumkin. Nol simda quyidagi tok o'tadi

$$I_a + I_b + I_c = 3I_{a0} \quad (2.125)$$



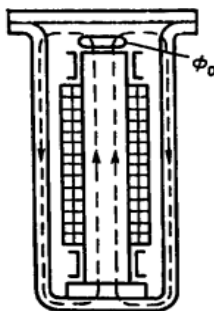
2.86 -rasm. Nol ketma-ketlikning o'rnini bosish sxemasi.

$I_{\mu 0}$ - magnitlovchi konturda nol ketma-ketlik toki; $z_{\mu 0}$ - nol ketma-ketlik uchun magnitlovchi kontur qarshiligi

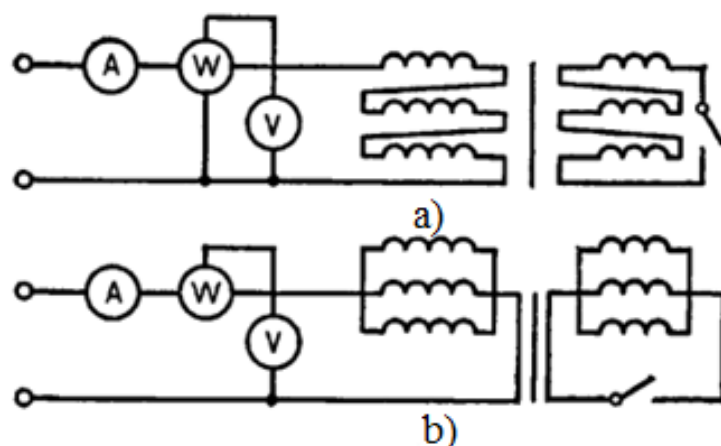
Nol ketma-ketlik toklari faza bo'yicha mos keluvchi nol ketma-ketlik oqimlarini yaratishadi. Nol ketma-ketlik oqim va toklari 3-garmonika oqim va toklariga o'xshash va chastota va "kelib chiqishi" bilan farq qiladi. 3-garmonika oqim va toklari transformatorlarda to'yinish tufayli hosil bo'ladi, nol ketma-ketlik oqim va toklari esa tuzilish jihatidan simmetrik bajarilgan transformatorlarda yuklanish nosimmetriyasi tufayli hosil bo'ladi. Umumiy holatda nol ketma-ketlik kuchlanish va toklari (teskari kabi) nosimmetrik transformatorlarda simmetrik yuklanishda va simmetrik transformatorlarda nosimmetrik yuklanishda hosil bo'ladi.

Nol ketma-ketlik uchun o'rnini bosish sxemasi taklif qilinishi mumkin, agar keltirilgan transformatorni ko'rib chiqilsa, unda to'g'ri ketma-ketlik kabi o'rnini bosishning T-simon sxemasi tuzilishi mumkin (2.86 rasm). nol ketma-ketlikning o'rnini bosish sxemasining parametrlari magnit simining tuzilishi va transformator cho'lg'amlariga bog'liq. Nol ketma-ketlik oqimlari uch fazali transformatorning barcha uch fazasida mos kelar ekan, uch sterjenli transformatorlarda nol ketma-ketlik oqimi havo va bak devorchasi bo'yicha yopiladi (2.87 rasm).

Bronli uch fazali transformatorlar va bir fazali transformatorning uch fazali guruhida nol ketma-ketlik oqimlari po'lat bo'yicha yopiladi. Tabiiyki, bunday transformatorlarda induktiv qarshilik nol ketma-ketlikning induktiv qarshiligi taxminan $z_{00} \approx (5 \div 8)z_k$ ga teng uch sterjenli transformatordagidan katta. Nol ketma-ketlik oqimi po'lat bo'yicha yopilganida nol ketma-ketlikning induktiv qarshiligi o'zaro induksiya qarshiligiga teng.



2.87 -rasm. Nol ketma-ketlik oqimlarining yopilish yo'llari.



2.88- rasm. Nol ketma-ketlikni o'rnini bosish sxemalarining parametrlarini tajriba yo'li bilan anqilash sxemasi.

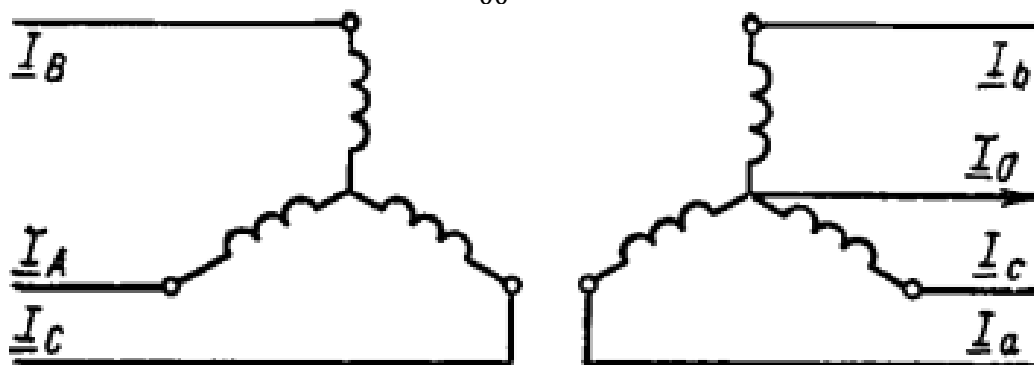
Nol ketma-ketlik qarshiligi 2.88 a, b rasm sxemalari bo'yicha tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Nol ketma-ketlikning to'liq qarshiligi

$$z_{00} = r_{00} + jx_{00} \quad (2.126)$$

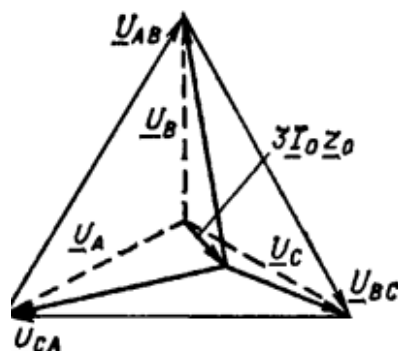
Bu yerda: r_{00}, x_{00} - nol ketma-ketlikning faol va induktiv qarshiligi.

To'g'ri va teskari ketma-ketliklar uchun o'rin almashtirish sxemalari kabi, faol va induktiv qarshiliklar bir fazaga tegishli. Almashtirish sxemasining faol qarshiliklari vattmetr ko'rsatkichlari bo'yicha aniqlanadi:

$$r_{00} = \frac{P_0}{3I_{00}^2} \quad (2.127)$$



2.89 -rasm. Y/Y₀ sxemada nol ketma-ketlik toklari.

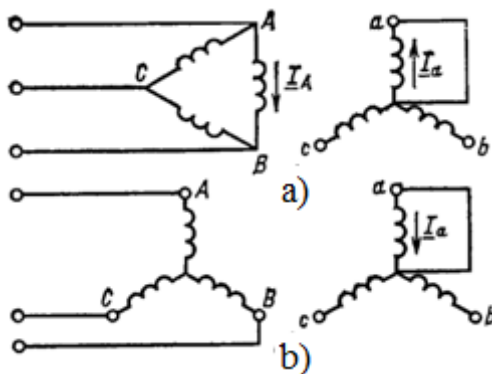


2.90 -rasm. To'liq qarshilik ampermetr va voltmeter ko'rsatkichlari bo'yicha aniqlanadi. 2-88, a- rasm uchun $U \approx 3I_{00}z_{00}$.

Uch sterjenli transformatorlarda x_{00} r_{00} bilan bir xil, bir fazali transformatorlarning uch fazali guruhida esa $x_{00} \approx x_{12}$. Y/Y₀ cho'lg'amlar ulanishida (2.89 rasm) nol ketma-ketlik toklari faqat ikkilamchi cho'lg'amdan o'tadi va birlamchi cho'lg'am toklari bilan tenglashmaydi. Transformatorlarda nol ketma-ketlik MYUK toklari bilan yaratilgan maydon hosil bo'ladi. (2.125) dan

$$U_a + U_b + U_c = 3I_{00}z_{00} \quad (2.128)$$

Nol ketma-ketlik toklari Y/Y₀ sxemada nol ketma-ketlik toklari simmetrik yuklanishda netyral bo'lgan chiziqli kuchlanishlar tortish uchburchagi markazidan geometrik neytralni siljitishadi (2.90 rasm). Neytralning siljishi fazali kuchlanishlar yulduzi buzilishiga olib keladi, bu transformatoridagi yo'qotishlariga salbiy ta'sir qiladi va iste'molchida kuchlanishni buzadi. Bron transformatorlarda va bir fazali transformatorlarning uch fazali guruhida nol ketma-ketlikning hatto kichik toklari neytralning ancha siljishiga olib keladi, chunki $z_{00} \approx z_{12}$. Bu tizimlarda neytralning ko'p siljishining oldini olish uchun nol ketma-ketlik tokini transformator nominal tokining 25 % miqdorida cheklashadi.



2.91 -rasm. Δ/Y va Y/Y sxemalarda bir fazali qisqa tutashuvlar.

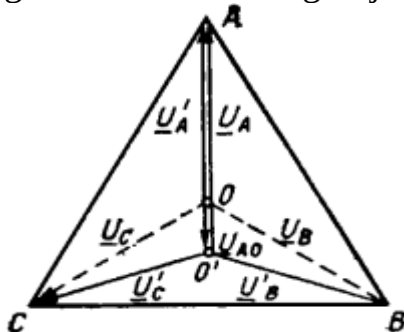
Transformator cho'lg'amlarini ulashda nol ketma-ketlikning Δ/Y_0 toklari ham birlamchi, ham ikkilamchi cho'lg'amda kechadi. Ham oddiy sxemada yuklanish toklari, ham Δ/Y_0 sxemada nol ketma-ketlik toklari bir-birining o'rnini to'ldiradi va transformatorida oqim yaratmaydi. Shuning uchun Δ/Y_0 sxemada neytral siljishi yo'q. Δ/Y_0 ulash sxemasi nosimmetrik yuklanish kutiladigan joyda qo'llaniladi.

Yuqori voltli transformatorlarda cho'lg'amlarni yulduzga qo'llash maqsadga muvofiq, chunki bunda transformator cho'lg'amlarining izolyatsiyasi mo'ljallanadigan uch fazali kuchlanishlar uchburchakka ulangandan $\sqrt{3}$ ta kichik. Uch cho'lg'amli transformatorlarda $\frac{Y}{Y_0}/\Delta$ ulanmalardan keng foydalaniladi. Uchburchakka ulangan cho'lg'am, odatda Yulduzga ulangan cho'lg'amlarning bir qismiga mo'ljallanadi. Bu holatda uni to'ldiruvchi cho'lg'amdeb atashadi. Yuklanish nosimmetrik bo'lganida nol ketma-ketlik toklari to'ldiruvchi va Y_0 sxema bo'yicha ulangan cho'lg'amdan o'tadi va nol ketma-ketlik oqimi transformatorida bo'lmaydi.

Agar transformatorida yuklanish nosimmetriyasi bilan kelgan y_0 yuklanish toklari, y_0 yuqori garmonikalar toki, yoki nol ketma-ketlik toklari o'tishi mumkin bo'lgan ikki yoki bir nechta konturlar bo'lsa, unda bunda toklar bir-birining o'rnini

to'ldiradi va bu toklardan oqimlar transformatorlarda bo'lmaydi. Har qanday to'ldirilmagan toklar transformatorning magnit simida oqimyaratadi[4].

Foydalanishda ko'pincha transformatorlarning bir yoki ikki fazalarning qisqa tutashuvida, cho'lg'amlarning turli ulanmalarida yoki transformatorning bir yoki ikki fazasi erga ulanishida, shuningdek faza uzilishidagi rejimlari uchraydi.



2.92- rasm. Bir fazali qisqa tutashuvda neytral siljishi.

Nosimmetrik rejimlarda toklarning hisobi energotizim kuch qurilmalaridan foydalanish, rele himoyasi va avtomatikani sozlash uchun muhim ahamiyatga ega.

Toklarning kichik nosimmetriyasi bir fazali qisqa tutashuvda o'z o'rniga ega (2.91, a va b rasmlar). Bu nosimmetrik yuklanishning chetki holati. 2.91, a rasmdagi sxema uchun

$$I_A = \frac{U_A}{z_k}; \quad I_B = I_C = 0;$$

2.91, b rasmdagi sxema uchun

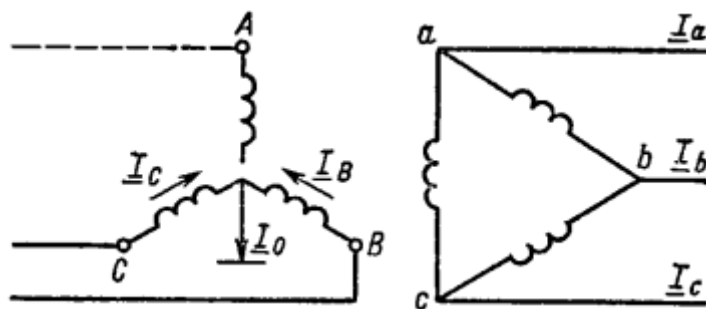
$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = I_a/3$$

$I_{a0} = U_A/(z_0 + z_2 + z_k)$ bu yerda U_A - fazali kuchlanish.

To'ldirilmagan toklar borligi uchun nol ketma-ketlik Y/Y sxemada bir fazali qisqa tutashuvda neytral siljishi o'ringa ega, bu U_{A0} nol ketma-ketlik kuchlanishi hisobiga yulduz fazali kuchlanishlarning buzilishiga olib keladi (2.92 rasm). Δ/Y sxemada bir fazali qisqa tutashuvda neytral siljishi yo'q, agar qisqa tutashuv – yulduzga ulangan cho'lg'am tomonda bo'lsa.

Transformator ishining nosimmetrik rejimlariga faza uzilishida ish rejimlari kiradi. Qoidaga ko'ra, bu avariya rejimlari, va transformatorlar energo tizimdan farq qiladi. Lekin Y_0/Δ uch fazali guruhda faza uzilishida (2.93 rasm) energiyaning ikki faza bilan vaqtincha berilish imkoni mavjud. Bu holatda to'liq bo'lmagan fazali rejim erkin yurishda teng tomonli uchburchak hosil qiladigan U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} transformatorning ikkilamchi tomonida chiziqli kuchlanishlarning tengligini ta'minlaydi. Bunda $I_0 = I_B + I_C$ tok etarlicha katta bo'lishi mumkin. buni foydalanishda hisobga olish kerak, chunki nol nuqtaning erga ulanishi katta toklarning o'tishiga mo'ljallanmagan.

Yuqorida transformatorlar nosimmetrik ish rejimlarining ko'p qo'llaniladigan misollarigina ko'rib chiqildi. Nosimmetrik rejimlar maxsus kurslarda batafsilroq ko'rib chiqiladi.



2.93- rasm. Y_0/Δ sxemada to'liq bo'lmagan fazali rejim.

Nazorat savollari.

1. Kuchlanish transformatorlarda yuklamani nosimmetrik taqsimlanishini sabablarini ko'rsating?
2. Nosimmetrik yuklamada transformatorning past kuchlanish chulg'ami qanday tartibda ulanadi?
3. Nosimmetrik yuklamada transformatorning faza toklarining taqsimlanishi va vektor diagrammasi?

2.17. Transformatorlarda o'tish jarayonlari

Transformatorlarda o'tish jarayonlari yoqishda, yuklanishni o'zgartirishda, turli kommutatsion va avariya rejimlarida paydo bo'ladi. Transformatorlarda o'tish jarayonlari (2.1), (2.97) differensial tenglamalar bilan ta'riflanadi. Boshqa parametrlarda (2.1), (2.97) tenglamalar o'xshash echimlarga ega. Induktivlik va o'zaro induktivliklar toklarga bog'liq bo'lgan to'yinganlikni hisobga olganda transformator tenglamalarini echish uchun EHM qo'llashadi.

Oldin transformatorning tarmoqqa ulanishini ko'rib chiqamiz. Bir fazali to'yinmagan transformatorni ochiq ikkilamchi cho'lg'am bilan yoqilishini tahlil qilamiz (2.94 rasm). bu oddiy jarayon uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin.

$$u_1 = i_1 r_1 + \frac{\omega_1 d\Phi}{dt}. \quad (2.129)$$

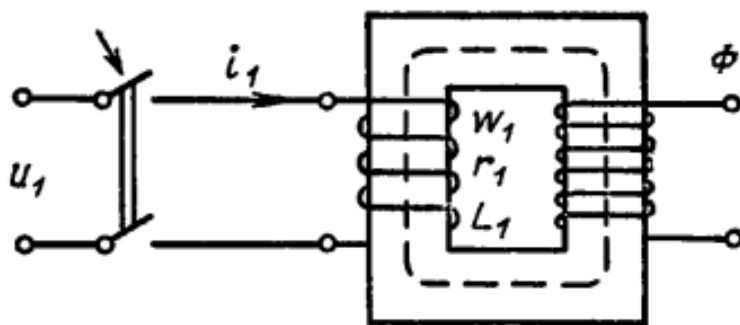
To'yingan transformatorlarda quyidagi nisbat adolatli

$$i_1 = \frac{\omega_1 d\Phi}{dt}, \quad (2.130)$$

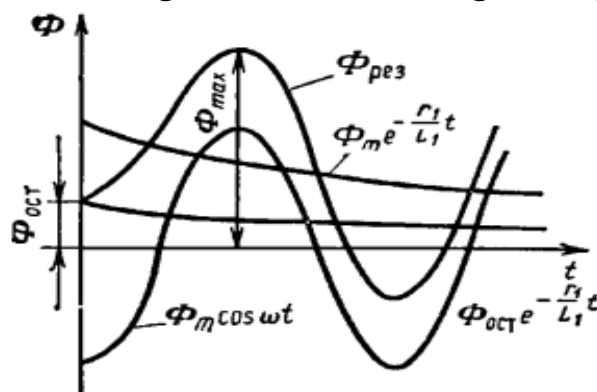
(2.130) ni (2.129) ga qo'ygan holda i_1 ning oldini olamiz va qo'yilgan sinusoidal kuchlanish uchun quyidagini olamiz

$$U_{1m} \sin(\omega t + \psi) = \frac{\omega_1 r_1 d\Phi}{L_1} + \frac{\omega_1 d\Phi}{dt}. \quad (2.231)$$

Bu yerda: ψ - transformatorning yonish vaqtida kuchlanishning oniy qiymatini aniqlovchi burchak.



2.94- rasm. Yuklanmagan transformatorning tarmoqqa ulanishi.



2.95- rasm. Transformatorni yoqishda o'tish jarayoni.

Shunday qilib, erkin yurishda transformatorning yoqilishi reaktiv g'altakning tarmoqqa ulanishi sifatida ko'rib chiqiladi. (2.131) yechim quyidagi ko'rinishga ega

$$\Phi = \Phi' + \Phi'' = \Phi_m \left[\cos \Psi e^{-\frac{r_1}{L_1} t} - \cos(\omega t + \Psi) \right] \pm \Phi_{qol} e^{-\frac{r_1}{L_1} t}, \quad (2.132)$$

Bu yerda: Φ' - quyidagiga teng, o'rnatilgan oqimning oniy qiymati

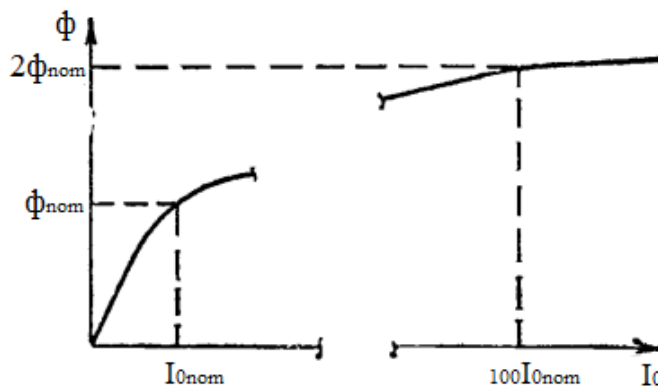
$$\Phi' = \Phi_m \sin \left(\omega t + \Psi - \frac{\pi}{2} \right) = -\Phi_m \cos(\omega t + \Psi) \quad (2.133)$$

Φ'' - oqimning o'tish erkin qiymatining oniy qiymati:

$$\Phi'' = (\Phi_m \cos \Psi \pm \Phi_{qol}) e^{-\frac{r_1}{L_1} t}; \quad (2.134)$$

Φ_{qol} - magnit oqimning qoldiq qiymati.

(2.132) tenglama yechimining grafik tasviri 2.95 rasmda keltirilgan. O'tish jarayoning xarakteri yoqish momentiga bog'liq. $\Psi = \pi/2$ va $\Phi_{qol} = 0$ bo'lganda $\Phi_m \cos(\omega t)$ oqim darrov o'rnatiladi va yoqish jarayoni tok tashlanishlarisiz kechadi.



2.96- rasm. Transformatorlarda erkin yurish tokining magnit oqimiga bog'liqligi.

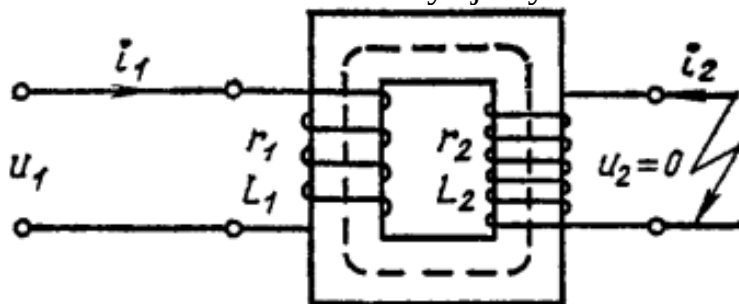
Bu yoqilish holati 2.95 rasmda keltirilgan. Oqim maksimal qiymatga taxminan yoqilgandan yarim davrdan so'ng erishadi, va $\Phi_{max} \approx 1.8 \div 2.5 \Phi_m$.

Oqim, qoldiq oqim $0,5 \Phi_m$ ga teng, erkin tarkib juda sekin so'nganda Φ_m ning 2,5-karrali qiymatiga etadi, bu $r_1 \ll \omega L_1$ bo'lgan kuchli transformatorlarda o'ringa ega. Kam quvvatli transformatorlarda yoqish jarayoni tezroq kechadi va tok kam tashlanishlari bilan kuzatiladi.

Oqimning Φ_m oqim bilan taqqoslaganda 2 – 2,5 marta oshishi real transformatorlarda transformatorning erkin yurishidan 100 va undan ko'p bo'lgan tok paydo bo'lishiga olib keladi (2.96 rasm). Odatda o'tish jarayonining davomiyligi katta emas va tok tashlanishlari bir necha davrdan so'ng so'nadi.

Kuch transformatorlarida magnitlovchi tok transformator nominal tokining 0,4 – 8% ni tashkil qiladi, shuning uchun yoqilganda tokning qisqa vaqtli tashlanishlari transformator nominal tokidan 1,5 – 2,5 marta katta bo'ladi. Tok tashlanishi yoqilganda transformator uchun xavfli emas, lekin himoyani transformatorning yolg'in o'chishlari bo'lmaydigan tarzda sozlash kerak.

Uch fazali transformatorlarda yoqish jarayoni har bir fazada 120° siljib kechadi. Bir fazali transformatoridagi kabi holatda bir fazali transformator uchun olingan tenglama uch fazali transformator uchun kabi qoladi. Qisqa tutashuvda o'tish jarayonlari transformatorlar uchun xavfli avariya jarayoni hisoblanadi.



2.97 -rasm. Bir fazali transformatorning qisqa tutashuvi.

Transformatorlarning qisqa tutashuvlari izolyatsiya zararlanganda, uzatish liniyasi tutashuvda, ortiqcha kuchlanishda va xodimlarning noto'g'ri harakatlari natijasida energotizimlarda hosil bo'ladi.

Transformatorlarda qisqa tutashuv jarayonini tahlil qilishda birlamchi cho'lg'amda kuchlanish va chastota o'zgarmas qoladi (cheksiz quvvat tarmog'i), tutashuv bevosita ikkilamchi cho'lg'amda sodir bo'ladi, transformator to'yingan deb hisoblashadi (2.97 rasm).

Tarmoqlar soni keltirilgan bir fazali transformatorni ko'rib chiqamiz. Transformatorning (2.1) differensial tenglamalaridan

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= i_1 r_1 + \frac{L_1 di_1}{dt} + \frac{M di_2}{dt}; \\ 0 &= i_2 r_2 + \frac{L_2 di_2}{dt} + \frac{M di_1}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (2.135) \text{ kelib chiqadi.}$$

Agar $i_1 = -i_2$ ni qabul qilib erkin yurish tokini e'tiborga olmasak va bir-biridan tizim tenglamalarini ayirsak (2.135), unda quyidagini olamiz

$$u_1 = i_1(r_1 + r_2) + \frac{(L_1 + L_2 - 2M)di_1}{dt}. \quad (2.136)$$

Bunda $L_1 = M + L_{\sigma 1}$ va $L_2 = M + L_{\sigma 2}$

Chunki $L_1 = M + L_{\sigma 1}$, $L_2 = M + L_{\sigma 2}$, ekan,

$$u_1 = i_1 r_k + \frac{L_k di_1}{dt} \quad (2.137) \text{ga ega bo'lamiz.}$$

Bu yerda: $r_k = r_1 + r_2$, $L_k = L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2}$.

(2.137) tenglama shuningdek qisqa tutashuvda transformatorni egallash sxemasidan olinishi mumkin (2.19 rasmga qarang).

$$\begin{aligned} i_1 &= i_{1k} = i_{1u} + i_{cv} \\ &= \sqrt{2}I_{1u} \sin(\omega t + \Psi - \varphi_q) \\ &+ \sqrt{2}[I_1 \sin(\Psi - \varphi) - I_{1u} \sin(\Psi - \varphi_q)]e^{-\frac{r_k t}{L_k}}, \end{aligned} \quad (2.138)$$

(2.137) yechim quyidagi ko'rinishga ega.

bu yerda: i_{1u} – quyidagiga teng bo'lgan qisqa tutashuv o'rnatilgan tokining oniy qiymati

$$\frac{U_m}{z_k} \sin(\omega t + \Psi - \varphi_q) = \sqrt{2}I_{1u} \sin(\omega t + \Psi - \varphi_q) \quad (2.139)$$

i_{1ca} - quyidagiga teng erkin tok

$$\sqrt{2}[I_1 \sin(\Psi - \varphi) - I_{1u} \sin(\Psi - \varphi_q)]e^{-\frac{r_k t}{L_k}} \quad (2.140)$$

Bu yerda: $I_{1y} - \frac{U_1}{z_q}$ ga teng bo'lgan, qisqa tutashuv o'rnatilgan tokining joriy qiymati;

φ_q - qisqa tutashuvda oniy qiymatni xarakterlovchi burchak; φ_q – qisqa tutashuvda fazali burchak; I_1 – qisqa tutashuv vaqtida yuklanish toki; Ψ – qisqa tutashuv vaqtida fazali burchak.

Qisqa tutashuvda jarayonlar tahlilini soddalashtirish uchun qisqa tutashuv transformatorida $I_l=0$ yuklanish tokida sodir bo'ldi deb hisoblaymiz, ya'ni erkin yurishda. Bu transformatorida katta o'zgarishga olib kelmaydi, chunki qisqa tutashuv toki yuklanish tokidan bir necha bor katta. Bu holat uchun

$$i_{1k} = \sqrt{2}I_{1u}[\sin(\omega t + \Psi - \varphi_k) - \sin(\Psi - \varphi_k)] \quad (2.141)$$

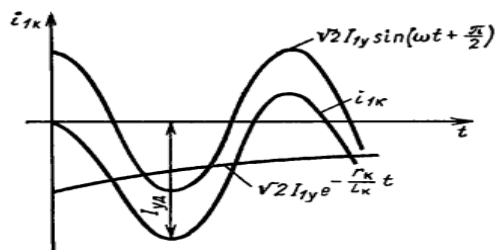
(2.141) dan $\Psi = \varphi_q$ bo'lganda erkin tok bo'lmasligi va qisqa tutashuv toki o'rnatilgan qiymatga teng bo'lishi kelib chiqadi.

Qisqa tutashuv toki eng katta qiymatga $\Psi = \varphi_q + \pi/2$ da erishadi (2.98 rasm). Qisqa tutashuv tokining maksimal qiymati qisqa tutashuvdan yarim davr o'tgach keladi. Qisqa tutashuvning zarb toki quyidagiga teng $I_{ud} = \alpha\sqrt{2}I_{1u}$, (2.142)
Bu yerda katta quvvat transformatorlari uchun $\alpha = 1,7/1,8$ va kichik quvvatli transformatorlar uchun $\alpha = 1,2 \div 1,3$.

Qisqa tutashuvning o'rnatilgan tokini, transformatorni to'yinmagan hisoblagan holda, quyidagi nisbatdan nisbiy birliklardan foydalanib topamiz

$$\frac{I_{1u}}{I_{1nom}} = \frac{100}{u_k} \%. \quad (2.143)$$

Qisqa tutashuv kuchlanishi qisqa tutashuvning o'rnatilgan tokini aniqlaydi va transformatorida dinamik jarayonlar xarakteristikasi uchun muhim ko'rsatkich hisoblanadi.



2.98- rasm. Qisqa tutashuvda transformatorida tok o'zgarishi.

Garchi qisqa tutashuvda transformatorida o'tish jarayonlari besh-yetti davrda so'nsada, qisqa tutashuvlar transformator uchun juda xavfli. $u_k \% = 5 \%$ da qisqa tutashuvning o'rnatilgan toki 20 marta, zarb toki esa taxminan 50 marta nominal tokdan oshadi.

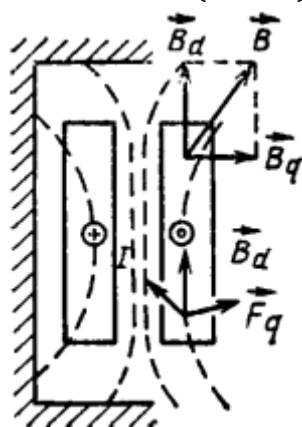
Qisqa tutashuvda transformator ishdan chiqmasligi uchun ular qisqa tutashuvda ularni o'chiradigan tez ishlovchi himoya yizimi bilan jihozlanadi.

Qisqa tutashuvda transformatorida kichik vaqt oralig'ida katta issiqlik ajraladi, bu moy portlashiga olib kelishi mumkin. Transformator baki zararlanmasligi uchun moyning transformator poydevori yonida joylashgan maxsus chuqurga quyilishini ta'minlaydigan himoya klapani va quvur o'rnatiladi.

Qisqa tutashuvda cho'lg'amga ta'sir qiluvchi ulkan kuchlar hosil bo'ladi. transformatorning qisqa tutashuvga chidashga yaroqliligi uning elektrodinamik mustahkamligi bilan aniqlanadi.

Magnit simi sterjenining atrofida joylashgan transformator cho'lg'amlari yoyilish maydoni sohasida joylashgan. Shuning uchun simlarning uzunlik birligiga yoyilish maydoni induksiyasi va tok ko'paytmasiga teng elektromagnit kuchlar ta'sir qiladi (2.99 rasm):

$$F = Bi \quad (2.144)$$



2.99 -rasm. Transformator cho'lg'amlariga ta'sir qiladigan elektromagnit kuchlar.

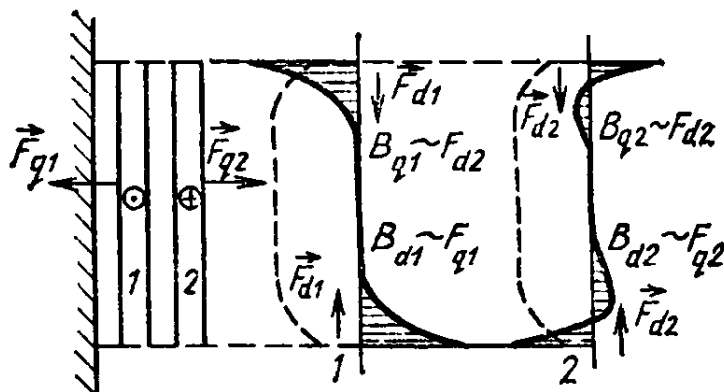
Qisqa tutashuvda elektromagnit kuchlar tok kvadratiga proporsional o'sadi, chunki qisqa tutashuv tokiga proporsional yoyilish oqimlari oshadi. Agar 1000 A tokda nominal rejimda va yoyilish maydoni induksiyasi 0,1 Tl bo'lib, simga ta'sir

qiluvchi elektromagnit kuch 1 N/smga teng bo'lsa, unda qisqa tutashuvda u deyarli 1000 marta oshadi.

Transformatorning elektrodinamik chidamliligini ta'minlash uchun cho'lg'am va magnit simini g'altak ko'cha olmaydigan va deformatsiyalanmaydigan tarzda bajarilishi kerak.

O'tuvchi jarayonlarda mexanik kuchlarning hisobi transformator cho'lg'ami hisoblangan yoyilish oqimi va murakkab mexanik tizim chidamliligini etarlicha aniqlash qiyinligida. Yoyilish maydoni B_d va ko'ndalang B_q tashkil etuvchilarga ega (2.99 rasm). cho'lg'amning turli nuqtalarida B_d va B_q o'zgaradi va cho'lg'amlarning bajarilishiga qarab, yoyilish maydonining ko'ndalang va bo'ylama tashkil etuvchilari cho'lg'am balandligi yo'nalishida o'zgarishi mumkin.

Radial kuchlar ichki cho'lg'amni qisadi va tashqisini cho'zadi. Cho'lg'amni siljitishga urinadigan B_q ko'ndalang tarkib ta'sirida hosil bo'ladigan o'q kuchlari xavfli. Ayniqsa bu cho'lg'amlari uzunlik bo'yicha nosimmetrik bo'lgan transformatorlar uchun xavfli, bunga ba'zan tarmoqlar soni farq qilganida, kuchlanishni boshqarishda yo'l qo'yishga to'g'ri keladi.



2.100 -rasm. Kotsentrik chulg'amlar uchun kuchlarning ko'ndalang va bo'ylama tarqalishi:1-birlamchi chulg'am; 2-ikkilamchi chulg'am.

2.100 rasmda teng balandlikka ega konsentrik cho'lg'amlar uchun yoyilish maydonining ko'ndalang va bo'ylama tarkibining va ko'ndalang va bo'ylama kuchlar taqsimlanishi ko'rsatilgan. F_{d1} va F_{d2} bo'ylama kuchlar cho'lg'amlardagi tok (tarmoqlarning keltirilgan soniga ega transformator ko'rib chiqilmoqda) va B_{q1} va B_{q2} yoyilish maydonining induksiyasi ko'ndalang tarkibi bilan aniqlanadi. Mos ravishda $F_{q1} \sim B_{d1}$, $F_{q2} \sim B_{d2}$. Transformator cho'lg'amlaridagi dinamik kuchning murakkab taqsimlanishi transformator tuzilishiga bog'liq, hisoblar aniqligi esa asosan yoyilish maydoni hisobi bilan aniqlanadi.

Elektrodinamik kuchlar tok kvadratiga proporsional, shuning uchun cho'lg'am vibratsiyasi tarmoq chastotasiga nisbatan ikkilik chastotaga ega.

Loyihalashtirishda cho'lg'am yaxshilab qotiriladi. Cho'lg'amlarni mahkamlash detallari va tugunlari maxsus sinov stendlarida sinaladi.

Uch fazali transformatorlarda simmetrik uch fazali qisqa tutashuvda o'tish jarayonlari fazada 120° ga siljish bilan o'tadi. Bir fazali transformator uchun olingan formulalar uch fazali transformator fazasi uchun adolatli.

Nosimmetrik qisqa tutashuvlarda o'tish jarayonlari EHM da o'rganiladi. Bunda transformator uch faza kuchlanish tenglamasi echiladi.

Tarmoqli qisqa tutashuv. Transformatorlardan foydalanganda tarmoqlarning izolyatsiyasi zararlanishi tufayli cho'lg'am ichidagi bir yoki bir nechta tarmoqlarning qisqa tutashuvi sodir bo'lishi mumkin. Bunda ikki cho'lg'amli transformatorlarda uchinchi qisqa yopilgan kontur paydo bo'ladi va zararlangan fazani uch cho'lg'amli transformator fazasi sifatida ko'rib chiqish mumkin.

Ikkilamchi cho'lg'amning yopiq tarmoqlaridagi tokni MYUK tengligidan kelib chiqib aniqlash mumkin:

$$\frac{\omega_{2k}}{\omega_2} \approx \frac{I_{2nom}}{I_{2k}} \quad (2.145)$$

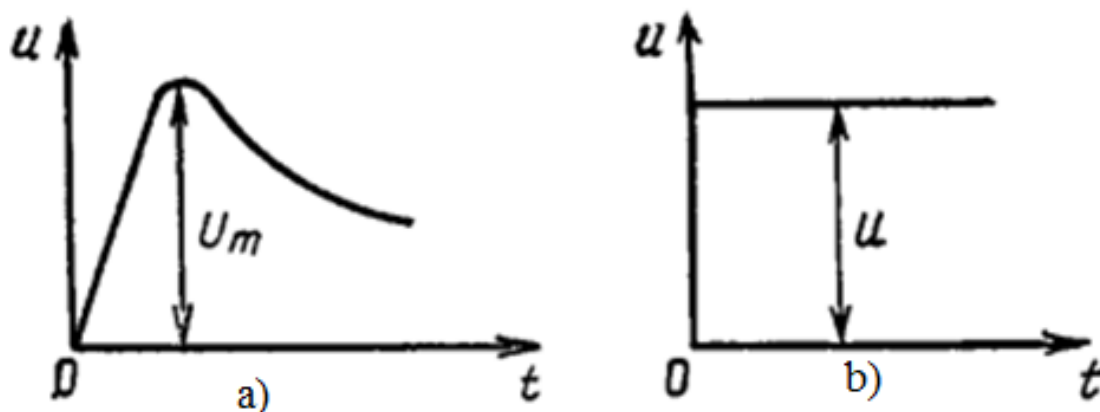
(2.145) dabirlamchi cho'lg'am tokini aniqlashda 2 indeks 1 ga almashtiriladi.

(2.145) dan kelib chiqib, yopiq tarmoqlardagi tok nominal tokdan o'n va yuz marta ortiq bo'lishi mumkin, bu yo'l qo'yilmaydigan mahalliy qizishga olib keladi, qisqa yopiq tarmoqlarga ta'sir qiluvchi ulkan kuchlar esa og'ir avariya va transformatorning ishga chiqishiga olib keladi.

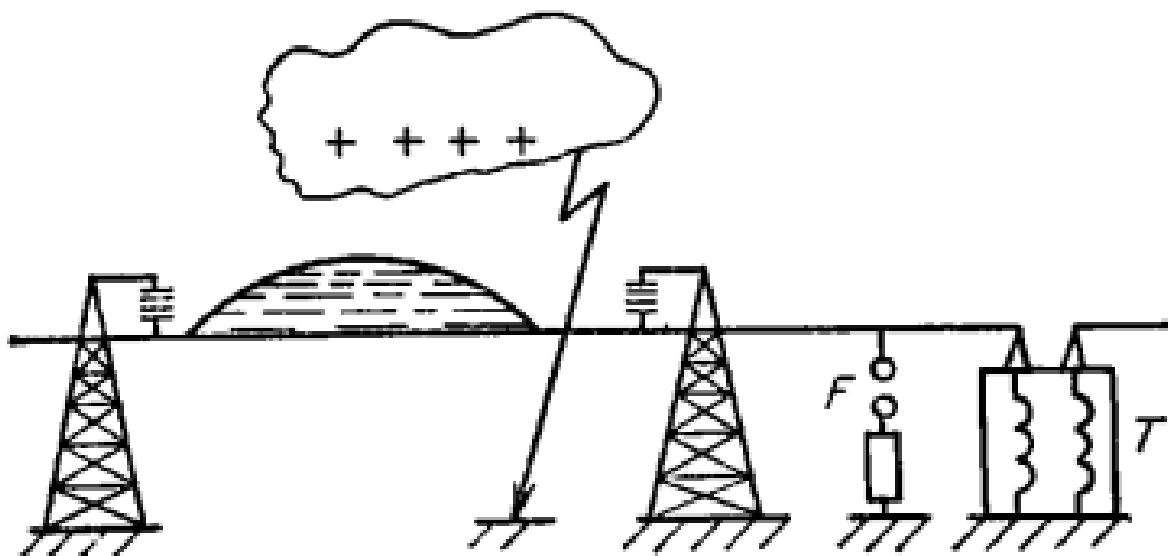
Faol qisqa tutashuvda tarmoqdan olinadigan tok deyarli oshmaydi: bu transformatorning tarmoq qisqa tutashuvlaridan himoyasini yaratish imkoniyatini yo'qqa chiqaradi. Transformatorning tarmoq qisqa tutashuvlaridan yagona himoyasi izolyatsiyaning to'g'ri hisoblanganligi, zavod-ishlab chiqaruvchining yuqori texnologik madaniyati va transformatoridan to'g'ri foydalanish hisoblanadi.

Ortiqcha kuchlanishlardagi transformatorlarda o'tish jarayonlari. Transformatorlarda energiya elektromagnit o'zgarishi nisbatan past 50-1000 Gs chastotalarda sodir bo'ladi. Bunday chastotalarda transformatorni almashtirish sxemasi faol va induktiv qarshiliklardan tashkil topgan.

Foydalanilganda transformatorlar tebranishi bo'yicha transformatorning nominal kuchlanishidan ancha katta bo'lgan qisqa vaqtli impulslarda to'g'ri to'rtburchakli shakldagi ta'sirga yo'liqishi mumkin. Energotizimlarda ortiqcha kuchlanish kommutatsion operatsiyalar (uzatish liniyalari va transformatorlar o'chirilganda va yoqilganida), avariya va chaqmoq razryadlarida hosil bo'ladi. Ortiqcha kuchlanishga xos to'lqin shakli aperiodik to'lqin hisoblanadi (2.101, a rasm). U_m gacha bo'lgan boshlang'ich, o'tkir o'suvchi qism to'lqin fronti, tushuvchi qism esa – to'lqin tushishi deb ataladi. Bunda to'lqin frontining davomiyligi bir necha mikrosoniyani tashkil etadi, ortiqcha kuchlanishning esa butun to'lqini o'nlab mikrosoniya ta'sir qiladi. To'g'ri burchakli frontga ega to'lqin engxavflisi (2.101, b rasm). U eng katta ortiqcha kuchlanishni beradi, to'g'ri burchakli to'lqinni garmonik tashkil etuvchilarga ajratganda yuqori garmonikalar tebranishi maksimal. To'g'ri burchakli frontga ega to'lqinlar chaqmoqdan ortiqcha kuchlanishda transformatorlarga keladi.



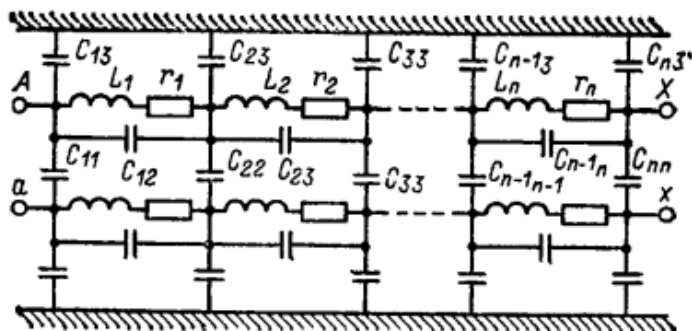
2.101- rasm. Ortiqcha kuchlanish to'liqlari: a – aperiodik; b – to'g'ri burchakli. Chaqmoqdan ortiqcha kuchlanishlarda manfiy zaryadlar chiziqli yonidan yorug'lik tezligida harakatlanadi (2.102 rasm). Chaqmoq zaryadlari olib kelgan to'liqlar chiziqlar oxirida ko'p marta aks etgan holda qisqa vaqtga transformator nominal kuchlanishidan o'nlab marta katta bo'lgan kuchlanish tebranishsini yaratadi. Transformator T cho'lg'amlari izolyatsiyasi buzilishidan saqlash uchun, transformator yonida F razryadniklar (2.102 rasm) o'rnatishadi va cho'lg'amning kiruvchi tarmoqlarida izolyatsiyani kuchaytirishadi. Chiziqsiz qarshiliklardan iborat bo'lgan razryadniklar faqat transformatorlardagi ortiqcha kuchlanishni kamaytiradi, shuning uchun transformator konstruksiyasi transformatorning ortiqcha kuchlanishlarga chidamliligini ko'zda tutishi lozim[4].



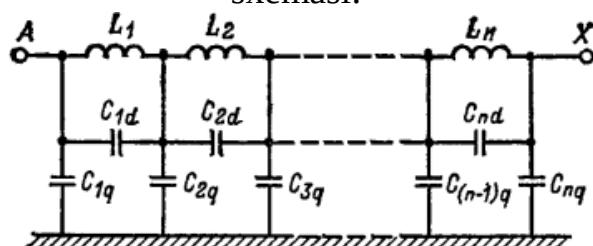
2.102 -rasm. Uzatish liniyasi va transformatorlarda chaqmoqdan ortiqcha kuchlanishlar.

Ortiqcha kuchlanishda o'tish jarayonlarini o'rganishda transformatorni egallash sxemasi taqsimlangan induktivlik va faol qarshilik bilan bir qatorda tarmoqlar, g'altak va yer o'rtasida sig'imlarga ega (2.103 rasm). Yuqori chastotalarda sig'im qarshiligi kamayadi va uni e'tiborga olish lozim. Transformatorning induktiv

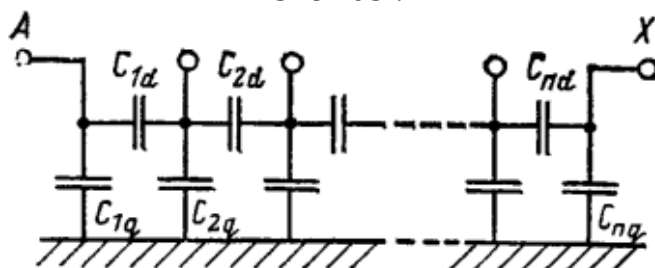
qarshiligi ωL shunchalik katta bo'ladiki, uni cheksizlikka teng deb hisoblash mumkin.



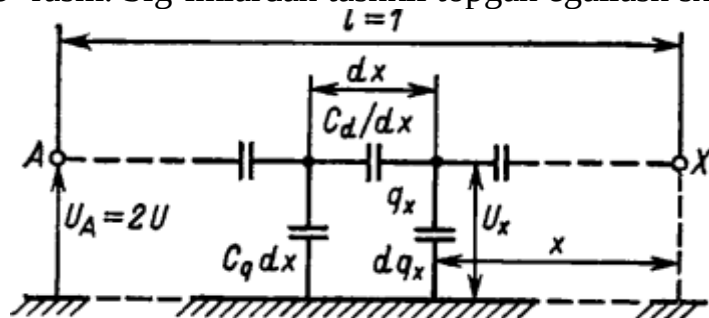
2.103- rasm. Tez kechuvchi jarayonlarda transformator cho'lg'amlari uchun egallash sxemasi.



2.104- rasm. O'tish jarayonlarida transformator cho'lg'amlarini egallashning sodda sxemasi.



2.105- rasm. Sig'implardan tashkil topgan egallash sxemasi.



2.106- rasm. O'ram sig'imli zanjirining elementi.

Ortiqcha yuklanishlarda transformatorni egallash sxemasi yuqori kuchlanish cho'lg'amlari uchun C_{12} , C_{13} tarmoqlar, C_{13} , C_{23} , ..., C_n cho'lg'am tarmoqlari va yer va C_{11} , C_{22} , ..., C_{nn} yuqori va pastki kuchlanishlar cho'lg'amlari tarmoqlari o'rtasidagi sig'implardan tashkil topgan. Xuddi shunday sig'implar pastki kuchlanish cho'lg'ami uchun ham mavjud (soddalashtirish uchun 2.103 rasmda tasvir belgilanmagan). 2.103 rasmdagi etarlicha murakkab egallash sxemasi barcha sig'imli aloqalarni ko'rsatmaydi. Sig'implar ham tarmoq uzunligi bo'yicha o'zgarishini e'tiborga olish

lozim, chunki bakka yaqin joylashgan tarmoq qismi va transformator oynasida joylashgan tarmoq qismida sig'implar turlicha.

Odatda ortiqcha kuchlanishlarda o'tish jarayonlari oddiyroq sxema bo'yicha ko'rib chiqiladi (2.104 rasm). Bu sxemada cho'lg'amlarning faol qarshiliklari nolga teng qilib olingan, tarmoqlarning sig'implari esa $C_{1d}, C_{2d}, \dots, C_{nd}$ bo'ylama sig'implar va $C_{1q}, C_{2q}, \dots, C_{nq}$ ko'ndalang sig'implarga bo'lingan.

Agar ortiqcha kuchlanishlardagi yuqori chastotalarda $\omega L \gg \frac{1}{\omega C}$, deb hisoblasak, unda tarmoqlar induktivligi orqali o'tadigan tok ham soddalashadi va u bo'yicha ortiqcha kuchlanishlarda o'tish jarayonlarini ayon ko'rish mumkin (2.105 rasm).

2.105 rasm egallash sxemasi uchun bo'ylama sig'im

$$C_d = \frac{1}{\sum_1^n \frac{1}{C_{id}}}; \quad (2.146)$$

To'liq ko'ndalang sig'im

$$C_q = \sum_1^n C_{iq} \quad (2.147)$$

Ortiqcha kuchlanishlarda katta frontli to'lqin transformatorning induktiv qarshiliklari bo'yicha o'tmasdan, bo'ylama va ko'ndalang sig'implarni zaryadlaydi. O'tish jarayonining birinchi momentida transformator kirish sig'imini o'zida namoyon etadi:

$$C_{kir} = \sqrt{C_d C_q} \quad (2.148)$$

Yuqori voltli transformatorlarning kiruvchi sig'imi $10^{-9} - 10^{-11}$ F ga yetadi. Katta frontli to'lqin birinchi momentda transformatorni zaryadlaydi, transformator zaryadi C_{kir} kirish sig'imi bilan aniqlanadi, transformatorning chiqishida kuchlanish to'lqinning ikkilik kuchlanishiga etadi.

Ortiqcha yuklanishda transformatoridagi jarayonlarni ko'rib chiqish uchun cho'lg'am sig'imli zanjirining elementiga e'tibor qaratamiz (2.106 rasm). Agar cho'lg'am uzunligini 1 ga teng qilib olinsa, unda dx egallash sxemasi elementida kuchlanish du_x bo'ladi. Quyidagi nisbatdan

$$u = \frac{q}{C} \quad (2.149)$$

Bu yerda q – sig'imdagi zaryad; C – sig'im, uni ketma-ket ulangan sig'implarda zaryad q_x , kuchlanish esa C_d/dx bo'lishini aniqlaymiz. Parallel ulangan sig'implarda kuchlanish C_d/dx , zaryad esa dq_x .

2.106 rasmdan quyidagi kelib chiqadi

$$u_x = \frac{1}{C_q} \frac{dq_x}{dx}; \quad (2.150)$$

$$\frac{u_x}{dx} = \frac{q_x}{C_d}. \quad (2.151)$$

(2.151) dan q_x ni topamiz va (2.150) ga qo'yib, quyidagina olamiz

$$\frac{d^2 u_x}{dx^2} - \frac{C_q}{C_d} u_x = 0 \quad (2.152)$$

(2.152) yechim quyidagi ko'rinishga ega

$$u_x = A_1 e^{\alpha x} + A_2 e^{-\alpha x}. \quad (2.153)$$

Bu yerda

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_q}{C_d}}, \quad (2.154).$$

Zamonaviy transformatorlarda $\alpha = 5 \div 15$. Doimiy integratsiyalash A_1 va A_2 chegara shartlardan olinadi.

Vaqtning boshlang'ich momentida elektr zaryadlar va toklar $i=dq/dt$ bo'ylama sig'imler bo'yicha bir vaqtda taqsimlanadi, chunki cho'lg'am oxiriga yaqinlashganda barcha katta toklar ko'ndalang sig'im bo'yicha o'tadi. Shuning uchun boshlang'ich tarmoqlarning bo'ylama sig'imlaridan katta toklar o'tadi. Bo'ylama sig'implarda kuchlanish tushishi natijasida shuningdek noravon taqsimlanadi, cho'lg'am boshidan oxiriga kamayadi.

Yerga ulangan cho'lg'am uchun (2.152) dan

$$u_x = u_A \frac{\sinh \alpha x}{\sinh \alpha}. \quad (2.155)$$

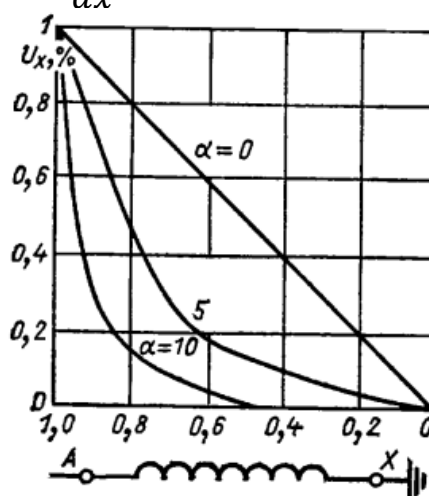
Yerga ulanmagan neytralli cho'lg'am uchun

$$u_x = u_A \frac{\cosh \alpha x}{\cosh \alpha}. \quad (2.156)$$

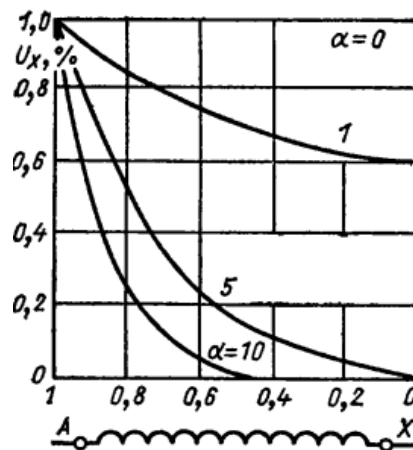
2.107 rasmda erga ulangan neytralli cho'lg'am uchun 2.105 rasm egallash sxemasi bo'yicha kuchlanishning boshlang'ich taqsimlanishi, 2.108 rasmda esa – yerga ulanmagan neytralli ko'rinishi ko'rsatilgan.

2.107 va 2.108 dan ko'rinib turibdiki, $\alpha > 5$ da boshlang'ich kuchlanishning taqsimlanishi ravon emas. O'tkir frontli to'lqinda kirish tarmoqlarida transformatorni izolyatsiyalash uchun xavfli katta ko'tarilish va tushishlar hosil bo'ladi. Erga ulangan neytralli cho'lg'am uchun $x=1$ bo'lganida (2.107 rasm)

$$\text{gradu}_x = \left[\frac{du_x}{dx} \right]_{x=1} = \alpha u_A \cosh \alpha. \quad (2.157)$$



2.107 -rasm. Erga ulangan neytralli cho'lg'am uchun kuchlanishning boshlang'ich taqsimlanishi.



2.108- rasm. Erga ulanmagan neytralli cho'lg'am uchun kuchlanishning boshlang'ich taqsimlanishi.

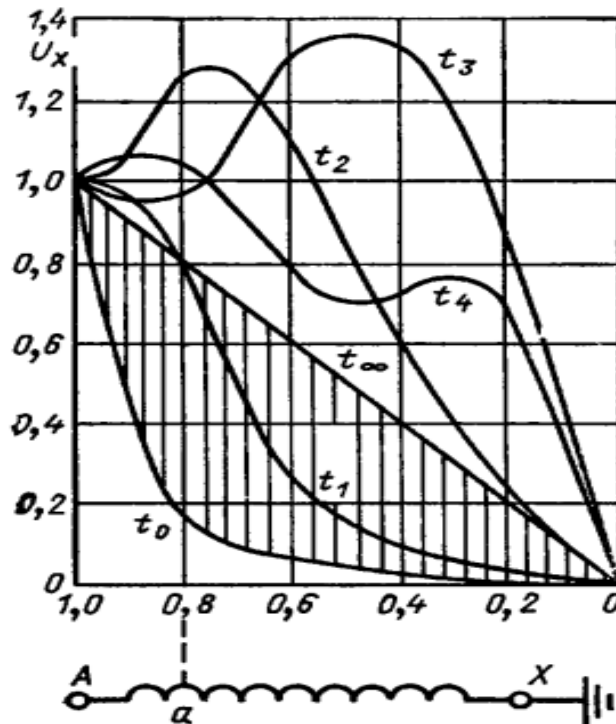
Yerga ulanmagan neytralli cho'lg'am uchun (2.108 rasm)

$$\text{gradu}_x = \left[\frac{du_x}{dx} \right]_{x=1} = \alpha u_A \text{tha}. \quad (2.158)$$

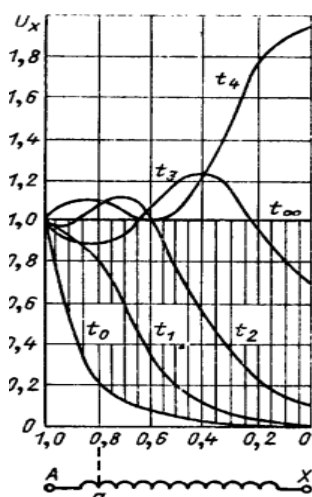
$\alpha > 3$ bo'lganda $\text{tha} \approx \text{cth}\alpha = 1$ va ikkala holat uchun

$$\left[\frac{du_x}{dx} \right]_{x=1} = \alpha u_A. \quad (2.159)$$

Ideal holatda – kuchlanishni to'g'ri chiziqli taqsimlashda $u_x = u_A$ – tiklik doimiy va $\frac{du_x}{dx} = u_A$ ga teng. Real cho'lg'amda, $\alpha \neq 0$ bo'lganida, kuchlanishning boshlang'ich taqsimlanishning maksimal tikligi $\alpha=0$ dagidan α marta ko'p. $U_{\text{nom}}=500$ kV bo'lgan, cho'lg'amda 50 g'altakka ega bo'lgan transformator uchun ravon taqsimlashda g'altakka 10 kV yotadi.



2.109- rasm. To'g'ri burchakli to'liq ta'sir qilganda uchi erga ulangan cho'lg'amda o'tish jarayoni.



2.110- rasm. To'g'ri burchakli to'lqin ta'sir qilganda uchi yerga ulanmagan cho'lg'amda o'tish jarayoni.

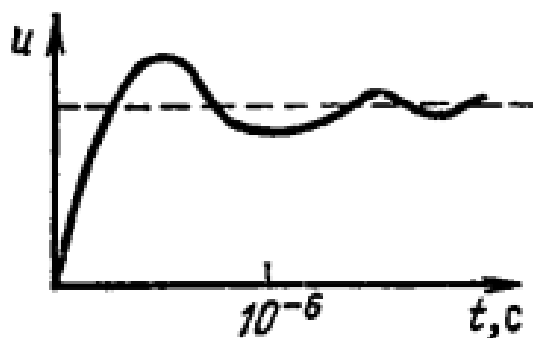
$a=10$ bo'lganda kiruvchi g'altakda boshlang'ich kuchlanish 100 kV bo'ladi.

Hozirgi kunda elektrotexnik sanoat 1150 kV kuchlanishli transformatorlarni chiqarayotganligini aytib o'tish lozim.

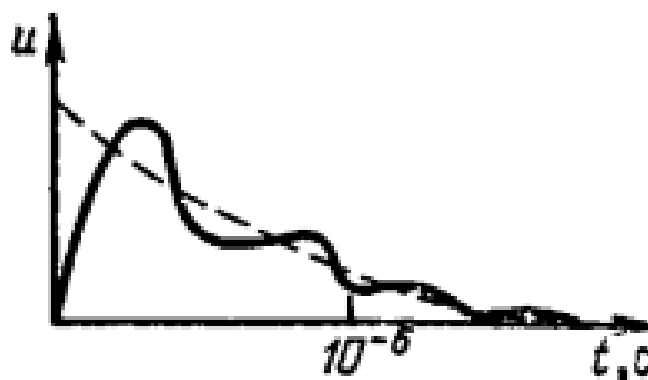
Kuchlanishning boshlang'ich taqsimlanishidan yakuniysiga o'tish davrini ko'rib chiqamiz. Bu o'tishda induktiv qarshilikni e'tiborga olish va cho'lg'am va uning elementlarini tebranuvchi konturlar sifatida ko'rib chiqish kerak. Boshlang'ich bosqichdan yakuniysiga o'tish transformatorlardagi yo'qotishlar tufayli so'nadigan yuqori chastotali tebranishlar ko'rinishida sodir bo'ladi. Bunda kuchlanish o'rnatilgan qiymatlarga intiladi.

2.109, 2.110 rasmlarda erga ulangan va izolyatsiyalangan neytralli cho'lg'amlar uchun boshlang'ich ($t=0$) va yakuniy ($t=\infty$) kuchlanish taqsimlanishlari o'rtasidagi vaqtning turli momentlarida kuchlanish taqsimlanishi ko'rsatilgan (nisbiy birliklarda).

Egri chiziqlardan ko'rinib turibdiki, to'g'ri burchakli to'lqin cho'lg'amga kirganda to'lqinlar deformatsiyalanadi va cho'lg'amning boshqa uchida aks etgan holda to'g'ri to'lqinga yotadi, bu bilan kuchlanishning vaqt bo'yicha taqsimlanishining murakkab kartinasini yaratadi. Tebranish jarayonlarining xarakteriga tebranish va kuchlanish shakli va cho'lg'am parametrlari ta'sir qiladi (uning induktiv, sig'imli va faol qarshiliklari).



2.111- rasm. To'g'ri burchakli to'lqinda erga nisbatan a nuqtada kuchlanish o'zgarishi (2.109 rasmga qarang).

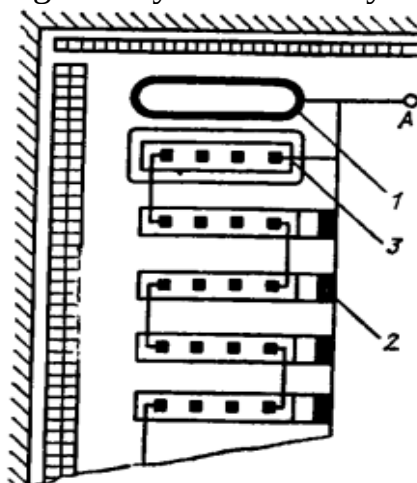


2.112- rasm. Yakuniy uzunlikka ega aperiodik to'lg'inda erga nisbatan a nuqtada kuchlanish o'zgarishi.

Transformator cho'lg'amiga tushadigan to'lg'inni garmonik qatorga qo'ygan holda garmonikalarning cheksiz spektri rezonans tebranishlarni chaqirib cho'lg'amga ta'sir qilishini va ortiqcha kuchlanishlarning butun murakkab o'tish jarayonini tasavvur qilish mumkin.

2.111 va 2.112 rasmlarda to'g'ri burchakli cheksiz uzun to'lg'inda va o'tkir frontli yakuniy uzunlikka ega aperiodik to'lg'inda a (2.109, 2.110 rasm) nuqtadagi cho'lg'am tarmoqlarida kuchlanish o'zgarishi keltirilgan.

Ortiqcha kuchlanishlarda o'tish jarayonlari qanchalik murakkab bo'lmasin, ularning transformatorning ishiga asosiy ta'sirlari 30-yillardayoq aniqlangan.



2.113 -rasm. Yukka chidamli transformator cho'lg'aming tuzilishi:
1 – halqa; 2 – ekran; 3 – kuchaytirilgan izolyatsiyali g'altak.

Ortiqcha yuklanishlarning asosiy ta'sirlarini kirish tarmoqlari va g'altak cho'lg'amlari qabul qiladi, o'tkir frontli to'lg'inlar eng xavflilari.

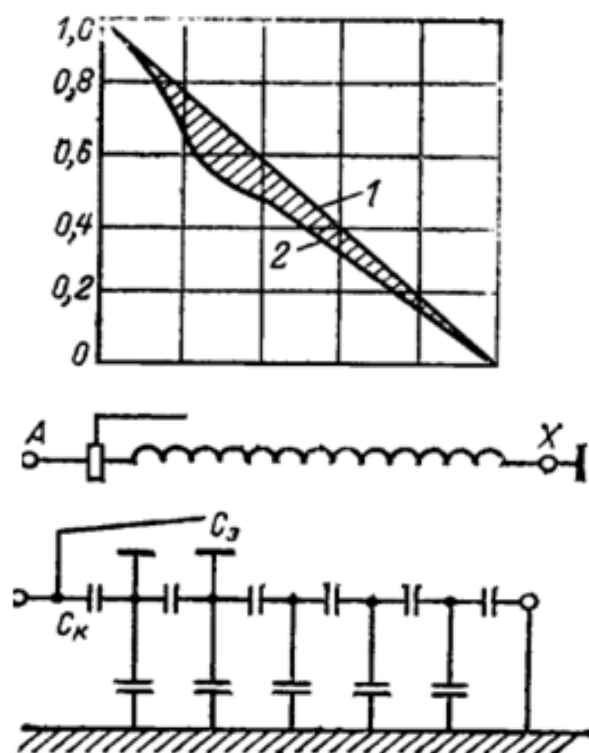
Transformatorlarni loyihalashtirishda ishonchli ishni ta'minlash uchun kiruvchi tarmoq va g'altaklarning izolyatsiyasini kuchaytirish, shuningdek kuchlanishning boshlang'ich taqsimlanishini tenglashtirishga urinish lozim. Buning uchun kiruvchi tarmoqlar va g'altaklarning sig'imini oshirish kerak.

Sig'imning oshirilishiga ochiq sig'im halqalari va elektrostatik ekranlardan foydalanish yo'li bilan erishiladi (2.113 rasm). Sig'im halqalari metallashtirilgan sirtli

qattiq izolyatsion materialdan tayyorlanadi. Kuchlanishning boshlang'ich va yakuniy taqsimlanishlarini yaqinlashtirish uchun birinchi g'altaklarni egallovchi va cho'lg'amning kiruvchi uchi bilan ulangan ochiq izolyatsion halqalarni o'zida namoyon etuvchi elektrostatik ekranlarni qo'llashadi.

Sig'imli halqalari va elektr ekranlari bo'lgan transformatorlarni rezonatsiyalamaydigan yoki chaqmoqqa chidamli transformatorlar deb atashadi. Rezonatsiyalamaydigan transformatorlar chaqmoq va kommutatsion ortiqcha kuchlanishlarni ko'taradi va havo va kabel liniyalariga ulanadi.

Boshlang'ich va yakuniy kuchlanishlarni taqsimlash va rezonatsiyalamaydigan chaqmoqqa chidamli transformatorning egallanish sig'imli sxemasi 2.114 rasmda ko'rsatilgan. 2.114 rasmdan ko'rinib turibdiki, kirish tarmoqlarida sig'imning oshirilishi tarmoqlar o'rtasida kuchlanishning ravon taqsimlanishiga olib keladi, ana shu transformatorning ortiqcha yuklanishlarga chidamliligini oshiradi.



2.114 -rasm. Chaqmoqqa chidamli transformator cho'lg'amida erga nisbatan kuchlanishni taqsimlash:

1 – yakuniy kuchlanish; 2 – boshlang'ich kuchlanish.

Boshlang'ich kuchlanishni tenglashtirish uchun shuningdek ekranlashtirilgan ko'p qatlamli cho'lg'amni, disk cho'lg'amlarda maxsus taglikni, chiziqsiz qarshiliklarga ega yuqori kuchlanishli cho'lg'am g'altaklarining shuntlanishini qo'llashadi. Izolyatsiyalineytralli yuqori voltli uch fazali transformatorlarda ortiqcha yuklanishga uchramaslik uchun nol nuqtada razryadnik, reaktor va kondensatorni yoqishadi. Bunday tuzilish neytralizolyatsiyasini ta'minlaydi va ortiqcha kuchlanishni echadi.

So'ngi vaqtlarda tarmoqlarning ketma-ket ulanishi ularning g'altaklarda sig'imli halqalar bilan birga ketma-ket joylashuvidan farq qiladigan cho'lg'amlardan foydalanilmoqda.

Zavod-ishlab chiqaruvchilarda transformatorlar yuqori voltni sinovlarga yo'liqtiriladi. GOST 1516-76 ga ko'ra moyli transformatorlar sinusoidal kuchlanishli va 1,5/40 to'lqinli impuls sinovlarga yo'liqtiriladi (davomiyligi 40 mks, kuchlanish 1,5 msdan so'ng maksimumga etadi). Quyida transformatorlar uchun sinov kuchlanishlarining qiymati keltirilgan:

Nominal kuchlanish, kV Sinusoidal kuchlanish, kV Impuls kuchlanish, kV

Navinal kuchlanish kV	Sinusoidal kuchlanish kV	Impusli kuchlanish kV
6	25	60
35	85	200
110	200	480
220	325	750
500	680	1550

Transformatorlardan foydalanishda ularning cho'lg'amlariga yo'l qo'yilganidan oshuvchi tebranishli to'lqinlar ta'sir qilishiga yo'l qo'ymaslik kerak.

Avtotransformatorlarda ortiqcha kuchlanishlarda o'tish jarayonlari transformatorlardagi kabi sifatli tahlil qilinishi mumkin, lekin avtotransformatorlarda to'lqin jarayonlari ba'zi o'ziga xosliklarga ega.

Nazorat savollari.

1. Transformatorni yoqishda o'tish jarayoni tushuntirib bering?
2. To'g'ri burchakli to'lqin ta'sir qilganda uchi yerga ulanmagan cho'lg'amda o'tish jarayoni diagrammasini tushuntirib bering?
3. Chaqmoqqa chidamli transformator cho'lg'amida erga nisbatan kuchlanishni taqsimlash sxemasini tushuntirib bering?

2.18. Maxsus transformatorlar

Transformatorning tuzilishlari turlicha, lekin ularni fizik jarayonlar va energiyani elektromagnit o'zgartirilishining matematik ta'riflanishi birlashtiradi. "maxsus transformator" termini shartli, chunki ko'pgina maxsus transformatorlar katta miqdorlarda rusumlar bilan chiqariladi (reaktorlar, pech va payvandlash transformatorlari), boshqalari esa kam rusumda chiqarilsa ham muhim joylarda qo'llaniladi. Ba'zi maxsus transformatorlarni ko'rib chiqamiz.

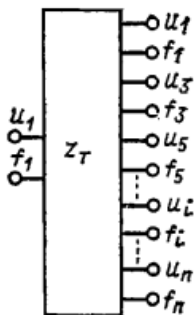
Chastota transformatorlari. To'yingan chiziqsiz transformator to'yinmaganidan farqli o'laroq shartli ravishda ko'p qutbli ko'rinishida 2.115 rasmda ko'rsatilgan garmoniyalar generatori hisoblanadi. Bir fazali chiziqsiz transformatorning chiqishida magnitlangan tokning yuqori garmoniyalari paydo bo'ladi, shundan kelib chiqib, EYUK lar ham, tebranishlari erkin yurishda magnitlash

egri chizig'ining turiga bog'liq. O'zgarishning to'g'ri burchakli xarakterida $B = f(H)$ yuqori garmoniyalar EYUK

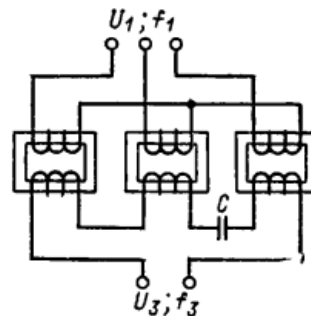
$$E_3 = \frac{1}{3}E_1, E_5 = \frac{1}{3}E_1, \dots, E_i = \frac{1}{i}E_1, \dots, E_n = \frac{1}{n}E_1.$$

Juft garmoniyalar transformator oqimida doimiy tashkil etuvchi bo'lganida hosil bo'ladi (2.9 ga qarang).

Chastotani uch marta ko'paytiruvchini olish uchun 3-garmoniyan ajratish, qolgan barchasini kamaytirish kerak. Bunga filtrlarni ikkilamchi cho'lg'amga yoqish yo'li bilan erishish mumkin.



2.115- rasm. Garmoniyalar generatori sifatida Z_T to'yingan transformator.



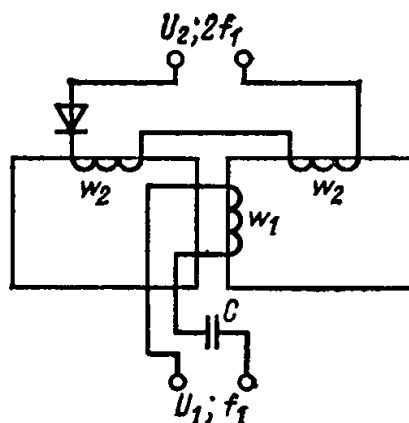
2.116 rasm. Chastotani uch marta oshiruvchi.

Filtrli sxemaqo'pol va yumshoq chiqish xarakteristikasiga ega. Chastotani uch marta oshirgichlarda ochiq uchburchakka ulangan uch bir fazali transformatorli sxema qo'llaniladi (2.116 rasm).

Y/Δ sxema, uchburchakka ulangan transformator cho'lg'amlarida fazasi bo'yicha barcha transformatorlarda mos keluvchi 3-garmoniya toki mavjud. Ochiq uchburchakka ulanganda 1-garmoniya kuchlanishi nolga teng. Ikkilamchi o'raga ulangan kondensator C sig'imi yuklanishda kuchlanish tushishining o'rnini bosish va chastotani uch marta oshirgichning tashqi xarakteristikasini qattiqroq qilish uchun 3-garmonika bo'yicha rezonansga sozlanadi $3\omega_1 L = 1/3\omega_1 C$.

Chastotaning statistik ko'paytuvchilari materiallardan kam foydalanishga ega, chunki eng yaxshi holatda nomagnitlashning to'g'ri burchakli xarakteristikasida 3-garmonika tebranishsi 1-garmonika tebranish qiymatining 33% ini tashkil qiladi. Uch marta oshirgichning tashqi xarakteristikasi yumshoq. Materiallardan yaxshi foydalanish uchun chastotani uch marta oshirgichdan nafaqat 3-garmonikani olishda, balki 1-garmonika bo'yicha transformator sifatida qo'llashda foydalaniladi. Buning uchun uch marta oshirgichning magnit simida oddiy sxema bo'yicha yulduz yoki uchburchakka ulangan uchinchi cho'lg'am bajariladi[4].

Chastotani ko'paytirgichlarda garmonikalar bir-biriga ta'sir qiladi, chunki ularning kelib chiqishi transformatorning ichki qarshiligi bilan bog'liq z_g . Bu kelib chiqishi bo'yicha fazoviy garmonikalar, lekin transformatorlarga MYUK ningfazoviy taqsimlanishi haqidagi tasavvur mos kelmaydi. Bir garmonika bo'yicha yuklanishning o'zgarishi boshqa garmonikalarda ham o'z aksini topadi.



2.117- rasm. Chastotaning ikki marta oshirilishi.

Chastotaning ikki marta oshirilishi magnitlash transformatorlari sxemasida olinadi (2.117 rasm). Bir fazali transformator ikki magnit simi va U_1, f_1 tarmoqqa ulanadigan va ikkala magnit simini egallaydigan ω_1 o'zgaruvchan tok cho'lg'amidan tashkil topgan. ω_2 magnitlash cho'lg'amlari turli magnit simlarida joylashgan, va ularda 1-garmonika EYUK i qoplanadi. Ikkilik chastotasi bo'lgan cho'lg'amlar ikki magnit simlarda joylashgan va 2-garmonika EYUK lari qo'shiladigan tarzda yoqilgan. Bu cho'lg'amlar magnitlash cho'lg'amlari bilan birlashtirilishi mumkin.

Magnitlash va magnit tizimining to'yinishi bo'lganida ikkilamchi cho'lg'amda toq garmonikalar bilan bir qatorda juftlari ham bo'ladi. Ular o'rtasida 2-eng katta tebranishga ega bo'ladi va chastotani ikki marta oshirgichlarda kuchlanishning 2-garmonikasi paydo bo'lishi uchun ijobiy sharoit yaraladi. Chastotani uchga ko'paytirish sxemasidagi kabi, kondensatorning yoqilishi chastotani ikkiga ko'paytirgichning tashqi xarakteristikasiga yaxshi ta'sir qiladi, chunki kondensator 2-garmonika uchun reaktiv quvvat manbai va yuqoriroq tartib garmonikalari uchun filtr hisoblanadi.

Ikkiga ko'paytirgich va uchga ko'paytirgichning chiqishini boshqa ikkiga ko'paytirgich va uchga ko'paytirgichlarning kirishiga ulagan holda chastotaning yana bir marta ko'payishiga ega bo'lish mumkin. Ikkiga ko'paytiruvchilarning kaskad sxemalari chastotaning to'rtga ko'paytirilishini, ikki uchga ko'paytiruvchilarning sxemasi – to'qqizga ko'paytirilishni beradi. Ikkiga ko'paytirgich va uchga ko'paytirgichning kaskad ulanishi 6-garmonikani beradi. Odatda kaskadga ikkitadan ortiq ko'paytirgich ulashmaydi.

Elektromexanik tizimlarning qator turlari uchun chastotaning masalan 25; $16^{2/3}$ Gsga kamaytirilishi talab qilinadi, shuning uchun chastotani statik bo'luvchilarining yaratilishi qiziqish uyg'otadi.

Chastotani ikkiga, uchga ko'paytiruvchilar va ko'paytiruvchilar sxemasi o'zgarmas. Agar kuchlanishni chastotani ikkiga oshirgichning ω_2 cho'lg'amiga olib kelinsa, unda 2 marta kam chastotaga ega kuchlanishli ω_1 cho'lg'amni olib bo'lmaydi. Bu ko'paytiruvchilar ishining asosida magnitlanishning chiziqsiz xarakteristikalari yotganligi, chiziqsiz tizimning o'ziga xosliklaridan biri – cho'lg'amlar o'rtasidagi o'zaro induktivlik farqi bilan tushuntiriladi: $M_{12} \neq M_{21}$.

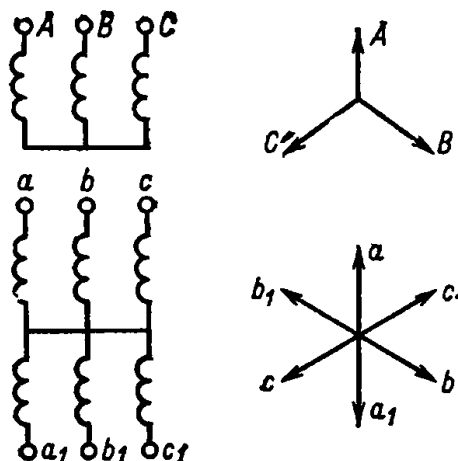
Chastotani bo'lish uchun 2.117 rasmda ko'rsatilgan sxema qo'llaniladi. ω_2 cho'lg'amlarda pulsldaydigan va doimiy tok oqadi. Chastota bo'luvchisining ishi uchun ikkinchi chiziqsiz elemnt ventil borligi katta ahamiyatga ega. Tok va ikkilamchi cho'lg'am MYUK ining garmonik qatorga qo'yilishi yuklanishga transformatsiyalanadigan asosiydan past chastotali subgarmonika garmonikalar beradi.

Chastotalarning elektromagnit bo'luvchilari noturg'un ishlaydi va nisbatan kam qo'llaniladi.

Fazalar soni transformatorlari. Garchi kuchlanishlarning uch fazali tizimi asosiy hisoblansada, sanoatda bir fazali, ikki fazali va olti fazali tizimlar keng qo'llaniladi. Bir fazali tizimlar tortish tarmoqlarida va elektropech va qizdiruvchi uskunalarni ta'minlash uchun qo'llaniladi. Ikki fazali tizimlar avtomatik boshqaruv tizimlarida ishlatiladi. Olti fazali tizimlar to'g'irlangan tokning pulsatsiyasini pasaytirishni ta'minlash uchun o'zgartiruvchi uskunalarda qo'llaniladi.

Kuchli turbogeneratorlarda stator cho'lg'ami parallel tarmog'ida tokni pasaytirish uchun olti fazali cho'lg'amdan foydalaniladi. Kuchlanishlarning olti fazali tizimi turbogenerator bilan blokda ishlayotgan transformator bilan uch fazali tizimga o'zgartiriladi.

Kuchlanishlarning uch fazali tizimini olti fazali tizimga o'zgartirilishi 2.118 rasmdagi sxema bo'yicha amalga oshiriladi.



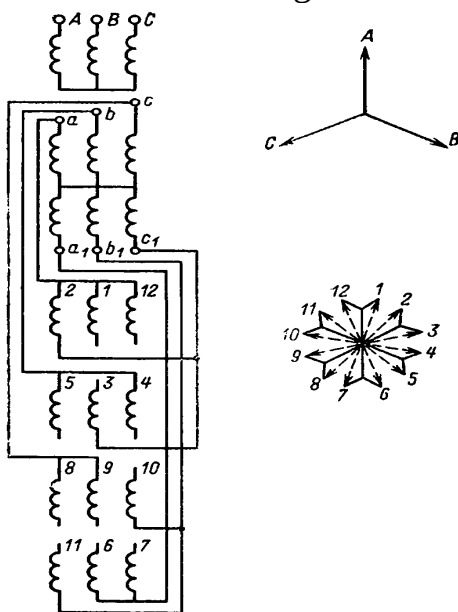
2.118-rasm.

Uch fazali sistemadan 12 fazali uch o'zakli transformator ulash sxemasi Yulduzcha ikkita zigzag usulida bo'ladi(2.119-rasm), yoki boshqa ulash sxemasini ham qllash mumkin. Misol uchun transformatorning olti o'zakli konstruksiyasi paytida yulduzcha sxemada o'zgarishning o'rtacha nuqtasi 6/12 analogik o'zgarish 3/6 qismini tashkil qiladi.

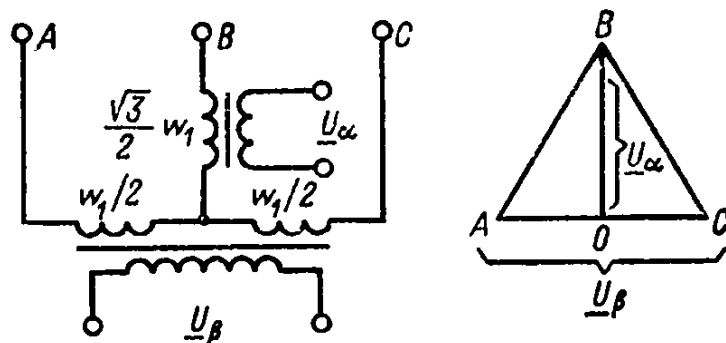
Transformator fazalar soni huddi oddiy transformatordek, kuchlanish birinchi cho'lg'amdan ikkinchisiga yoki ikkinchi cho'lg'amdan birinchisiga o'zgarishi mumkin. Shuning uchun fazalar sonini o'zgartirgichlari uch fazali sistema kuchlanishini ko'p fazaliga va ko'p fazalini uch fazaliga o'zgartirib beradi.

Uch fazalik sistemadan ikki faza olish uchun ikkita bir fazalik transformatorni nosimmetrik ulash kerak (2.120-rasm). Bir transformator cho'lg'amlarining soni ikkinchisiga nisbatan $3/2$ marta ko'p va o'rta ulanish nuqtasiga ega. Bu sxemani asr boshida Skott taklif etgan. Fazalar sonini o'zgarishini vektor diagramma bo'yicha tasvirlash mumkin.

Bu sxema salt ishlashda ikki fazali kuchlanish bir biriga simmetrik bo'ladi. Biroq yuklama ostida ikki fazali transformatorlarda kuchlanish tengligi buziladi. Sabab Skott sxemasida α va β teng emas, chunki iste'molchining ichki qarshiligi har xil. Bu $3/2$ fazalar sonini o'zgartirish sxemasining kamchiligi.



2.119-rasm.



2.120-rasm.

Elektr pechlar uchun transformatorlar. Mamlakatimizda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyaning asosiy qismi elektrotermiy va elektriliz uchun sarflanadi. elektr energiyaning asosiy iste'molchisi yoyli elektropechlar hisoblanadi, bular bir yoki uch fazali past kuchlanishda ishlaydi. Pechlar yuqori kuchlanish tarmog'iga, ikkilamchi cho'tg'ani yuz volt kuchlanish chiqaradigan pasaytiruvchi transformator orqali ulanadi. Uch fazali pech transformatorining quvvati yoyli po'lat eritish pechlarida 25 MVA ga etadi. Transformator kuchlanishini bosqichli rostlash mumkin 110 v dan 420 v gacha. Tok kuchi ikkilamchi cho'lg'amda bir necha yuz kiloamperga etadi. Pech Transformatori

ikkilamchi cho'lg'ami katta sonli parallel ulangan bir – ikkita cho'lg'amdan iborat. Konsentrik cho'lg'amlarda cho'lg'am kirish, chiqishlari qulay qilingan, past kuchlanish cho'lg'ami ustki qavatda, yuqori kuchlanish ichki, ya'ni magnit o'tkazgichga yaqin joylashgan[8].

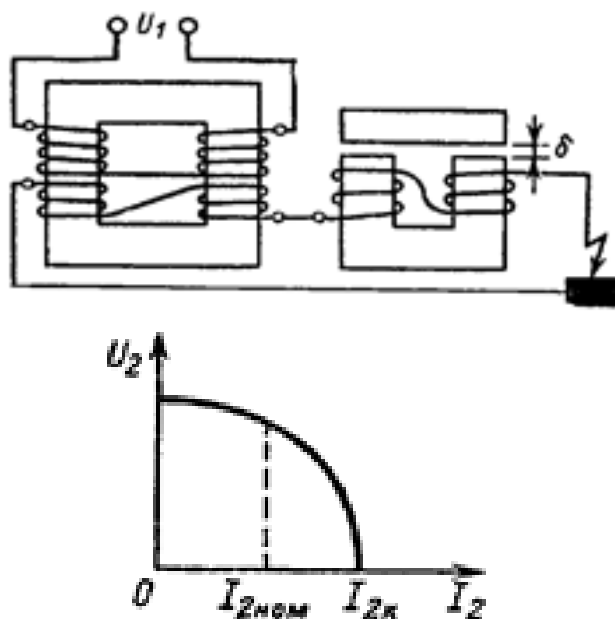
Ikkilamchi cho'lg'am kichik sonli cho'lg'amlari chiqishlari aktiv va reaktiv qarshilikka ega, yaqindagisi cho'lg'am qarshiligiga ega. Transformator proektlashda chiqishlardagi induktiv qarshilikni kamaytirish ko'zda tutiladi, buning uchun chiqish ulanishlari ketma – ket ulanadi. Shunda qo'shni chiqish ulanishlaridagi tok kuchi bir biriga qarama – qarshi bo'ladi.

Pech transformatori o'zgaruvchan yuklama ostida ishlaydi, salt ishlash rejimidan, fazalarning bir xil bo'lmagan yuklama bilan qisqa tutashuv rejimiga bo'lgan oraliqda ishlaydi. Pech transformatori og'ir ishlash sharoiti bo'lganligi sababli aniq elektrodinamik ta'sir va ishonchli transformatorni talab qiladi. Qisqa tutashuv tokini chegaralash maqsadida birlamchi cho'lg'asmga reaktiv ulanadi.

Pech transformatorida kuchlanishni rostlash $\pm 50\%$ belgilangan o'lchamdan iborat. Kuchlanishni rostlash birlamchi tomondan yoki ikkilamchi tomondan o'zga guruh cho'lg'amlarini parallel ulanganda ketma ket ulanadi.

Payvandlash transformatorlari. Yoqish va turg'un yonish yoyini ushlash kuchlanishi 40 – 70 V . Sifatli payvandlash uchun transformator katta tushish tashqi xarakteristikali va chegaralangan qisqa tutashuv tokiga ega bo'lishi kerak. Payvandlash transformatori kuchlanishni pasaytirish bilan birga kerakli tashqi xarakteristikani, $U_2 = f(I_2)$ belgilangan induktivlikni yuklama zanjirida ta'minlaydi ($\cos\varphi = 0,4 \div 0,5$) (2. 121 – rasm).

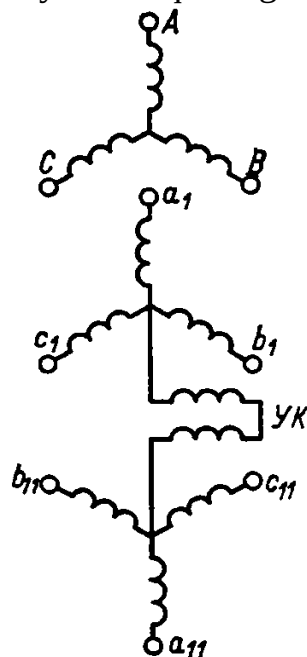
Induktivlik yuklama zanjirida payvandlash vaqtida rostlanishi kerak. Buning uchun havo oraliqli δ rostlanuvchi reaktiv cho'lg'amli transformator ishlatiladi (2. 121 – rasm).



2. 121 – rasm.

Havo oraliqli rostdash odatda qo'lda bajariladi. Reaktiv cho'lg'amli sxema o'rniga odatda kuchaytirilgan magnit ta'sirli transformator ishlatiladi. Induktiv qarshilikni ta'sirini oshishi payvandlash transformatorida, birinchi va ikkinchi cho'lg'am boshqa o'zaklarda joylashganidandir. Ikkilamchi cho'lg'amda tok kuchining oshishi o'zakda oqimni pasaytiradi va kuchlanish pasayadi. Cho'lg'amlarning boshqa o'zakda joylashish, cho'lg'amlarning o'zaro magnit bog'liqligini kamaytiradi, tok kuchi transformator ishlash rejimida ma'lum miqdorda ta'sir ko'rsatadi. Bu holatda transformator ikkilamchi cho'lg'amlarida reaksiya paydo bo'ladi. Oddiy transformatorida ikkilamchi cho'lg'am ta'siri juda kam sezilarli, chunki cho'lg'amlar bir birining ustida jo'ylashgan (2.121 – rasm) va elektromagnit bog'lanish koefitsienti o'zgarmaydi[4]. Elektromagnit bog'lanish koefitsienti o'zgarishi magnit shuntli transformatorga yuklama berishi bilan bo'ladi. Shunt kiritilishi bilan oqim siqiladi cho'lg'amda kuchlanish ikkilamchi cho'lg'amda oshadi.

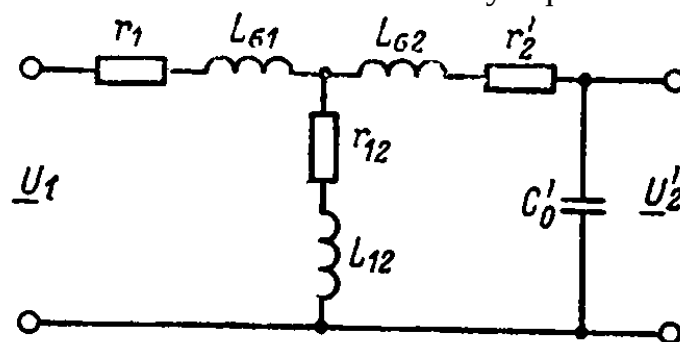
To'g'rilash qurilmasi uchun transformatorlar. Bu transformator o'z zanjir tarkibiga to'g'rilagich, tiristor tranzistorni oladi, ular yuqori chastotali o'tkazish rejimida ishlaydi. Agar ikkilamchi cho'lg'amda tok kuchi va kuchlanish sinusoidal muvozanati buzilsa bu birlamchi cho'lg'am tok kuchini ham o'zgartiradi. Bundan birlamchi va ikkilamchi cho'lg'am orasidagi magnit yurituvchi kuch (MYUK) muvozanati buziladi, uch fazali tiristorli o'zgartirgichda nosimmetrik qisqa tutashuv sodir bo'ladi. MYUK muvozanatini buzilishi transformator quvvatini pasaytiradi. Pulsatsiyani kamaytirish uchun transformator fazalar sonini ko'paytirish kerak. Tok kuchini cheklash maqsadida olti fazali to'g'rilagich sxemasida, muvozanatlash cho'lg'ami qo'shimcha holda ikkita uch fazalik gruppalarni neytral nuqtalariga ulanadi (2.122 – rasm).



2.122 – rasm. Befarq nuqta oralig'idagi tenglashtirilgan chulg'amli transformator sxemasi.

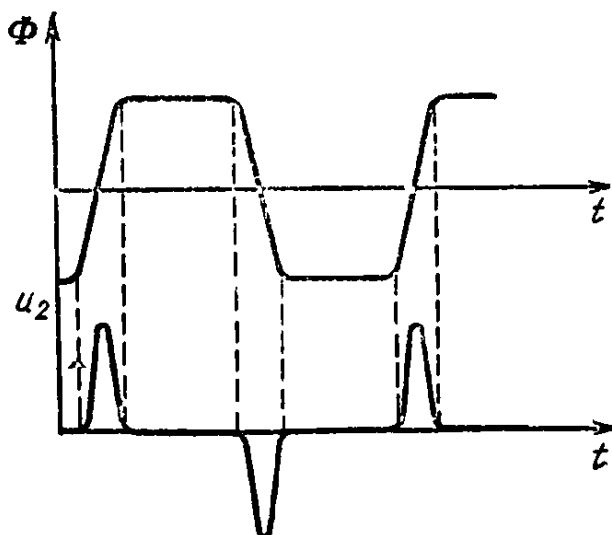
To'g'rilagich transformator.

To'g'rilagich transformator aloqada qurilmalarda, elektrotexnika va avtomatikada qo'llaniladi. Bunday transformator **quvvati** bir necha 10 vatt, chastotasi 100 k Gs gacha bo'ladi. Chastota kuchaytirgichni transformator ta'minlab berishi kerak. Bunday transformatorlar mikrotransformator deyiladi. Birlamchi va ikkilamchi cho'lg'am kuchlanishi farqi maxsus po'latdan foydalaniladi, bunda induksiya pasayadi, oqim qarshiligi kamayadi. Tovush va qisqa tutashuv transformatorini hisoblash qiyinligi, cho'lg'amni sig'im qarshiligini hisoblash bilan bog'liq, ya'ni 50 Gs chastota yoki undan kamida. Ulanishi kerak bo'lgan sig'im ikkilamchi cho'lg'am chiqishlariga ulanadi (2. 123 – rasm). Aralash ulash sxemasida C_0^1 - ulanishi kerak bo'lgan sig'im; r_{12} - aktiv qarshilik, metal va dielektrikda ekvivalent yo'qotish.



2.123– rasm. Yuqori chastotali transformatorning almashtirish sxemasi.

Mikrotransformator orasida alohida o'rinni impulsli transformator egallaydi, ular ketma – ket impuls kuchlanish hosil qiladi yoki pik kuchlanish (2.124 – rasm).

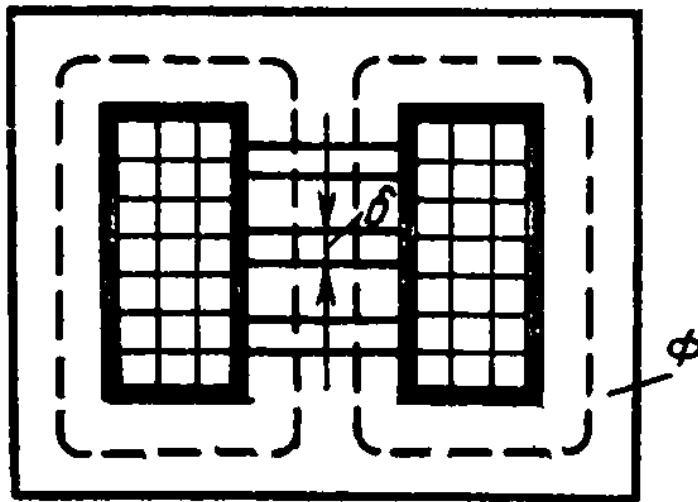


2.124 – rasm. Mikrotransformatorning Φ va U_2 ning vaqtga bog'liqligi.

Pik transformator ikki xil turda ishlab chiqariladi: magnit o'zakli metaldan GESTerizis to'g'ri burchakli tugunli yoki magnit o'tkazgichli to'yintirilgan qismdan. Pik transformatorlarda birlamchi cho'lg'am sinusoidal

kuchlanishi, ikkilamchi cho'lg'amda kuchlanish oqimiga ta'sir etadi. Agar serdechnik to'yintirilgan bo'lsa, oqim o'zgarishi kam, kuchlanish esa $U_2=0$, $e_2 = -\omega_2 \frac{d\Phi}{dt} \approx 0$, ikkilamchi cho'lg'amda oqim o'zgarishi kuchlanish o'zgarishiga sabab bo'ladi (2.124 – rasm). Sinusoidal tok kuchini saqlash uchun, kuchlanish pasayishini oldini olish uchun sxemaga aktiv qarshilik ulanadi.

Reaktorlar. Reaktorlar qisqa tutashuv tokini chegaralash, yuqori garmonik toklarni filtrlash uchun ishlatiladi. Reaktorning tuzilishi huddi transformatorning tuzilishi kabi lekin bitta cho'lg'amdan iborat (2.125 – rasm).



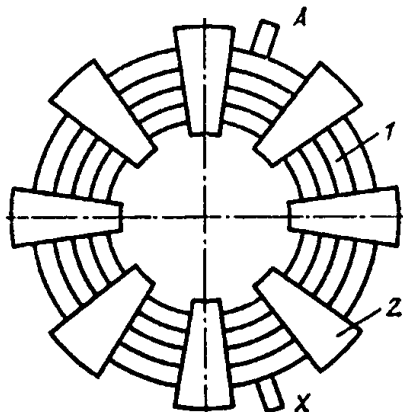
2.125 – rasm. Magnitsiz bo'shliqli bir fazali reaktor.

Keyingi yillarda elektr liniyalarida jadallik bilan o'tkazgichlardan foydalanishdi, bular chiziqli bo'lmagan elementlardan tashkil topgan. O'rnatilgan katta quvvatli chiziqli bo'lmagan elementlar elektrosistemada katta quvvatli tok to'liqlarini hosil qiladi, bular elektr jihozlar ishiga yomon ta'sir qiladi. Kuchlanish va tok kuchi yuqori tebranishlarini chegaralash maqsadida rezistor- filtrlardan foydalaniladi. O'rnatilgan rejim bo'yicha energosistemada elektro energiya iste'moli hisobi elektroctansiya chiqarayotgan energiya hisobiga tenglashtiriladi. O'zgaruvchan rejimda energiya kinetik energiya sifatida elektr mashina aylanuvchi qismida, yoki elektrotexnik qurilma magnit maydonida jamg'ariladi. Tarmoqda chastota kamayishi yoki elektr qurilma transformator o'chib qolishida magnit maydonga jamg'arilgan energiya aktiv energiyaga aylanadi. Qisqa tutashuv tokini cheklash maqsadida reaktorlardan foydalaniladi.

Agar transformatorni bitta cho'lg'amli qilib tayyorlasak, reaktiv cho'lg'am hosil bo'ladi va reaktiv quvvatni magnit o'tkazgichli metalda saqlaydi. Reaktiv quvvat magnit o'tkazgichni 1 CM^3 ga mo'ljallangan, ko'p emas, ammo induktiv qarshilik kuchlanishga bog'liq. Shuning uchun magnit bo'lmagan oraliqli reaktorlar ko'p tarqalgan. (2.125 – rasm).

Magnit bo'lmagan oraliqli reaktorlar odamga bron tipidagi ajratilgan oraliq va bir necha qismdan iborat Oraliqqa dinamik turg'unlikni oshirish uchun getinask prokladka qo'yiladi. Energiya bunday reaktorda asosan oraliqqa bog'liq

va barcha oraliqlar induksiya yig'indisiga bog'liq. Qisqa tutashuv vaqtida reaktorda zo'riqish hosil bo'ladi, sistemada kuchlanishni kamaytirishda oraliqlar siqilgan, shuning uchun oraliqlar qilinadi va ular mustahkam dielektriklar bilan to'ldiriladi. Reaktorlar oraliqlar bilan amalda liniya harakteristikasiga ega.



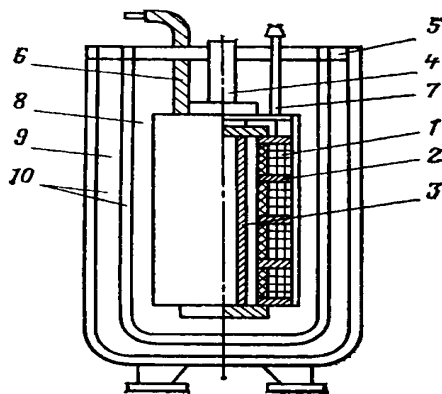
2. 126 – rasm. Bir fazali betonli reaktor.

6 va 10 kV tarmoqda qisqa tutashuvni cheklash maqsadida beton reaktorlar ishlatiladi (2. 126 – rasm). Beton reaktor ko'p simli cho'lg'amdan 1) cho'lg'amdan beton kalonalarga joylashtiriladi 2. Cho'lg'amning amper va zo'riqish, yuz ming nyuton tok kuchiga hisob qilinadi. Reaktor metal qismlari magnit bo'lmagan metaldan ishlanadi.

Reaktorlar rostlanuvchi reaktor qarshilikli qilib tayyorlanadi, bu bilan cho'lg'amlar sonini o'zgartirish evaziga magnit o'tkazgichni magnitlash, sekin oraliqni o'zgartirish mumkin. Misol uchun bunday reaktor sanoat ishlab chiqarishda bir fazali erga ulash reaktorlari tabiiy moy bilan sovutish sistemali 5 bosqichli tok rostlash mumkin.

Yuqori o'tkazgichli induktiv to'plagichlar. Texnika rivojlanib, manbalar tashkil etilishini talab etadi $10^6 - 10^8$ Dj impuls quvvat bilan 10^{13} vt gacha.

Yuqori o'tkazgichli induktiv to'plagichlarda energiya uzoq vaqt yo'qotilmasdan saqlanishi mumkin. Tuplagichlarda energiya qachonki yuqori o'tkazgichli zanjirga aktiv qarshilik ulansa kamayadi. To'plagich kam quvvatli manbadan ham qayta energiya bilan to'ldirilishi mumkin.



2.127 –rasm. O'ta o'tkazuvchan induktibli to'plagich.

Yuqori o'tkazgichli induktiv to'plagich asosiy sxemasi 2. 127 – rasmda ko'rsatilgan. To'plagich o'yilgan qism cho'lg'am- kriostatdan iborat. Cho'lg'am 1. Bir biridan ajratilgan parallel cho'lg'am bo'lmsidan iborat 2. Katushka ko'p simli kabel dan, yuqori o'tkazgichli niobiy – titan qorishmasidan tayyorlangan.

Bo'lim va to'siq karkasga 3 mahkamlanadi, truba orqali osilgan 4 qopqoqga 5 mahkamlanadi. To'plagich yuqori kuchlanishli kirish 6 va erga ulash joyidan 7. Kreostat 2ta alohida idishdan iborat, biri geliviy hajm 8 va azot vannasida 9. Ikki idish havosiz qatlam bilan ajratilgan 10.

Yuqori o'tkazgichli to'plagichlar yuqori induksiya qiymatiga ega - 5 Tl gacha o'rtacha tok zichligi $10^4 - 10^5 \text{ A/cm}^2$ 4- 5 K haroratda.

Cho'lg'am razryadi, konstruktiv qismi to'plagichni kuchayishni hisoblash, murakkab masala. Echish aniqligi magnit maydonni, magnit sistemada aniqlash. Ko'ndalang va bo'ylama magnit maydonni hisoblash uchun EHM dan foydalanamiz. Bir necha minutda hosil bo'ladigan maydonni hisoblaydigan induktiv hisob uchun o'rtacha geometrik masofa, oxirgi nuqtalar farqi, oxirgi elementlar, integral tenglamalar kerak.

Nazorat savollari.

1. Chastota transformatorlari qo'llanish sohalari qaysilar?
2. Payvandlash qurilmalarida foydalaniladigan transformatorlarni tuzulishi qanday?
3. To'grilash qurilmalarida foydalaniladigan maxsus transformatorlar tuzulishi qanday?

2. 19. Transformatorlarni loyihalashtirish.

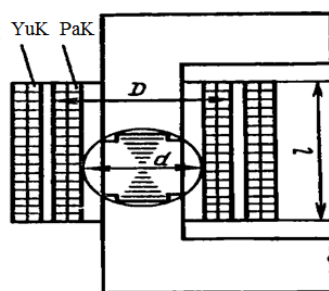
Elektromagnit energiyaga aylantirish haqidagi chuqur ilmiy bilim transformatorni loyihalash va ishlatish uchun zarur. Transformatorni loyihalash borasida texnik topshiriqlarda ko'rsatiladi: nominal quvvati; fazalar soni; chastota; nominal liniya kuchlanishi birinchi va ikkinchi cho'lg'amda; ulanish gruppalari va sxemasi; sovutish turi; ishlash harakteri (doimiy yoki qisqa takroriy); salt ishlashda energiya yo'qotilishi; salt ishlashda tok kuchi %; qisqa tutashuvda kuchlanish U_k %; va yo'qotilish qisqa tutashuvda.

Hisoblash transformatorni quyidagicha ketma-ketlikda.

Magnit sistemasi cho'lg'am va sovutish tizimining konstruktiv tuzilishi aniqlangandan keyin liniya va faza toki, keyin transformator aniq o'lchami . transformatorning aniq o'lchami d va l dan (2.128-rasm) transformatorning elektromagnit quvvati aniqlanadi.

$$P_{\text{эм}} \approx d^2 \ell \quad (2.160)$$

Loyihalashda elektromashina amaliyotidan olingan koeffitsientlar keng qo'llaniladi.



2.128-rasm. Transformorning hisobiy sxemasi.

Past kuchlanishli cho'lg'am tashqi diametrini aniqlashda quyidagidan $D = \alpha d$, $\alpha = 1,33 \div 1,45$ mis yoki $\alpha = 1,41 \div 1,54$ alyuminiydan o'ralgan cho'lg'amlar transformator uchun foydalaniladi. Mis va metal orasidagi farq transformator og'irligi uchun zarur.

$$\beta = \pi D / \ell = \alpha \pi d / \ell \quad (2.161)$$

Kuch transformatori uchun 1,1 dan 3,5 gacha o'zgarib turadi β katta qiymatga ega bo'ladi. Qachon metal ko'p, mis kam bo'lsa kichik qiymatga ega, qachon mis ko'p metal kam ishlatilgan bo'lsa β qiymati kelib chiqadi [29]

(2.161) dan topamiz mis cho'lg'am uchun $\ell \approx (4,2 \pm 4,6) \frac{d}{\beta}$, alyumin cho'lg'am uchun $\ell \approx (4,4 \pm 4,8) \frac{d}{\beta}$.

Keyin elektromagnit Yuklamani topamiz: B - sterjen induksiyasi: J - tok zichligi. Odatda $B = 1,4 \div 1,65 \text{ Tl}$, $J = 1,8 \div 2,8 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ (mis cho'lg'amli moy bilan sovutilgan transformator uchun). alyuminiy cho'lg'amli moy bilan sovutilgan transformator uchun $J = 1,2 \div 1,8 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ mis cho'lg'amli quruq transformator uchun $J = 1,2 \div 2,6 \times 10^6 \text{ A/m}^2$. Alyuminiy cho'lg'amli quruq transformator uchun $J = 0,8 \div 1,3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$.

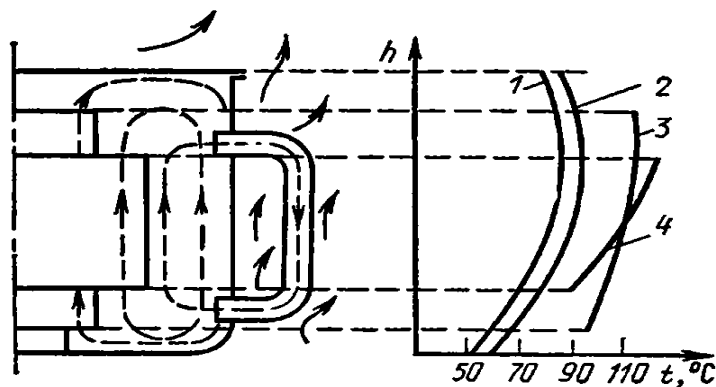
Elektromagnit yuklamaning tanlovi transformator gabarit kattaligiga va narxini qimmat bo'lishiga olib keladi. Kuchaytirilgan elektromagnit yuklama energetik ko'rsatkichlarni pasaytiradi, ΔU_K % kuchaytiradi.

To'g'ri hisoblash cho'lg'am izolyatsiya oraliqlarini, magnit o'tkazgich bilan izolyatsiyani, transformator ishonchli ishlashini ta'minlaydi. Past kuchlanish cho'lg'amlari orasidagi oraliq yarma bilan 0,4 dan 3 sm gacha bo'lishi transformator quvvati va kuchlanishiga bog'liq. Katta quvvatli transformatorlarda alohida o'rin tutadi, 35 kV kuchlanishli transformatorlarda ham alohida o'rin tutadi. Yuqori kuchlanish cho'lg'amlari 220 kV da 16 sm sterjengacha, 25 sm devorgacha bo'ladi.

Loyihalashda issiqlik ajrlishini hisobga olish muhim o'rin tutadi. Issiqlik ajralishini hisoblash transformator qismlari va moy haroratini aniqlashda kerak. Energiya yo'qolishi cho'lg'am va elektromagnit o'tkazgichlarda issiqlik ajralishi bilan boradi. GOST yuqori haroratli moy bilan sovutiladigan transformator uchun quyidagi haroratni belgilaydi: cho'lg'am uchun 105°C , magnit sistema

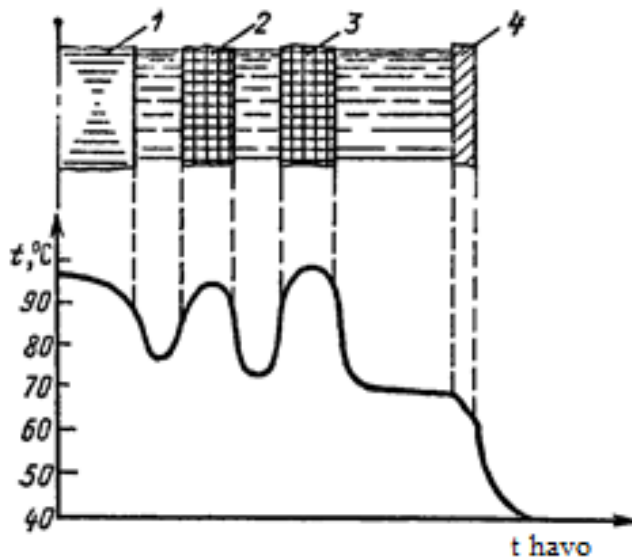
uchun (yuza qismi uchun) 115°C va moy uchun 95°C . Bu harorat uchun tashqi havo harorati 40°C deb qabul qilingan. Harorat 8°C gacha oshganda 2 marta kamayadi.

Moy bilan sovutiladigan transformatorida issiqlik ishchi qismdan moyga, moydan bak devoriga, devorlardan o'rab turgan havo qatlamiga tarqaladi (2.129-rasm). Moy bilan sovutiladigan transformatorida cho'lg'am va elektromagnitdan issiqlik moyga o'tadi, issiq moy yuqoriga ko'tariladi, sovuq moy bak devorlari bo'ylab pastga harakatlanadi va issiqlikni bak devoriga tarqatadi. Bak devoir harorati bilan o'rab turgan havo harorati 10° farq qiladi. Bak devorlarida havoga issiqlik tarqaladi.



2.129-rasm. Transformatorning balandligi bo'yicha haroratning taqsimoti: 1-bakning devoir; 2-moy; 3-magnitoprovod; 4-chulg'am.

2.130 – rasmda issiqlikni transformator bo'ylab tarqalishi ko'rsatilgan.



2.130-rasm. Moyli transformatorida ko'ndalang kesim bo'yicha haroratning tarqalishi: 1-o'zak; 2-past kuchlanishli chulg'am; 3-yuqori kuchlanishli chulg'am; 4-bakning devoir.

Quruq transformatorida issiqlik konveksiya yo'li bilan ajraladi. Transformator issiqlik jarayonini hisoblash issiqlik uzatish bo'yicha yig'ilgan malakaga suyanadi. O'rnatilgan issiqlik rejimi aktiv qismlardan

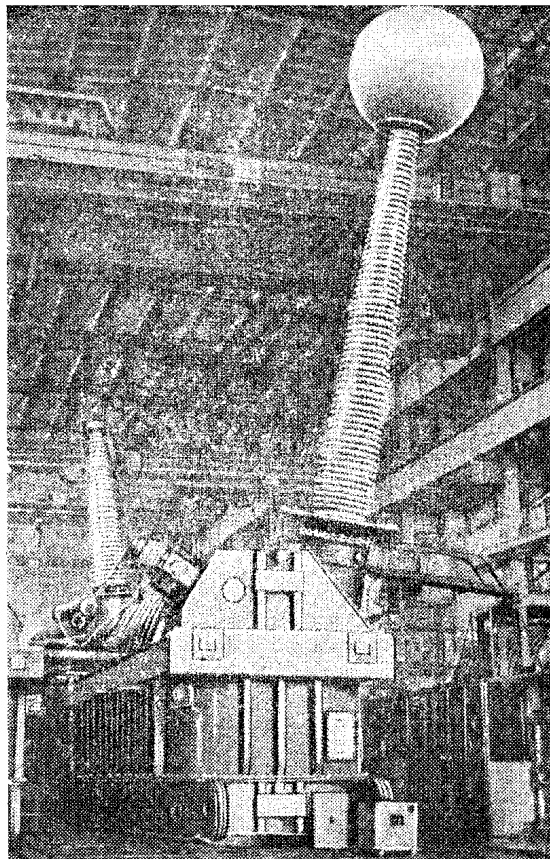
chiqayotgan issiqlikni oshishiga va bu bilan cho'lg'am izolyatsiya qatlamiga ziyon etkazmaydi. Keyingi yillarda transformator loyihalashni avtomatik sistemasi joriy qilingan.

Nazorat savollari.

1. Transformatorning hisobiy sxemasidan nima maqsadda foydalaniladi?
2. Transformatorning balandligi bo'yicha haroratning taqsimoti diagrammasini tushuntiring?
3. Moyli transformatorlarda ko'ndalang kesim bo'yicha haroratning tarqalishi diagrammasini tushuntirib bering?

2.20 . Rossiyada ishlab chiqarilayotgan transformatorlar.

Sobiq ittifoq davrida transformator sozligi urushdan keyingi yillarda yaxshi natijalarga erishdi, bugunda sobiq ittifoq davrida da ishlab chiqarilgan transformatorlar jahon standartlariga javob beradi. Sovet ittifoqining yuqori kuchlanishli kuch transformatorlar oldingi qatorlarda. Zaparojlik transformator zavodi ishlab chiqqan bir fazalik o'zgaruvchan tokli AODST – 667000/1150 (2.131- rasm). Transformatorlar ishlab chiqarishda yangi ulash sxemasi va izolyatsiya konstruksiyasidan foydalanilgan.



2.131- rasm. Quvvati 667000 kVAl i uch chulg'amli bir fazali avtotransformatorning majburiy moy bilan sovutish.

Transformator moyi bilan birgalikda temiryo'l transportida tashiladi, yuk ko'tarishi 600 t bo'ladi.

Avtotransformatorlar quyidagi ma'lumotlardan iborat:

Nominal quvvati, kVA
 O'rta va yuqori kuchlanish cho'lg'ami 667000
 Past kuchlanish cho'lg'ami..... 180000
 Nominal kuchlanish, kV
 Yuqori kuchlanish.....1150/ $\sqrt{3}$
 O'rtacha kuchlanish.....500/ $\sqrt{3}$
 Past kuchlanish.....20
 Qisqa tutashuv kuchlanishi %.....11,5
 Salt ishlash toki, % 0,35
 O'lchami, mm 15640 x 7250x 17000
 Massa, kg 580000

Transformator va avtotransformator harflari quyidagilarni bildiradi.

A- Avtotransformator (boshqa transformatorlarda A harfi yo'q).
 T - uch fazali
 O - bir fazali,
 P - past kuchlanish cho'lg'amida tarmoqlanish,
 C – sovutish turi

2.2-jadval

Tr.turi	Nominal quvvati	Chulg'amning nominal kuchlanishi		Ulanish sxemasi va gurihi	Qisqa tutashuv nominal kuchlanishi
		Yuqori	Past		
ТЦ-1250000/330	1 250 000	347	24	$Y_H/\Delta-11$	14,0
ТЦ-1000000/500	1 000 000	525	24	$Y_H/\Delta-11$	14,5
ОРЦ-135000/500	135 000	525/3	13,8	$Y_H/\Delta-11$	13,3
ТРДЦН-160000/220	160 000	230	11—11—38,5	$Y_H/\Delta-\Delta-11-11$	12,0
ТДТН-40000/110	40 000	115	11	$Y_H/Y_H/\Delta-0-11$	10,5
ТРДН-25000/110	25 000	115	6,3	$Y_H/\Delta-\Delta-11-11$	10,5

Harflardan keyingi sonlar suratda nominal quvvatni, maxrajda yuqori kuchlanish cho'lg'aming sinfini belgilaydi.

TS – 1250000/330 tipdagi transformator 1000 MVt turbogenerator blokinin birinchi ko'paytiruvchi transformatori uchun mo'ljallangan. TS – 1000000/500 esa 800 MVt turbogeneratorli blok uchun mo'ljallangan. Bu transformatorlar Yuqori izolyatsiya konstruksiyasiga ega, yo'naltirilgan moy aylanishi past kuchlanish cho'lg'ami orqali, nazorat o'lchash qurilmali transformatorni avtomatik holda blok boshqaruv sistemasiga ulash imkonini beradi.

Transformator OPS - 417000/750 va OPS - 135000/500 aton va issiqlik elektrstansiyasida blok generatordan keyin ko'taruvchi transformatore uchun mo'ljallangan. Transformator konstruktiv tuzilishi zamonaviy magnit oqimni shuntlash sistemasi bilan ta'minlangan, yangi konstruktiv tuzilishga ko'ra asosiy va ko'ndalang himoya qatlami osonlashtirildi.

2.3 – jadval

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ · А	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Схема и группа соединения	Напряжение короткого замыкания, %
		высшей	низшей		
ТЦ-1250000/330	1 250 000	347	24	$Y_H/\Delta-11$	14,0
ТЦ-1000000/500	1 000 000	525	24	$Y_H/\Delta-11$	14,5
ОРЦ-135000/500	135 000	525/3	13,8	$Y_H/\Delta-11$	13,3
ТРДЦН-160000/220	160 000	230	11—11—38,5	$Y_H/\Delta-\Delta-11-11$	12,0
ТДТН-40000/110	40 000	115	11	$Y_H/Y_H/\Delta-0-11$	10,5
ТРДН-25000/110	25 000	115	6,3	$Y_H/\Delta-\Delta-11-11$	10,5

2.4-jadval

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ · А	η , %	Потери, Вт		I_0 , %	Габариты, мм. $L \times B \times H$	Масса, кг
			холостого хода	короткого замыкания			
Двухобмоточные на напряжение 660 В							
ТСЗ-10/0,66	10	4,5	90	280	7	650×700×440	150
ТСЗ-160/0,66	160	4,5	710	2060	2,3	1150×1150×680	800
Двухобмоточные на напряжения 10 и 15 кВ							
ТСЗ-160/10	160	5,5	700	2700	4,0	1700×1800×950	1400
ТСЗ-1600/10	1600	5,5	4200	16 000	1,5	3200×2650×1350	6500
ТСЗ-250/15	250	8,0	1100	4400	4,0	1850×2300×1200	2200
ТСЗ-1600/15	1600	8,0	4300	16 000	2,0	3200×2600×1350	6800

2.3 – jadvalda sobiq ittifoq davrida da ishlab chiqarilgan transformatorlar texnik ma'lumotlari keltirilgan.

Moyli uch fazali transformator TM – 250/10 keng tarqalgan magnit o'tkazuvchi hisoblanadi. Transformator tayyorlashda texnik jarayon cho'lg'amni yopiq magnit o'tkazgishga kirgiziladi. Transformator rusumlari gabarit va og'irlikni 5 % ga kamaytiradi. Elektrotexnik po'lat ishlatish 8% ga kamayadi, transformatorning energetik xarakteristikasi oshadi. Moyli transformatorlar rusumsi TM, TDS, TMTN, TPDSN, TS kuchlanish 10, 35, 110 va 220 kV, quvvati 25 dan 630000 kVA ishlab chiqariladi.

Uch fazali quruq transformator himoyalangan muhit uchun TC 3 binolar ichiga o'rnatish uchun mo'ljallangan. Yong'inga havfsiz, transformator himoya qobiq bilan o'raglan, aktiv qismlarga, yot narsa tushishidan himoyalangan, sovutish havosini yo'lini berkitadi. 2. 4 – jadval.

Kam quvvatli transformatorlar uy jihozlarini, radiotexnikani, elektr liniyalarini elektr energiya bilan ta'minlashda ishlatiladi. Ularning turi har xil.

2.4 –jadvalda bir fazali quruq transformatorlar ko'p tarmoqli rusumsi OCM keltirilgan. Transformatorlar o'lik iqlim va tropik jarayon, sovuqqa chidamli. Quvvati 0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63 va 1 kVA. Kuchlanishi 0,38 yoki 0,22 kV ga teng.

Elektr sanoatida ishlatilishi, yo'nalishi bo'yicha har xil transformatorlar ishlab chiqariladi. Transformator agregati EODSNK- 83300/220 kuchli ferrosplavli elektr pechlar uchun mo'ljallangan. 220 kV liniyasiga ulanadi. YUqori kuchlanish chulg'ami misdan tayyorlangan past kuchlanish cho'lg'amiga mahkamlangan. Bo'limda uzib ulash qurilmasi himoyalangan. Rostlash soni 27. 26700kVA quvvatda ikkilamchi kuchlanish 0,325kV, Past kuchlanish tarmog'ida tok 82156 A ga teng. 18680 kVA quvvatda kuchlanish past kuchlanish cho'lg'amida 0,175

kV bo'lsa, ikkilamchi cho'lg'amida tok 106800A. Transformator og'irligi 152000 kg.

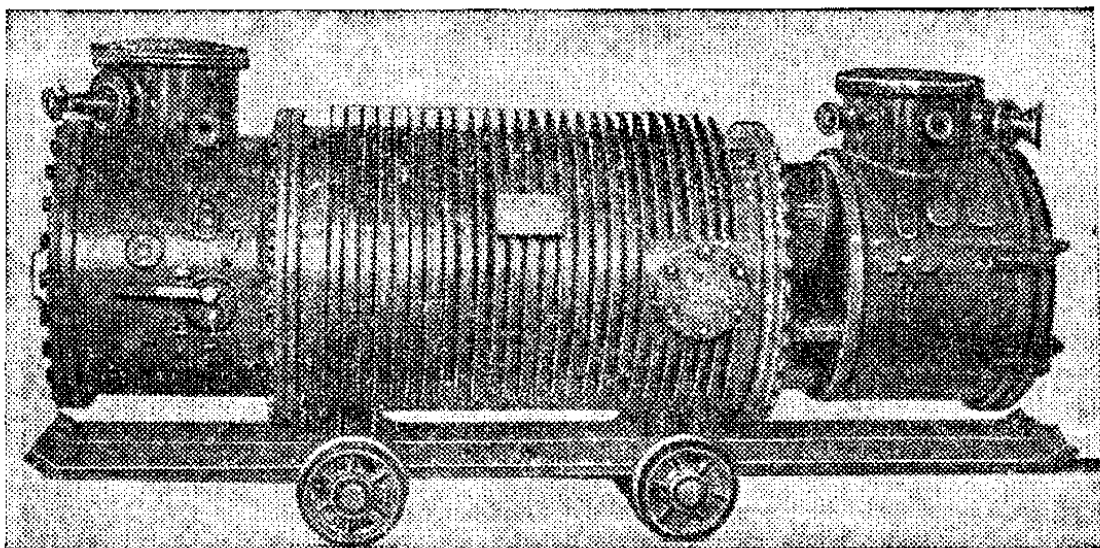
Tiristorlarga o'zgarmas tok berish uchun TSZP – 4000/10 transformatori ishlab chiqarilgan. Titrashdan keyin kuchlanish 825V va tok 4000 A elektr liniya tiristorlari uchun mo'ljallangan transformatorlar ekskavator urilishiga va silkinishga chidamli bo'lishi kerak. Ular kuchli changli muhitda va -50°C haroratga chidamli.

Elektr burg'ulash qurilmalar uchun TMTB – 630/10 transformator mo'ljallangan. Ular bir vaqtda elektr burg'ulash va ko'tarishkolona trubalarini ta'minlaydi va elektr burg'ulash kuchlanishini rostlash bo'yicha katta diatirqishonga ega.

Transformatorlar TMPN -160/2,05 kuchlanishi 380- V bo'lgan asinxron elektr motor uchun mo'ljallangan. Elektr motor neft qazib olishda chuqurcha tushuriladigan elektronasosda ishlatiladi. Skvajinad chuqurlik oshishi bilan asinxron motorda kuchlanishni rostlash uchun bosqichma –bosqichli kuchlanishni rostlovchi qurilma zarur: 2200-2125-2050-1975-1900. Transformator og'irligi 1100kg.

Past kuchlanishli kontaktli payvandlash apparatlari uchun OCBK-25/75 transformatori mo'ljallangan. Past kuchlanishli cho'lg'amning nominal toki 9000 A. Qayta qisqa rejimda nominal toki 25000 A. Rostlash bosqichlari soni sakkizta. Og'irligi 110 kg.

Sanoatni va qishloq xo'jaligini elektr energiya bilan ta'minlash uchun komplekt podstansiyalar ishlab chiqiladi. Bular o'z ichiga kuch transformatori va past kuchlanish va yuqori kuchlanish boshqaruv qurilmalari bilan jihozlangan. Ko'mir shaxtalaridagi elektromotorni energiya bilan ta'minlash uchun portlashdan himoyalangan transformatorlar mavjud. (2.132- rasm).



2.132- rasm.Kuchlanish 6 kV va quvvati 250 kVA TSVI-250/6 rusmli portlashdan himoyalovchi transformator.

Energosistema ishonchli ishlashi uchun har xil reaktorlar ishlab chiqariladi. Shuntlovchi reaktorlar liniyada zaryad quvvatini muvozanatlash bilan birga, yuklama kamayganda qisqa tutashuv vaqtida kuchlanish ko'payishini va liniyani to'g'ridan to'g'ri energiya manbaiga ulashga xizmat qiladi. Yuqori tebranishlar liniyasi sifatida elektr liniyalarida tiristorli o'zgartiruvchilar qo'llaniladi.

O'zgaruvchan tokni yuqori tebranishlarini filtrlash uchun filtrllovchi va silliqlovchi reaktorlar ishlab chiqariladi. Silliqlovchi reaktor yangi rusumlari yarmasiz bitta o'zakli tuzilishga ega. O'zak bir hil enli po'lat listdan iborat va bo'lak paketga yig'iladi.

Silliqlovchi reactor FROS-65/05 nominal toki 250A, induktivligi 1,5 Gn, og'irligi 82 kg.

1500 kV doimiy tok podstantsiyalari uchun reaktor ROLDS -1200/4/800 ishlab chiqarilgan. 50 Gs chastotada belgilangan quvvati 1800 kVA. Nominal doimiy tok 1200 A. Induktivlik 4 Gn, kuchlanish sinfi 800 kV, transformator og'irligi 396 kg. Bunday podstantsiyalar uchun filtrlri reaktorlar va yuqori chastotali anodli reaktorlar ishlab chiqarilgan. Reaktorlar transformator ishlab chiqarish sanoatida o'z o'rniga ega.

Ko'rib chiqilgan mashinalar transformator ishlab chiqarishni ayrim turlarini o'z ichiga oladi va ishlab chiqarish turli hilligidan xabar beradi.

II-BOB XULOSASI.

Bu bobda asosan transformatorlarni to'liq yoritib berishga qaratilgan bo'lib, ular haqidagi asosiy ma'lumotlar, transformatorning tarmoq tizimidagi vazifasi ochib berilgan. Transformatorlarda yuz beradigan jarayonlarni matematik ifodalovchi tenglamalar va almashtirish sxemalari chizilgan bo'lib, ular asosida vektor diagrammalar qurilgan. Uch fazali transformatorlar, ularning parametrlari, konstruksiyalari ulanish guruhleri va sxemalari to'liq ko'rsatib berilgan. Transformatorlarni parallel ishlash shartlari kiritilgan va tavsiflangan. Ko'p chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlarning ishlash prinsipi, qo'llanish sohasi va konstruktiv tuzilishi haqida to'liq ma'lumotlar berilgan. Ketma-ket transformatorlar va transformatorlarni kuchlanishini boshqarish qurilmasi bilan tanishtirib o'tilgan. Uch fazali transformatorlarning nosimmetrik yuklamasi, natijaviy toklar va ularni vector diagrammalari berilgan. Transformatorlardagi o'tish jarayonlari ularni ish rejimlari va tarmoq tizimga ta'siri ko'rib chiqilgan. Maxsus transformatorlarni qo'llanish sohasi ishlash prinsipi, avfzalligi va kamchiliklari yoritib berilgan. Transformatorlarni loyihalash asoslari, ularni o'lcham va hajmi, quvvatini belgilovchi parametrlar ochib berilgan.

III -BOB

ASINXRON MASHINALAR

3.1. Asinxron mashinalarning tuzilishi va ishlash prinsipi.

Asinxron mashinalar qachonki $\omega_p \neq \omega_c$ bo'lganda umumiy mashinalar turiga kiradi. Bu maydonda stator va rotor bir biri bilan qo'zg'almas bog'langan, bu rotor va stator chastotalari ham mutanosib bog'langan, $f_2 = f_1 s$, bu yerda f_1 va f_2 - stator va rotor chastotasi, s- sirpanish.

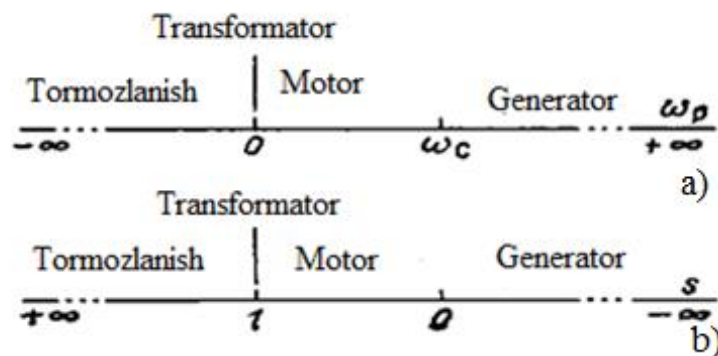
$$s = \frac{\omega_c - \omega_r}{\omega_c}. \quad (3.1)$$

Agar stator maydoni va rotor aylanishi yo'nalishlari mos kelganda (3.1 rasmda) ω_r burchak tezligi musbat belgisiga ega bo'lib, aylanish yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lganda manfiy bo'ladi. Burchak tezligida belgi hisobga olinishi lozim.

Asinxron (nosinxron) mashinalarda rotorning aylanish chastotasi tor tirqish ($\omega_r \neq \omega_s$) bo'lganida aylanish maydoni chastotasiga teng bo'lmaydi. Belgilangan rejim ostida asinxron mashinalarning rotorini mexanik aylanish chastotasi past va sinxron aylanish maydoni chastotasidan yuqori bo'lishi mumkin, shu bilan birga rotor aylanish maydoniga qarama-qarshi tomonga ham aylanishi mumkin[8].

Asinxron mashinalar maydonga nisbati bo'yicha to'rtta ishlash rejimida aylanish chastotasiga bog'liqligidan qat'iy nazar va rotor aylanishi yo'nalishi bilan farqlanadi. (3.1.rasm) Qachonki $0 < \omega_r < \omega_s$ bo'lsa harakatlanish rejimida o'z o'rniga ega bo'ladi, generator rejimida $\omega_r < \omega_s \ll +\infty$ bo'ladi. Bu rejimda katta chastotada maydon qaysi tomon aylanayotgan bo'lsa rotor ham shu tomon aylanadi. Tormozlanish rejimida asinxron mashinalarning rotorini aylanish maydoniga qarama-qarshi tomonga aylanadi. Qachonki qo'zg'almas rotorli asinxron mashinadan foydalanilsa ($\omega_r = 0$), bunda asinxron mashinalarning transformatorli ishlash rejimi o'z o'rniga ega bo'ladi. (3.1.a rasm)

Asinxron mashinalar nazariyasida aylanishning nisbiy chastotasi –sirpanishi degan tushuncha keng qo'llaniladi. [(3.1.) qarang]. 3.1.b rasmda asinxron mashinalarning sirpanish funksiyasida ishlash rejimi taqdim etilgan. Motor rejimida asinxron mashina $0 < s < 1$ elektr energiyasini mexanik energiyaga o'zgartirib beradi. Generator rejimida esa, qachonki $0 > s > -\infty$ bo'lsa, asinxron mashina rotorini chastota bilan aylanish maydoni tomonga aksari bir vaqtda aylanadi. Shu bilan mexanik energiya elektr energiyasiga o'zgaradi. Tormozlanish rejimida mexanik va elektr energiya issiqlik hosil qiladi. Qoida bo'yicha bu rejim tezda to'xtash uchun qo'llanilib, qisqa muddatli bo'lishi mumkin. Transport rejimi $s = 1$ kuchlanish fazasi va tebranishini boshqarishda qo'llaniladi.



3.1- rasm. Asinxron mashinalarning ishlash rejimi:
 a- rotor aylanish chastotasi shkalasida; b- sirpanish shkalasida.

Motor sifatida asinxron mashinalar eng ko'p ommalashgan. Undan asosiy motor sifatida sanoatda, qishloq xo'jaligida va turmushda keng qo'llaniladi. Birgina yagona turkumdagi quvvati 0,6 dan 400 kVt gacha bo'lgan asinxron motorlar bizning mamlakatimizda har yili 10 mln tagacha ishlab chiqariladi. 0,6 kVt quvvatli asinxron mikromotorlar yiliga bir necha mln.tagacha tayyorlanadi.

Elektrotexnika sanoati quvvati katta diapozondagi asinxron motorlarni ishlab chiqaradi.

Asinxron motorlarning quvvati chegarasi – bir necha o'n megavatt bo'ladi. Indikatorli tizimda hissa vattdan 100 vattgacha quvvatli asinxron motorlar qo'llaniladi. Umumiy ahamiyatdagi motorning aylanish chastotasi ayl/min 3000 dan 500 gacha bo'ladi.

Generator rejimida asinxron mashinalar juda kam qo'llaniladi. Asinxron mashinalarda zazorida (tirqish) maydon hosil qilish uchun reaktiv quvvat zarur bo'ladi, u tarmoqdan yoki reaktiv quvvatning boshqa manbalaridan tortib olinadi. $\cos\varphi = 1$, asinxron motorlar ishlab bilmaydi. Bu asinxron mashinalarning sezilarli kamchiligi bo'lib, ularni generator rejimida qo'llashni cheklaydi.

Asinxron mashinalarda energiyani elektromexanik o'zgartirishda boshqa mashinalardagi kabi energiya issiqlikka o'zgarishi sodir bo'ladi. Asinxron mashinalar rotorida elektrli yo'qotish sig'anishga proporsional bo'ladi:

$$P_{e2} = P_{em} S, \quad (3.2)$$

Bu yerda P_{em} elektrmagnitli quvvat-mashinaning havo tirqishi quvvatidir. Qayerda uncha katta bo'lmagan joiz sirpanishda ($s = 1 \div 4 \%$) eng ko'p elektr energiya mexanikka o'zgarishi uchun asinxron mashinalarda elektr simlardan foydalaniladi. Chuqur sirpanishda ($s = 10 \div 50 \%$) asinxron mashinalardan juda kam foydalaniladi, bunda juda ko'p holatlarda tarmoqdan olinayotgan quvvatning kattagina qismi issiqlikka o'zgaradi va u mashinaning faol qismidan issiqlik qaytarilishi bilan bog'liq bo'lgan qiyinchiliklar tufayli asinxron mashinaning o'lchamlarini kattalashuviga va FIKning pasayishiga olib keladi.

Rotorda yo'qotishning mavjudligi sirpanishga bog'liqlikka proporsionaldir, - asinxron mashinalarning o'ziga xosligining yana bir tomoni shundaki, boshqa turdagi elektrli mashinalardan farqlanishi o'zaro bog'liqligidir.

Agar rotorning cho'lg'ami berk konturni ifodalasa, unda rotorga tushayotgan barcha quvvat $s=1$ sirpanishda issiqlikka aylanadi. $s=0$ sirpanishda quvvat rotorga tushmaydi. 0 dan 1 gacha boshqacha sirpanishda motor rejimida elektr magnitli quvvat mexanik quvvatga va issiqlikka o'zgaradi, generator rejimida esa elektrli va issiqlikka o'zgaradi.

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha}^s \\ 0 \\ 0 \\ u_{\beta}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{\alpha}^s + \frac{d}{dt} L_{\alpha}^s & \frac{d}{dt} M & 0 & 0 \\ \frac{d}{dt} M & r_{\alpha}^r + \frac{d}{dt} L_{\alpha}^r & L_{\beta}^r \omega_p & M \omega_p \\ -M \omega_p & -L_{\alpha}^r \omega_p & r_{\beta}^r + \frac{d}{dt} L_{\beta}^r & \frac{d}{dt} M \\ 0 & 0 & \frac{d}{dt} M & r_{\beta}^s + \frac{d}{dt} L_{\beta}^s \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} i_{\alpha}^s \\ i_{\alpha}^r \\ i_{\beta}^r \\ i_{\beta}^s \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

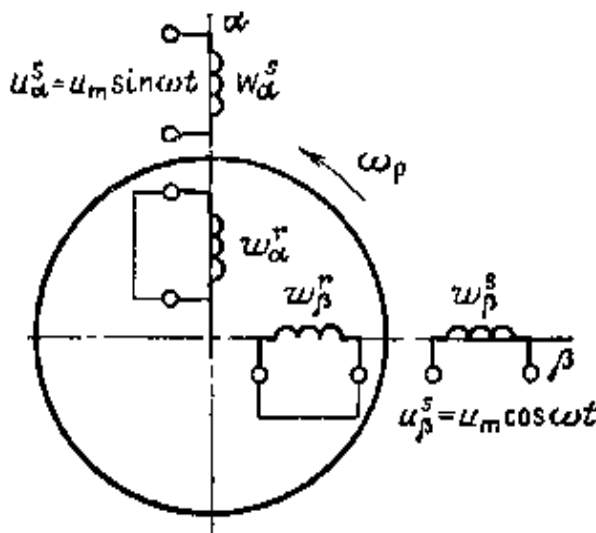
Asinxron motorning konstruktiv ijrosida- o'ta oddiysi eng ko'p ommalashishga erishdi.

Nazorat savollari.

1. Asinxron mashinalarda S kattaligi nimani belgilaydi?
2. Asinxron mashinalar necha xil rejimda ishlaydi?
3. Asinxron mashinalarda kuchlanish va momentni o'zaro bog'liqlik tenglamasini tushuntiring?

3.2. Asinxron mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayonining matematik tavsifi.

Asinxron mashinalarni tenglashtirishga erishish uchun ideallashtirilgan ikki fazaviy asinxron mashinani ko'rib chiqamiz. Havo tirqishiga ega ideallashtirilgan mashinada yuqori garmonika va aylana maydon mavjud emas.



3.2-rasm. Ideallashtirilgan asinxron mashina modeli.

Rotor va statorda ikki fazaviy bir xil cho'lg'amlar soniga ega simmetrik mashina $\omega_\alpha^s = \omega_\beta^s = \omega_\alpha^r = \omega_\beta^r$ (3.2.rasm)

Asinxron mashinalarni baravarlashtirish umumlashma mashinalarni baravarlashtirishdan olinadi (1.110 rasm). Qo'zg'olmas uchun koordinat tizimida kuzatuvchi statorga nisbatan α, β qisqa cho'lg'amli rotorli $u_\alpha^r = u_\beta^r = 0$ asinxron mashinani differensial baravarlashtirish quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$M_{EM} = \frac{m}{2} M(i_\beta^s i_\alpha^r - i_\alpha^s i_\beta^r). \quad (3.4)$$

Qayerdagi i_α^s, i_β^s - stator cho'lg'amidagi kuchlanish; a va β o'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amidagi tok; $i_\alpha^s, i_\beta^s, i_\alpha^r, i_\beta^r$ α va β o'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amidagi faol qarshilik; $r_\alpha^s, r_\alpha^r, r_\beta^r, r_\beta^s$ α va β o'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amidagi to'la induktivlik

To'liq induktivlik

$$L = M + L_\sigma$$

bu yerda M - α va β o'q bo'yicha rotor va stator cho'lg'amidagi orasidagi o'zaro induktivlik; $L_\alpha^s, L_\alpha^r, L_\beta^r, L_\beta^s$ L_σ -cho'lg'amni sochilish induktivligi. (3.3) va (3.4.) tenglamada o'tkinchi va belgilangan rejimlarda asinxron mashinalarda energiyaning o'zgarish jarayonini tasvirlangan.

$$\left. \begin{aligned} u_\alpha^s &= r_\alpha^s i_\alpha^s + \frac{d}{dt} L_\alpha^s i_\alpha^s + \frac{d}{dt} M i_\alpha^r; \\ 0 &= \frac{d}{dt} M i_\alpha^s + r_\alpha^r i_\alpha^r + \frac{d}{dt} L_\alpha^r i_\alpha^r + L_\beta^r \omega_p i_\beta^r + M \omega_p i_\beta^s \\ 0 &= -M \omega_p i_\alpha^s - L_\alpha^r \omega_p i_\alpha^r + r_\beta^r i_\beta^r + \frac{d}{dt} L_\beta^r i_\beta^r + \frac{d}{dt} M i_\beta^s \\ u_\beta^s &= \frac{d}{dt} M i_\beta^r + r_\beta^s i_\beta^s + \frac{d}{dt} L_\beta^s i_\beta^s \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Qo'zg'olmas cho'lg'am uchun tenglama ham transformatoridagi kabi yoziladi, aylanayotgan cho'lg'am kuchlanishida EYUK va EYUK transformatorli aylanish bo'ladi.

$$L_\beta^r \omega_p i_\beta^r + M \omega_p i_\beta^s - M \omega_p i_\alpha^s - L_\alpha^r \omega_p i_\alpha^r \quad (3.6)$$

Real aylanayotgan mashina kabi reaktiv quvvat va yo'qotishlardagi tokni saqlagan holda (3.3) va (3.4.) tenglama soxta qo'zg'olmas rotor cho'lg'ami uchun yozilgan. Transformatorli EYUK va EYUK aylanishda mashina rotor va stator cho'lg'amidagi kuchlanish muvozanatlashadi. [(3.5)qarang] (3.3), (3.4.) differensial tenglama analitik echimga ega emas, shunday qilib u o'zgaruvchan asardan iborat. (3.4) shuning uchun ham taqribiy echim ehtimoli bo'lishi mumkin, ana shuni tadqiq qilish uchun EXMdan keng foydalaniladi. Differensial tenglamadan asinxron mashina olish uchun (3.3), (3.4), asinxron mashina ishi rejimini belgilashni tavsiflovchi uyg'un birlikdagi tenglama, differensiyalovchi operatorni o'zgartirish kerak, asinxron mashinalar kuchlanishi tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi: $\frac{d}{dt} = j\omega$

$$\left. \begin{aligned} U_{\alpha}^s &= r_{\alpha}^s I_{\alpha}^s + j\omega L_{\alpha}^s I_{\alpha}^s + j\omega M I_{\alpha}^r; \\ 0 &= j\omega M I_{\alpha}^s + r_{\alpha}^r I_{\alpha}^r + j\omega L_{\alpha}^r I_{\alpha}^r + L_{\beta}^r \omega_p I_{\beta}^r + M \omega_p I_{\beta}^s \\ 0 &= -M \omega_p I_{\alpha}^s - L_{\alpha}^r \omega_p I_{\alpha}^r + r_{\beta}^r I_{\beta}^r + j\omega L_{\beta}^r I_{\beta}^r + j\omega M I_{\beta}^s \\ u_{\beta}^s &= j\omega M I_{\beta}^r + r_{\beta}^s I_{\beta}^s + j\omega L_{\beta}^s I_{\beta}^s \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Belgilangan rejada kuchlanish tenglamasi va harakat tenglamasi br-biriga bog'liq bo'lmagan holda qarab chiqiladi, shuning uchun kuchlanish tenglamasini tahlil qilamiz.

Shunday qilib simmetrik mashinani ko'rib chiqamiz, stator cho'lg'ami parametrlari maqsadga muvofiq belgilanadi.

Rotorniki bo'lsa: Induktivli qarshilikli belgilangan rejimga o'tishda

$$L_a = L_{\alpha}^s = L_{\beta}^s \text{ va } R_a = r_{\alpha}^s = r_{\beta}^s$$

$$j\omega L_s = j\omega M + j\omega L_{\sigma}^s; \quad j\omega L_r = j\omega M + j\omega L_{\sigma}^r \quad (3.8)$$

ni hosil qilamiz.

- ωL_s va ωL_r rotor va statorni cho'lg'amini to'liq induktiv qarshiligini bildiradi. $x_0 = \omega M$ esa o'zaro induksiyaning induktiv qarshiligi; $x_0 = \omega L_{\sigma}^s$; $x_0 = \omega L_{\sigma}^r$ rotor va stator asinxron mashinada o'tkazilgan tahlilning muayyan jarayonida cho'lg'amini sochilish induktivlik qarshiligini (3.7) kuchlanish to'rt tenglamasidan ikkitasiga o'tish mumkin bo'ladi, agar umumlovchi kuchlanish, tok va qarshilik bog'lamiga murojaat qilsak (1.12 § qarang)

Samarali vektorlariga dastlabki kirishda rotor va stator kuchlanishi $\underline{U}_s, \underline{U}_r$, toklar I_s va I_r , shuningdek qarshilik uchun R_s, R_r va induktivlik L_s, L_r , (3.7) dan quyidagini olamiz

$$\left. \begin{aligned} U_s &= R_s I_s + j\omega L_s I_s + j\omega M I_s \\ 0 &= R_r I_r + j\omega L_r I_r + j\omega M I_s - j\omega_p M I_s - j\omega_p L_r I_r \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Asinxron motordagi quvvatni hisoblaganda u stator cho'lg'amidan rotor cho'lg'amiga uzatiladi va aylanishning nisbiy chastotasi

$$v = \omega_r / \omega \quad x_0 = \omega M; \quad x_s = \omega L_{\sigma}^s; \quad x_r = \omega L_{\sigma}^r$$

$$\left. \begin{aligned} U_s &= R_s I_s + jx_s I_s + jx_0 I_s + jx_0 I_r; \\ 0 &= -R_r I_r - jx_r I_r - jx_0 I_r - jx_0 I_s + jx_0 I_s v + jx_0 I_r v + jx_r I_r v \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

ga ega bo'lamiz. O'zgaruvchan $I_0 = I_s + I_r$ ni kiritib (3.10) quyidagiga ega bo'lamiz.

$$\left. \begin{aligned} U_s &= R_s I_s + jx_s I_s + jx_0 I_0; \\ 0 &= -R_r I_r - jx_r I_r (1 - v) - jx_0 I_0 (1 - v). \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

(3.11) sirpanish uchun ifodadan foydalanib, $s = \frac{\omega_c - \omega_r}{\omega_c} = 1 - v$ ni topamiz.

$$\left. \begin{aligned} U_s &= R_s I_s + jx_s I_s + jx_0 I_0; \\ 0 &= -R_r I_r - jx_r I_r s - jx_0 I_0 s. \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

EYUKni kiritib yuksiz yurishda $E_0 = jx_0 I_0$, asinxron mashinani quyidagi ko'rinishiga o'tamiz.

$$\left. \begin{aligned} U_s &= -E_0 + R_s I_s + jx_s I_s; \\ 0 &= -R_r I_r - jx_r I_r s + E_0 s; \\ I_0 &= I_s + I_r \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

E_0 , elektr hosil qiluvchi kuch yoki ba'zida uni EYUKga qarshi kuch ham deb atashadi, chunki u tarmoqdagi kuchlanishni muvozanatlaydi. Qachonki valga tushadigan yuklamada mashina tarmoqqa ulangan bo'lsa, $U_s \approx -E_0$ nolga teng bo'ladi va mashina cho'lg'amidagi tok nolga yaqin bo'ladi.

Asinxron mashinalarni belgilangan rejimdagi nazariyasini kelgusida ko'rib chiqqanda rotor va statorning qarshiligidan foydalanilsa maqsadga muvofiq bo'ladi. (3.13) ikkinchi tenglamani s ga bo'lib, asinxron mashinaning tenglamasiga ega bo'lamiz.

$$\left. \begin{aligned} z_s &= R_s + jx_s; \quad z_r = R_r + jx_r \\ U_s &= -E_0 + z_s I_s; \\ 0 &= \frac{-R_r}{s} I_r - jx_r I_r + E_0; \\ I_0 &= I_s + I_r \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

Shunday qilib bu ifodani qarshi qilib qo'yib $\frac{R_r}{s} = R_r + R_r \frac{1-s}{s}$ (3.14) transformator tenglamasiga o'xshash asinxron mashina tenglamasiga ega bo'lamiz.

$$\left. \begin{aligned} U_s &= -E_0 + z_s I_s; \\ 0 &= -z_r I_r - jI_r R_r \frac{1-s}{s} + E_0; \\ I_0 &= I_s + I_r \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

(3.15)dagi tenglama belgilangan rejimlarda asinxron mashinaning elektr mexanik jarayonlarning energiyaga o'zgarishini ifodalab berilgan. Ular uchun vektorli diagramma, aylana diagramma va asinxron mashinalarni almashish sxemasi taqdim etilgan. (3.15) tenglamasi bo'yicha asinxron mashinalar nazariyasi transformator nazariyasi kabi ko'rib chiqiladi, ikkilamchi cho'lg'amga faol qarshilik $R_r \frac{1-s}{s}$ kiritiladi. Foydali quvvatdan ajralib chiqadigan qarshilik mashina vali foydali quvvatiga proporsional bo'ladi.

Nazorat savollari.

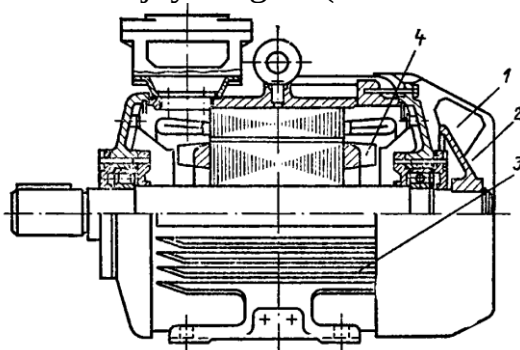
1. Ideallashtirilgan asinxron mashina modeli qanday?
2. Elektromexanik momet qaysi kattaliklarga bog'liq?
3. Asinxron mashina modeli qaysi parametrlarni o'zaro bog'laydi?

3.3. Asinxron mashinalarning tuzilishi.

Mubolag'a qilmasdan aytish mumkinki, sanoat ishlab chiqarishida asinxron motorlar harakatga keltiriladi. Hozirgi vaqtda son-sanoqsiz miqdorda yagona rusumdagi asinxron motorlar ishlab chiqarilmoqda. 4A asinxron mashinalarning asosiy rusumi o'z ichiga 0,4 dan 400 kVt gacha bo'lgan motorlarni o'z ichiga oladi. 400 kVt dan yuqori quvvatli yagona rusumdagi mashinalar ishlab chiqariladi. AI asinxron mashinalarning yagona rusumi ishlab chiqilgan, SEV(hukumatlararo iqtisodiy tashkilot) a'zo mamlakatlari tomonidan ishlab chiqarilmoqda.

Asinxron mashinalarning konstruksiyasi ikkita asosiy xilga bo'linadi: faza rotorli va qisqa tutashtirilgan rotorli. Qisqa tutashtirilgan rotorli motorlar eng ko'p ommalashgan, 4A rusumdagisida 400 kVtni ham hisobga olgan holda hamma

quvvatlar to'la quvvatda bajariladi. Qisqa tutashtirilgan rotorlarning cho'lg'ami alyumin qo'ymasi va qotishmasidan tayyorlanadi. Qo'yib qoplashda bir vaqtning o'zida yoriqda yotgan tayoqcha (sterjen) turlanadi va yuk tashuvchi mashinani muvozanatlashni mustahkamlash uchun qisqa tutashuvli xalqada shtir va yon yuzasida shamollatish kurakchalari joylashgan. (1.20 va 3.3. rasmga qarang)

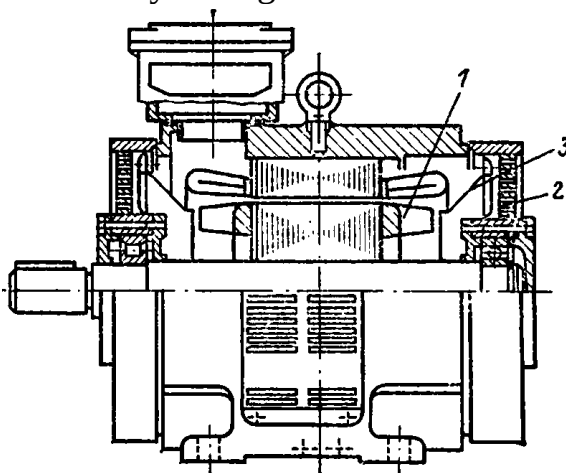


3.3. Rasm. 4A250 asinxron motor (himoya darajasi IP44).

Asinxron maxsus mashinalar va yirik mashinalarning qisqa tutashtirilgan rotori yaxshilangan ishga tushirish tavsifi payvandlash orqali bajariladi. Mis yoki latundan tayyorlangan rotorning sterjenlari qisqa tutashuvli tirqishga ega bo'lgan xalqaga payvandlanadi, payvandlash oldidan ana shu tirqishga cho'lg'amning tayoqchasi qo'yildi[4].

Fazaviy rotorli asinxron mashinalar rotorda aylana va to'g'ri burchakli cho'lg'amga ega bo'ladi, u ham xuddi stator cho'lg'amidagi kabi bajariladi.

4A rusumidagi qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarni sovutish usuli va himoyalash darajasi bo'yicha ikki xil turga bo'lish mumkin. Yopiq mashinalar, 1mm dan ko'p diametrdagi predmetlar va turli yo'nalishdagi sachrovlarni uni ichiga tushishidan himoyalangan va tashqi shamol purkovchi ventilyatorga ega (3.3.rasm). 14254-69 GOST bo'yicha bajarishda IP44 belgiga ega. Mashinada IP23 belgili himoya darajasi bo'yicha konstruksiyasining ikkinchi xili hisoblanadi. (3.4 rasm)



3.4. Rasm. 4AH250 asinxron motor (himoya darajasi IP23).

Bunday mashinalarda tok uzatuvchi mashina qismlarini aylantiruvchi 12,5 mm dan ortiqroq diametrdagi qattiq predmetlar va qo'l barmoqlarining tegib ketish

ehtimolidan himoyalashni ta'minlaydi. IP23 bajarilganda vertikaliga 60^0 burchak ostida tushayotgan tomchini mashinaning ichiga kirishidan himoya qiladi.

Ba'zida bunday ijro tomchidan himoyalovchi deb ham aytiladi.

Yopiq motorda tashqi shamol purkash ventilyator 1 (3.3.rasm) orqali amalga oshiriladi, 2 aylanma g'ilof, 3 motor staninining issiqlik uzatishini yaxshilash uchun u bo'ylama radial qirrarga ega bo'ladi. Rotorning ventilyasion kurrakchalari cho'lg'amning old qismidagi o'ta qizigan issiqlikni qaytarib 4 mashina ichidagi havoni aralashtiradi.

IP23 himoya darajasi bo'yicha motorda himoyalashni bajarishda shamollatishning ikki tomonli simmetrik radial tizim qo'llaniladi.(3.4.rasm)

To'siqlardagi teshik orqali mashinaga kiruvchi havo stanindagi teshik orqali chiqadi. Mashina ichidagi havo bosimi kurakcha orqali hosil qilinadi 1, rotor cho'lg'aming qisqa tutashuvi bilan birga qo'yilgan, diffuzorlar 2, podshipniklar to'sig'iga qotirilgan 3, havo novini yo'naltiradi.

3.1. va 3.2 tablitsada motor quvvatini o'qi balandligida aylanishini muvofiqlashtirish ko'rsatilgan quvvat shkalasi o'rnatish o'lchami bilan bog'liq bo'ladi. 220,380 va 660V motorlarining nominal kuchlanishi. O'q aylanishi balandligi 17 ushbu rusumda joylashtirilgan. Fazaviy rotor motorlarida rotor cho'lg'ami aylana sim yoki to'g'ri burchakli kesma misdan qilingan sterjen to'kma qilib bajariladi. Fazaviy rotorli motorning umumiy ko'rinishi 3.5 rasmda ko'rsatilgan.

Fazaviy rotorli mashinaning ajralib turadigan o'ziga xosligi shundaki boshlanishi tutashish halqasidan chiquvchi rotor cho'lg'amida aylana sim yoki to'g'ri burchakli kesma misdan qilingan sterjenning mavjudligidir.

Tutashuv xalqasi tuguni stanindan chiqarilgan, tutashuv xalqasi esa g'ilofdan chiqarilgan (3.5 rasm). Konsol tipidagi tutashuv xalqasi tuguni.

Tutashuv xalqasi plasstmasi bilan presslangan, motor valiga o'tkaziladi, ular mis yoki cho'yandan tayyorlanadi. Rotor cho'lg'aming oxiridagi chiqarmasi rotor vali ichki tirqishi orqali uchta halqaga to'g'ri keladi. Rotor cho'lg'ami yulduzchaga birlashtiriladi.

Tok uzatuvchi apparat cho'tka va cho'tka ushlagichdan iborat. Cho'tka ushlagich barmoqning izolyasiya qilingan qismiga qotirilgan, metalsimon oxiri esa bo'rtma podshipnikli to'siqqa burab qo'yilgan.

IP23 va IP44 fazaviy rotorli motorlarni himoya darajasi va shamollatish tizimi 3.3. tablitsada ko'rsatilgan. Unda o'qning aylanish balandligi va quvvati va aylanish chastotasi o'rtasida aloqa keltirilgan.

Rusumli elektrli mashinalarni tayyorlashda maksimal unifikatsiyalashga katta e'tibor qaratilmoqda, shuning uchun ham ko'pgina detallar mashinalar uchun xuddi qisqa tutashtirilgannidek bir xilda bo'ladi, fazaviy rotorlida ham xuddi shunday bo'ladi.

Fazaviy rotorli yoki qisqa tutashtirilgan asinxron mashinalar statori stanina va cho'lg'amli magnit o'tkazgichdan iborat. Statorning magnit o'tkazgichi bir-biridan izolyasiya qilingan va ichki tirqish yuzasiga ega elektrtexnikaviy po'lat to'shamadan yig'iladi.

3.1.Jadval. O'q aylanishining balandligi quvvatining muvofiqlashtirilishi

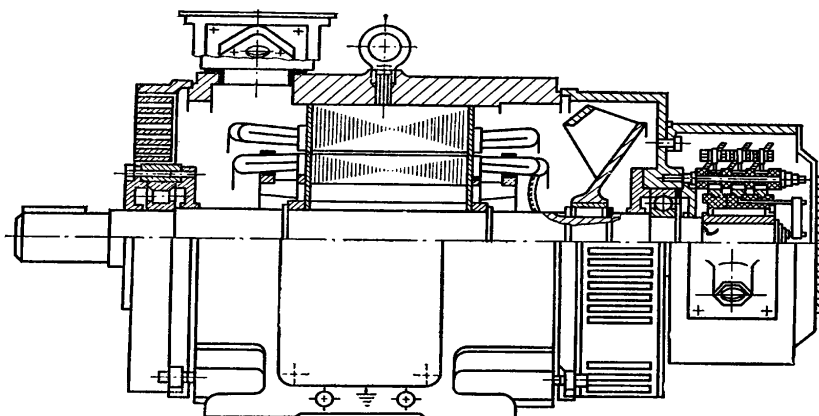
O'qning aylanishi ballandligi h, mm	Motorning quvvati. kVt qutblar sonida						O'qning aylanishi ballandligi h, mm	Motorning quvvati. kVt qutblar sonida					
	2r=2	2r=4	2r=6	2r=8	2r=10	2r=12		2r=2	2r=4	2r=6	2r=8	2r=10	2r=12
50	0.09	0.06	-	-	-	-	132	-	7.5	5.5	4.0	-	-
	0.12	0.09	-	-	-	-		11	11	7.5	5.5	-	-
56	0.18	0.12	-	-	-	-	160	15	15	11	7.5	-	-
	0.25	0.18	-	-	-	-		18.5	18.5	15	11	-	-
63	0.37	0.25	0.18	-	-	-	180	22	22	-	-	-	-
	0.55	0.37	0.25	-	-	-		30	30	18.5	15	-	-
71	0.75	0.55	0.37	-	-	-	200	37	37	22	18.5	-	-
	1.1	0.75	0.55	0.25	-	-		45	45	30	22	-	-
80	1.5	1.1	0.75	0.37	-	-	225	55	55	37	30	-	-
	2.2	1.5	1.1	0.55	-	-	250	75	75	45	37	22	-
90	-	-	-	0.75	-	-		90	90	55	45	30	-
	3.0	2.2	1.5	1.1	-	-	280	110	110	75	55	37	-
100	4.0	3.0	-	-	-	-		132	132	90	75	45	-
	5.5	4	2.2	1.5	-	-	315	160	160	110	90	55	45
112	-	-	3.0	2.2	-	-		200	200	132	110	75	55
	7.5	5.5	4.0	3.0	-	-	355	250	250	160	132	90	75
								315	315	200	160	110	90

3.2-jadval. o'qning aylanish balandligi bilan quvvatni muvofiqlashtirish. IP23
himoya darajasi

O'qning aylanishi ballandligi h, mm	Motorning quvvati, kVt qutblar sonida					
	2r=2	2r=4	2r=6	2r=8	2r=10	2r=12
160	22	18.5	-	-	-	-
	30	22	-	-	-	-
180	37	30	18.5	15	-	-
	45	37	22	18.5	-	-
200	55	45	30	22	-	-
	75	55	37	30	-	-
225	90	75	45	37	-	-
220	110	90	55	45	-	-
	132	110	75	55	-	-
280	160	132	90	75	45	-
	200	160	110	90	55	-
315	-	200	132	110	75	55
	250	250	160	132	90	75
355	315	315	200	160	110	90
	400	400	250	200	132	110

3.3-jadval. Fazaviy rotorli motorning quvvati shkalasi

O'qning aylanishi ballandligi h, mm	Aylanish chastotasida kVt motorning quvvati, ayl/min							
	1500	1000	750	1500	1000	750	600	500
	IP 44himoya darajasi			IP23 himoya darajasi				
160	10	7.5	5.5	15	-	-	-	-
	13	10	7.7	18.5	-	-	-	-
180	-	-	10	22	15	11	-	-
	18.5	13	32	30	18.5	15	-	-
200	22	18.5	15	37	22	18.5	-	-
	30	22	-	45	30	22	-	-
225	37	30	22	55	37	30	-	-
250	45	-	-	75	45	37	-	-
	55	37	30	90	55	45	-	-
	75	45	37	110	75	55	-	-
280	-	-	-	132	90	75	-	-
	-	-	-	160	110	90	-	-
315	-	-	-	200	132	110	75	55
	-	-	-	250	160	132	90	75
355	-	-	-	315	200	160	110	90
	-	-	-	400	250	200	132	110



3.5-rasm. 4 ANK200 fazaviy rotorli motor (himoya darajasi 1P23).

Statorning o'zagi alohida paketlardan iborat bo'lib, yig'ilgandagidek keyin tutqich bilan biriktiriladi va statinga qotiriladi. To'plamlarni yig'ishda statorning magnit o'tkazgichi tirqishlarini yopish mumkin. Statoridagi tirqishlar shakli va miqdori aylanish chastotasi quvvatiga ega bo'ladi. Asinxron motorni ishlab chiqarishda qalinligi 0,35 va 0.5 mm sovuqlayin va issiqalayin jo'valangan po'latdan foydalaniladi. Issiqalayin jo'valangan po'lat magnitli anizotropiyaga ega bo'lmaydi. Sovuqlayin jo'valangan po'lat esa anchagina anizo-tropiyaga ega bo'ladi. 1211

markali issiq jo'valangan po'lat $H=2500$ A/m magnit maydoni kuchlanishidagi 1,53 Tl induksiyaga ega, solishtirma yo'qotishlar $R_{1,0/50} = 3.3$ Vt/kg.bo'ladi.

O'qning aylanish balandligi 160 mmgacha bo'lgan 4A rusumdagi asinxron motorlar uchun sovuq jo'valangan 2212s markali cho'lg'amli po'latdan $V_{2500} = 1,65$ Tl va $R_{1,0/50} = 2.2$ Vt/kg. foydalaniladi.

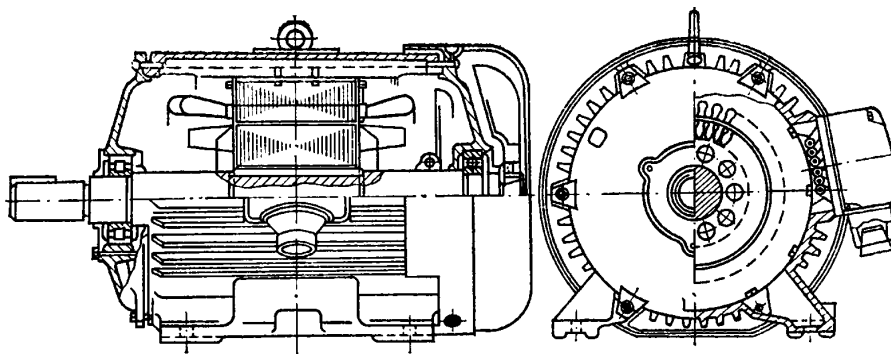
Odatda stator kabi rotor ham birta cho'lg'amdan ham iborat bo'lib, bir xil varaqlarda shtamplanadi. Rotorning qayta magnitlanish chastotasi uncha katta emas va u 1-2 Gs ga teng, rotor varaqlari bir-biri bilan izolyasiyaga kirishmaydi. Motorning staninalari AL-2 alyumin qotishmadan tayyorlanadi, qatta quvvatli motorlar uchun esa cho'yandan tayyorlanadi.

Podshipnikning to'siqlarini mustahkamlash uchun bo'ylama bo'rtmali qo'yilgan panjadan stanina tayyorlanadi.

Mexanik pishqlikni kuchaytirish va sovutishni yaxshilash uchun stanina ko'ndalang qirraga ega bo'ladi.

Podshipnik to'siqlari AL-2 qotish madan tayyorlanadi. Podshipnik ostidagi tirqish po'lat qoplama bilan armaturalanadi. Katta quvvatli motorlar to'siqlari cho'yandan tayyorlanadi. Konstruksiyalarni mustahkam bo'lishi uchun qirralarga ham ega. A4 rusumdagi motorlarda val tomondan bitta podshipnikli tayanch suzuvchan, ikkinchi tomondagisi esa qayd qilib boruvchi bo'ladi. Qayd qilinadigan tayanchga o'rnatilgan podshipnik radial va o'q yuklamasini qabul qiladi. Suzuvchan tayanchda o'rnatilgan podshipnik aksial yo'nalishda erkin aralashib ketadi, issiqlik kengayishida va o'lcham oxirida nog'ishida qadalishini oldini olinadi. Podshipniklar tuguni podshipnik, podshipnik qopqog'i va zichlash elementlaridan iborat[4].

Podshipniklar tuguni moy surkashni qurilma bilan to'ldirish, shuningdek o'qning aylanish balandligidan qat'iy nazar val oxirida chiquvchi diametri va uzunligiga qarab tanlanadi.



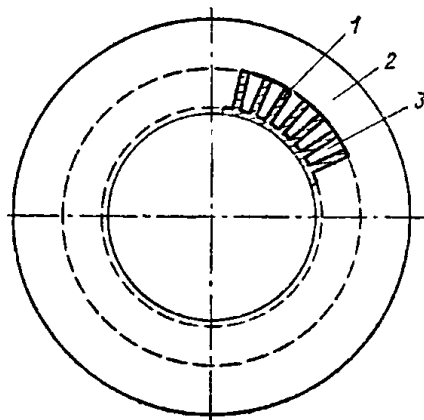
3.6-rasm. 9-gabaritli AO2 puflab tozalangan asinxron motor.

Yagona rusumdagi asinxron motorlarni konstruksiyalashda ayrim detallar va tugunlar maksimal darajada unifikatsiya qilinishi ta'minlanadi.

4A yagona seridagi asinxron motorlardan tashqari A2 va AO2 motorlar ham ishlab chiqariladi. 1975 yilgacha ular asosiy motor sifatida ishlab chiqarilgandan keyin esa yangi rusumdagisiga almashtirilgan.

A2 va AO2 asinxron mashinalarga juda ko'p materiallar sarflanadi va boshqa o'rnatish o'lchamga ega bo'ladi. 3.6 rasmda mashinalarning ana shunday konstruksiyada bajarilgani ko'rsatilgan.

6000 v kuchlanishdagi 100 kVt yuqori kuchga ega bo'lgan modifikatsiyadagi 12-13 o'lchamli A, surkalgan, barcha ishlatish muddatiga mo'ljallangan. Ikki tomonli zichlamaga ega podshipniklar va doimiy moylangan 4A yagona rusumdagi motorlarning vali unifikatsiyalangan.



3.7-rasm. gofrlangan tirqish qismli tarkibiy stator.

AK rusumdagi yuqori voltli asinxron motorlar elektrotexnika sanoatida ishlab chiqariladi. Ana shunday motorlar qisqa tutashuvli va fazaviy rotorli qilib ishlab chiqariladi.

Qisqa tutashuvli rotorli motorlarda payvandlashda to'qima panjaradan foydalaniladi. Stator cho'lg'ami "Monolit-2" xilidagi izolyasiyaga ega. Izolyasiya qizishga chidamlilik F sinfiga mos keladi.

Nasos va aerodinamik trubalar uchun 20 MVtgacha bo'lgan quvvatli asinxron motorlar ishlab chiqarilmoqda. Eng ko'p ommalashgan ATD rusumdagi kuchli asinxron motorlardir. ATD motorlari qisqa tutashuvli yaxlit rotorli va suvda sovutiladigan cho'lg'amli stator bilan ishlab chiqariladi.

Umumiy ahamiyatdagi motorlar konstruksiyasidan asinxron mikro-motorlarning konstruksiyasi farq qiladi. Bu avtomatik boshqarish tizimida maishiy asboblarda funksional foydalanish (tagogeneratorlar, datchiklar va boshqa qurilmalar) va bir fazali quvvatlanishda alohida talablar bilan ishlashga bog'liqdir.

[11] maxsus kurslarda va keyinchalik asinxron mikromotorlarning eng ko'p ommalashgan konstruksiyalari ko'rib chiqiladi.

Shunga qaramasdan ko'pchilik konstruktorlar tomonidan uzoq yillar davomida asinxron motorlarning konstruksiyasi ishlab kelinmoqda, uning takomillashtirish va boshqa shakliga o'tish borasidagi ishlar ham davom etmoqda. Materiallarni tejash muammosi boshqa chiqimsiz texnologiyani yaratish yo'llarini izlashga, elektromashinaqurilishida doimiy qo'llanilayotgan materiallarni almashtirishga majbur qildi.

Rotor va statorlarni varaqlarini shtampovkalashda po'latning ko'p qismi chiqitga chiqib ketmoqda. Ba'zida kesishlarda bu ko'rsatkich 50 foizdan oshib ketadi. Chiqitsiz statorning magnit o'tkazgich konstruksiyasiga misol qilib 3.7. rasmda misol keltirilgan. Trakibiy stator 1 tishli qismdan va bir-biriga qo'yiladigan magnit o'tkazgich yarmosidan 2 iborat. Magnit o'tkazgichning ariqcha qismi gofrlangan garmoshkasimon po'lat elektrotexnikaviy tilimni o'z ichiga oladi, 3 oraliq ariqcha

hisoblanadi va unga cho'lg'am yotqiziladi. Yarmo qirradi po'lat cho'lg'ami bilan o'rab qo'yiladi. Bunday konstruksiya uncha katta quvvatga ega bo'lgan motorlar uchun qo'llanilishi mumkin.

Kukun metallurgiyasida magnitli o'tkazgichni magnit oqimi tutashadigan elektr o'tkazuvchi qismini tayyorlash uchun mis va alyumin, biometall simlar o'rniga po'lat simlarni qo'llash borasida tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Klassik asinxron mashinalar klassik hisoblanadi va bir vaqtning o'zida ular rivojlanmoqda va yangi asinxron mashinalarning paydo bo'lishi bilan ular to'xtovsiz boshqa shakliga o'tmoqda.

Nazorat savollari.

1. Asinxron mashinalarni konstruktiv tuzilishi qanday qismlardan tashkil topgan?
2. 4A rusmli asinxron mashinalarni tuzulishi qanday?
3. IP himoyalash daraja sinflari haqida nima bilasiz?

3.4. Asinxron mashinalarning cho'lg'ami.

Qoida bo'yicha tarmoqqa ulanadigan stator cho'lg'ami tufayli asinxron mashinalarda aylanayotgan maydon hosil bo'ladi.

Ko'pchilik asinxron mashinalar uch fazali simmetrik cho'lg'amga ega, 1.9.§ da ularning tuzilish prinsipi ko'rib chiqilgan.

Asinxron mashinalar rotorining fazaviy cho'lg'ami va stator cho'lg'ami bir va ikki qavatli (1.50-1.55 rasmga qarang) qilib bajariladi. Quvvati va kuchlanishidan qat'iy nazar sirtmoqsimon (1.64.rasmga qarang) va to'lqinsimon cho'lg'am qo'llaniladi (1.66.rasmga qarang).

4A rusmsidagi asinxron motorlarning statori cho'lg'ami faqatgina sirtmoqsimon qilib tayyorlanadi. Yumshoq cho'lg'amli to'kma cho'lg'am va qattiq cho'lg'amli cho'lg'am qo'llaniladi.

100 kVt gacha bo'lgan to'kma cho'lg'amlar pastvoltage mashinalarda qo'llaniladi. Ariqchalarga yumshoq cho'lg'amlar o'tqizilishidan oldin andazadagi aylana mis yoki alyumin sim bilan o'raladi

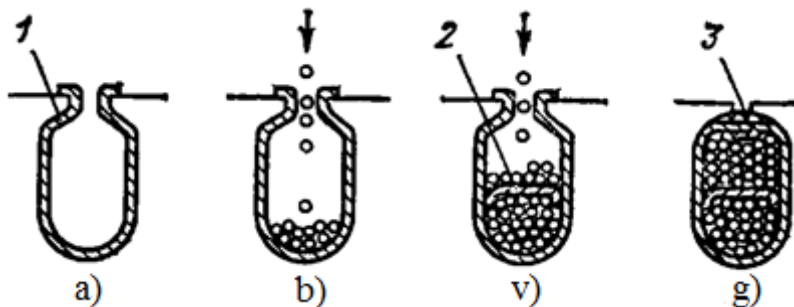
Seksiyalar presslanib ma'lum bir shaklga ega bo'lganidan keyin ariqchalarga yotqiziladi, u yerda ariqchali 1 izolyasiya joylashgan bo'ladi.(3.8,a,rasm). Keyin ariqchalarga cho'lg'am o'tkazgichlari kiritiladi va 2 cho'lg'amning tepa va past qatlami oralig'iga izolyasiyalovchi qistirma yotqiziladi.(3.8,b,v rasm). cho'lg'am ariqchasi to'ldirilgach ariqcha ponaga 3 qotiriladi. (3.8.g, rasm).

Ariqchaga g'altak joylashtirilgach pesh qismi qoliplanadi va bandajlanadi. Keyin stator cho'lg'am bilan singdirilishga duchor bo'ladi.

Qattiq g'altaklar to'g'riburchakli izolyasiyalangan simdan tayyorlanadi. (1.51 va 1.52 rasmlarga qarang). Korpusli va fazalararo izolyasiya g'altak bilan birga qisman bajariladi, yoki ariqchaga joylashgacha shimilib ketadi yoki kompaundlanadi. Ariqchali izolyasiyaga ega bo'lgan g'altak yarim ochiq yoki ochiq holatdagi ariqchalarga joylashtiriladi. Ariqchalarga joylashgan g'altakchalar bir-biri bilan birlashadi va butunlay singib ketadi. Qattiq seksiyali cho'lg'amlar katta koeffitsientda ariqchani to'ldirilishini ta'minlagani uchun ham ular o'ta ishonchlidir.

To'g'ri burchakli ariqchaga trapetsiyasimon shakldagi tishga ega qattiq cho'lg'am qo'llaniladi.

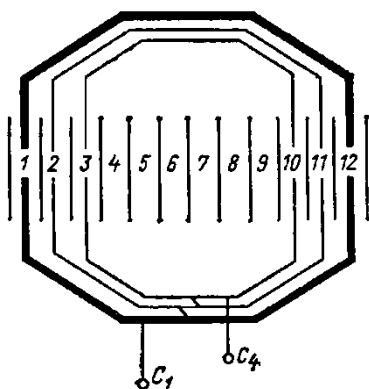
100 kVtdan yuqori quvvatga ega mashinalarga qattiq seksiyali cho'lg'amlar qo'llaniladi. Cho'lg'amlash ishlarini mexanizatsiyalash - elektrli mashinalarni tayyorlashda og'irlikni pasaytirishning asosiy yo'li hisoblanadi.



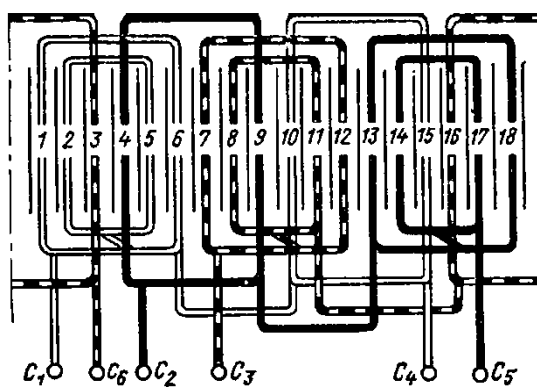
3.8- rasm. Ariqchalarga yumshoq seksiyalarni joylash jarayoni.

Oxirgi vaqtlarda elektr mashina qurilish zavodlarida stator cho'lg'amli stanoklar keng qo'llanilmoqda. Ko'pchilik stator cho'lg'amli stanoklarda yakka markazli cho'lg'am qo'llaniladi va shu bilan bir vaqtning o'zida ariqchaga seksiyaning ikki tomonidan joylashadi. To'kma cho'lg'amni qo'llanilishi cho'lg'amni tayyorlashni to'liq mexanizatsiyalashni ta'minlab beradi. Shuning uchun ham yumshoq seksiyali cho'lg'am ommaviy ravishda asinxron mashinalarni tayyorlashda qo'llaniladi. Bunday mashinalar 4A rusumdagi quvvati 100 kVtgacha bo'lgan motorlar hisoblanadi.

Yumshoq seksiyali cho'lg'am pesh qismini uchishi kam bo'ladi, trapetsiyasimon ariqchalar tishli zonadan tishlarning bir tekis kesishgani hisobiga yaxshi foydalanishni yaxshilanishini ta'minlab beradi. Yumshoq seksiyali cho'lg'amning kamchiligiga qattiq seksiyali cho'lg'amga nisbatan ishonchliqlik darajasi juda kam ekanligini kiritish mumkin.



3.9-rasm. Bir-ikki qavatli cho'lg'am chizmasi ariqchalar.



3.10-rasm. G'altagi 1-12 raqamiq ($m=3/2_p=4$).

4A yagona rusumdagi bir qavatli konsentrik cho'lg'amli asinxron motorlarni tayyorlashda 15 kVtgacha quvvatga ega bo'lgan motorlar qo'llaniladi.

Qattiq seksiyali ikki qavatli cho'lg'am quvvati 100 kVtdan yuqori bo'lgan motorlarda qo'llaniladi. 15-100 kVt diatirqishonga bir-ikki qavatli cho'lg'am

qo'llaniladi, bir-ikki qavatli cho'lg'amning ustunligi birikishidadir. Bu cho'lg'amlar qisqartirilgan odimni yo'l qo'yadi va stator cho'lg'amli stanoklar ariqchasiga joylashadi.

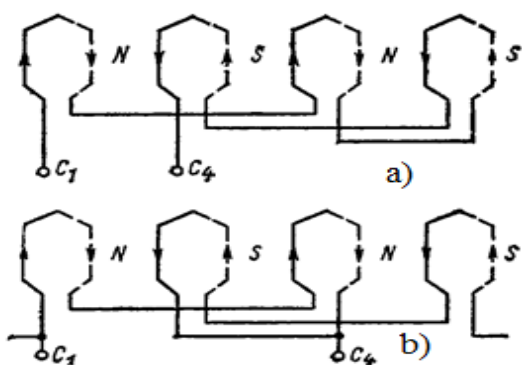
Bir-ikki qavatli cho'lg'am konsentrik g'altakdan iborat. G'altakli guruh bitta katta g'altakdan va q-1 kichik g'altakdan iborat (q-qutb va fazada ariqchalar soni). Katta g'altak barcha ariqchalarni qamrab oladi, kichik g'altakchalar esa ariqchalarni yarmini egallaydi (3.9 rasm)

Ariqchalar qismida qisqartirilgan odimli ikki qavatli cho'lg'am (1.64,1.65.rasmga qarang)turli faza-larga tegishli bo'lgan seksiya joylashgan. Bir fazaga tegishli bo'lgan ariqchalardagi bir-ikki qavatli cho'lg'amda ikki sonli cho'lg'amdagi katta g'altak joylashgan, boshqa ariqchalarda esa turli fazadagi g'altakchalar tomonidan ikki qavat qilib joylashtirilgan. G'altakchalar guruhi soni qutblar soniga teng.Bir-ikki qavatli cho'lg'amni $q > 2$ da bajarib bo'ladi. $q = 2$ bo'lganda cho'lg'am konsentrik bir qavatli cho'lg'amga ayniydi.

Hanuzgacha ko'rib chiqilayotgan cho'lg'amlar q fazada va qutbda bir qancha ariqchalar soniga ega bo'ladi. Ba'zida cho'lg'amni bo'laklangan q holda qo'llash maqsadga muvofiqdir. Masalan statorning uncha katta bo'lmagan diametrda uch fazali cho'lg'amga ega mashinada $q=1$ va $p=2$, $z=2mpq=2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1=12$, agar $q=0,5$ deb qabul qilsak, unda $z=6$ ga teng bo'ladi.

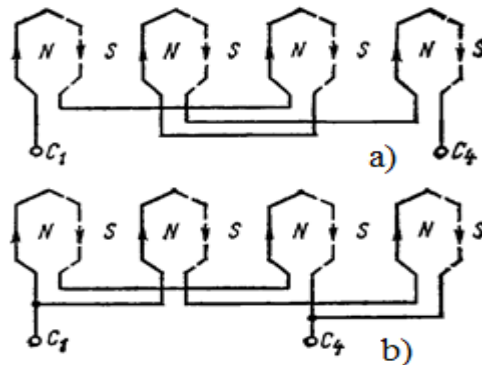
Tishchalarning kengligi texnologik mulohazaga ko'ra 1,8-2 mm bilan cheklanadi, shuning uchun kichik diametrda bo'laklangan q bilan mashinada engil bajarish mumkin. $q=0,5$ bo'lganda cho'lg'am har bir tishni qamrab oladi. $q < 1$ cho'lg'am ko'pqutbli sekin yuruvchi asinxron mikromotorlarda qo'llaniladi. $q > 1$ cho'lg'am esa turli sondagi g'altakchalar bilan g'altakli guruhdan iborat. Cho'lg'am fazalari qutbli bo'linishda nesimmetrik bo'lsa, ichki stator diametri bo'yicha esa simmetrik bo'ladi. 3.10 rasmda bir qavatli uch fazali cho'lg'amning chizmasi berilgan $q=11/2$ $2p=4$.

Ikki qavatli cho'lg'amda bo'laklangan q ni qo'llash oson. Biroq, bir narsani e'tiborga olish kerakki, bunda asinxron mashinalarda q bo'laklangan stator cho'lg'amni qo'llash tirqishdagi MYUK yomon qiyshik bo'lishidan qochish kerak. Q bo'laklangan cho'lg'amda qutblarning boshqa sonidastatorni qayta o'rgan vaqtda shtamlarni tayyorlash maqsadga muvofiq bo'lmaydi.



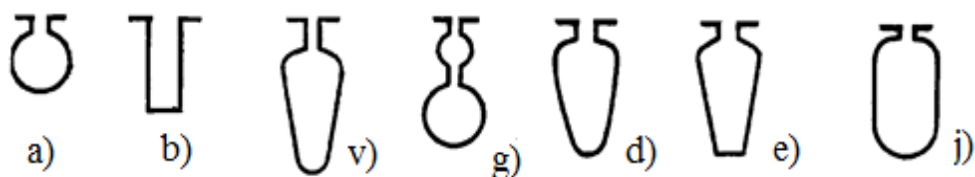
3.11-rasm. $2p=4$ bo'lganda g'altakli ulanish guruhi;

a-ketma-ket ulanish;b-parallel

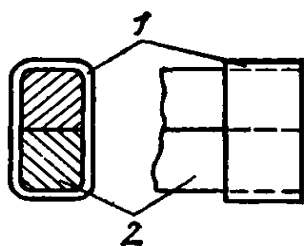


3.12-rasm. $2p=8$ bo'lganda g'altakli ulanish guruhi;

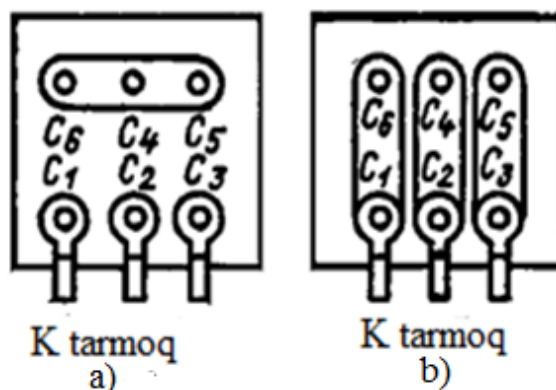
a-ketma-ket ulanish;b-parallel



3.13-rasm. Asinxron dvigatel pazlarining tuzilishi.



3.14-rasm. Rotorda ikki qatlamli to'liqinli chulg'amning bog'lanishi .



3.15-rasm. Chulg'amning yulduz-a, uchburchak-b, ulanishi.

Ko'pgina elektrsimlar pog'onasimon aylanish chastotasini boshqarishni talab etadi. Buni mashinaning juft qutblarini sonini almashlab ulash yo'li bilan amalga oshirish mumkin. Buning juda bir oddiy usuli turli sondagi qutblarda stator ariqchasiga ikki cho'lg'amni qo'yish kerak bo'ladi. Bu bilan qisqa tutashuvchi cho'lg'amli rotor yuqori energetik ko'rsatgichlarga ega asinxron motorni turli sinxron aylanish chastotalarida ishlashini ta'minlab beradi.

3.15. Rasm. Cho'lg'amlarning yulduz ichida birlashishi (a) uchburchak yulduzchaga, [b] xulosa qutisi. Fazali rotorlar motorida sepiluvchan yoki g'altakli va sterjenli rotorlardan foydalaniladi. Sepiluvchi cho'lg'amlar bu qisqartirilgan qadamli halqasimon uch fazali ikki qatlamli cho'lg'amlardir. Tirqishlarda trapetsiya avvali shakllarda yotqiziladi(3.13.rasm d,e). Cho'lg'amlar aylana misli simlardan taxlanadi. Statorli cho'lg'amlar uchun ham yotqizish texnologiyasining izzolatsiyasi singdiriladigan laklar qo'llaniladi. Sepiluvchicho'lg'amlar stator cho'lg'aming kuchlanishiga yaqin bo'lgan shotkali apparatning konstruksiyasini engilashtiruvchi va tokning pasayishida apparaturaning ishga solishini boshqarish xalqali kuchlanishga ega bo'linishni ta'minlab beradi. Bu cho'lg'amlar ishlov berishda qulay va rotor tirqishlar sonining kamayishiga yo'l qo'yadi. Sepiluvchi cho'lg'amlar quvvati 50 kVt gacha bo'lgan asinxron motorlarida qo'llaniladi. Sterjenli cho'lg'amlar rotorning yarim yopiq tirqishida yotqizilgan sterjenli to'g'ri burchakli misdan iborat bo'lgan ikki qatlamli to'liqinli cho'lg'amlardir. (rasm. 3.13, as). Sterjenli cho'lg'amlar tirqishga torsdan, keyin old tomondagi birinchi qismi qayriladi. 3.14.rasmdagi ikki sterjenli cho'lg'amlar o'zaro xomutlar orqali birlashtiriladi. Xomutlar bir paytning o'zida mashinalar ichidagi havoning rotorlarning aylanish paytida o'zgarishni ta'minlovchi ventelyator parragining rolini bajaradi. Cho'lg'amlar qadami kontakdagi g'ildiraklar tomonidan birlashtirilgan va rotorning qaramaqarshi tomondagi sterjenlar orqali aniqlanadi.

Bu qadamlar yig'indisi qutbiy bo'linishga tenglashtiriladi. Rotor fazalarining aylanmasidan so'ng aylanmalar qulflanmasligi uchun har bir aylanmadan so'nggi qadam qisqartiriladi. Fazali rotorlarning sterjenli aylanmalari kontak g'ildiraklarining kuchlanishi 500 V gacha bo'lgan o'rtacha va katta quvvatli motorlarda foydalaniladi. Sterjenli aylanmalarning kamchiliklari. aylanish sonining ko'pligi va katta og'irligi 4A rusumli past sinxronli motorlar 220, 380 va 660 V kuchlanishda ishlab chiqariladi. Xulosa doskasida cho'lg'amlar shunday joylashadiki, ularni yulduz va uchburchakka birlashtirish mumkin. (rasm.3.15,0,b). Katta kuchlanishli cho'lg'amlar yulduzga kam kuchlanishli cho'lg'amlar uchburchakka birlashtiriladi.

Katta quvvatli asinxron mashinalarda cho'lg'amlar yulduzga birlashtiriladi.

Nazorat savollari.

1. Asinxron mashina chulg'amlarining ko'ndalang kesim yuzasi qanday shaklda tayyorlanadi?
2. Asinxron mashinalarning pazlari necha xil tuzilishga ega?
3. Asinxron mashina chulg'amlarini ulanish guruhi?

3.5. Asinxron mashinalarning vektorli diagrammasi.

Asinxron mashinalarning rotorlarida va statorlarida cho'lg'amlar soni xar hil. Agar mashinalarda aylanadigan rotor va stator cho'lg'amlari bir xil bo'lsa ularning energiya jarayoni o'zgarmaydi. Odatda rotorcho'lg'amlarning soni stator cho'lg'amlar soniga tenglashtiriladi. Faol to'rdan o'rnatishda iste'mol qilingan reaktiv kuybat FIK va $\cos\phi$ saqlanib qoladi keltirilgan qiymatlarga shtrix qo'shiladi. Haqiqiy va transformator uchun belgilab keltirilgan cho'lg'amlarning MYUK ni o'zgartirmay ikkilamchi tok cho'lg'amini olamiz.

$$I_2 = I_2 \frac{m_2 \omega_2 k_{02}}{m_1 \omega_1 k_{01}} \quad (3.16)$$

Rotor va stator fazalarning cho'lg'amlar soni; $W_1 W_2$ rotor va statorlar cho'lg'amlari soni; $K_{ou} K_{ou}$ -cho'lg'amli koeffitsientga cho'lg'am statori va rotorlari teng keladi. O'zgaras oqim mashinani oqimning sharoitidan keltirilgan cho'lg'amlar soni haqiqiy cho'lg'am sonidan

$$\Phi_m = \frac{E_2}{4.44 f_1 \omega_2 k_{02}} = \frac{E_2}{4.44 f_1 \omega_1 k_{01}} \quad (3.17)$$

Natijada quyidagiga erishamiz

$$E_2 = E_2 \frac{\omega_1 k_{01}}{\omega_2 k_{02}} \quad (3.18).$$

Rotorda isrofning saqlanish shartiga ko'ra

$$m_2 I_2^2 r_2 = m_1 (I_2')^2 r_2' \quad (3.19)$$

aniqlaymiz

$$r_2' = \frac{I_2^2}{(I_2')^2} \frac{m_2}{m_1} r_2 = \left(\frac{m_1 \omega_1 k_{01}}{m_2 \omega_2 k_{02}} \right)^2 \frac{m_2}{m_1} r_2 = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{\omega_1 k_{01}}{\omega_2 k_{02}} \right)^2 r_2. \quad (3.20)$$

(3.20)reaktiv kuchning o'zgarasligi tufayli hosil bo'ladi.koeffitsientning tokini o'rnatish uchun $K_1=t_2$. formuladan foydalaniladi.

$$x_2' = x_2 \frac{r_2'}{r_2} = x_2 \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{\omega_1 k_{01}}{\omega_2 k_{02}} \right)^2. \quad (3.21)$$

Shunday qilib, tok oqim uchun pasayish koeffitsienti

$$k_I = \frac{m_2 \omega_2 k_{02}}{m_1 \omega_1 k_{01}}; \quad I_2' = k_I I_2. \quad (3.22)$$

keltirilgan koeffitsient EYuK va kuchlanishi quyidagicha

$$k_U = \frac{\omega_1 k_{01}}{\omega_2 k_{02}}; \quad U_2' = k_U U_2. \quad (3.23)$$

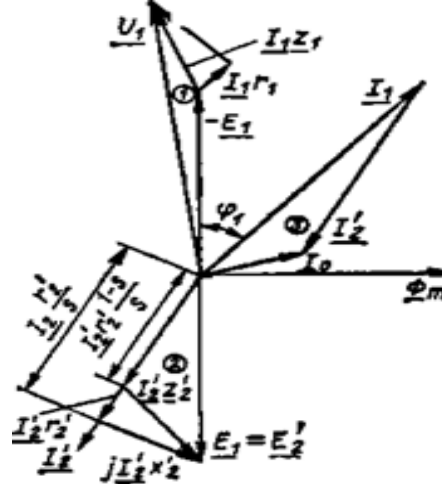
qarshilik ko'rsatuvchi koeffitsient. O'rnatish koeffitsientidagi qarshilikning formulasi

$$k_Z = \frac{k_U}{k_I} = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{\omega_1 k_{01}}{\omega_2 k_{02}} \right)^2. \quad (3.24)$$

Shunday qilib $z_2' = z_2 k_Z$ (3.25)

Bunda (3.24) Qisqa tutatishda formulasi

$$1g_q = 4t_x (da_g k_{01}) V_{z_2}. \quad (3.26)$$



3.16-rasm. Asinxron divigatelni vektor diagrammasi.

3.15 ga binoanasinxron mashinaning keltirilgan tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= -E_1 + I_1 z_1; \\ 0 &= E_2' - jI_2' x_2' - \frac{I_2' r_2'}{s}; \\ I_0 &= I_0 + I_2' \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

3.27 tenglamaga asosanasinxron mashinaning kompleks tekislikdagi vektor diagrammasi geometrik tasviri 3-16 rasmda tasvirlangan Asinxronli mashinalarning vektorli diagrammasi transformatorning vektor diagrammasidan $U_2=0$, bilan farqlanadi E_2' rotorning elektr yurituvchi kuch esa rotorning qarama qarshi induktiv kuchlanishiga tushishi va aktiv qarshiligi bilan aniqlanadi $jI_2' x_2'$

$$\frac{I_2' r_2'}{s} = I_2' x_2' + I_2' x_2' \frac{1-s}{s} \quad (3.28)$$

Bu yerda: $I_2' x_2'$.rotor chulg'amidagi aktiv qarshilikda kuchlanishning tushuvi;

$I_2' x_2' \frac{1-s}{s}$ -kuchlanish, mashina validagi mexanik quvvat P_2

Haqiqatan 3.28 ning qiymatlarini I_2 va m_1 ga ko'paytirsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$m_1(I_2')^2 r_2' + m_1(I_2')^2 r_2' \frac{1-s}{s},$$

Bu yerda, birinchi qismi rotorning isrofini, ikkinchisi mashinaning validagi mexanik quvvat P_2 ni aniqlaydi.

$$m_1(I_2')^2 r_2' \frac{1-s}{s} = m_2 I_2'^2 r_2 \frac{1-s}{s} = m_1 U_2' I_2' \quad (3.29)$$

P_2 quvvat mashina validagi foydali P_2 va mexanik isrof P_{mex} lardan tashkil topadi

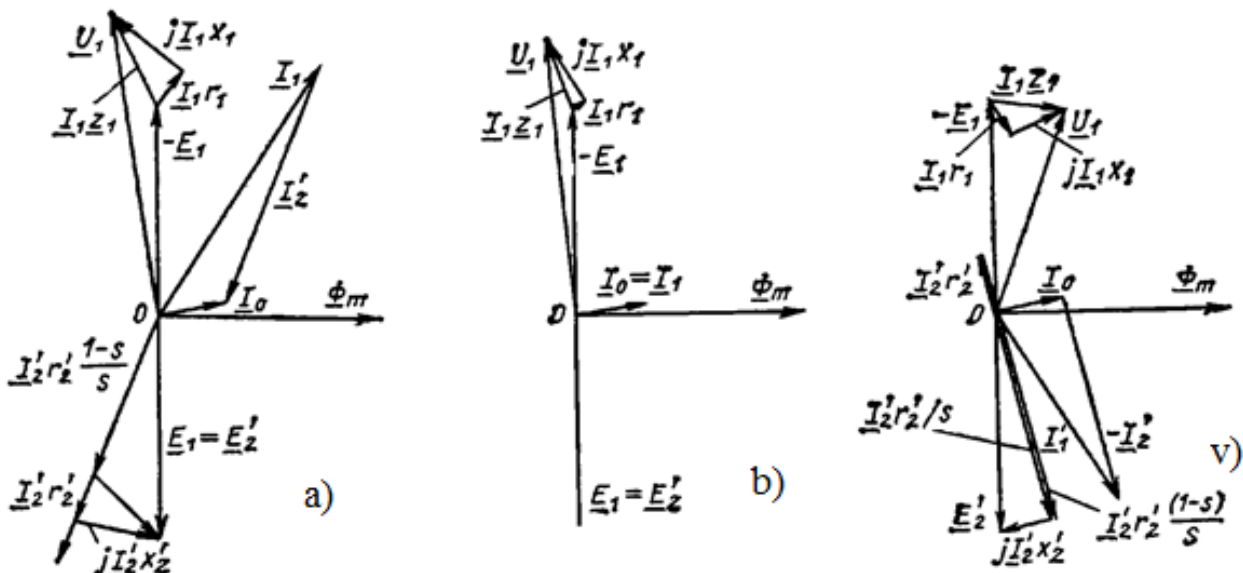
Birinchi bo'lakda rotor yo'qolishini aniqlaydi ikkinchi bo'lak esa mashina validagi mexanik quvvatini aniqlaydi. Quvvati mashina validagi foydali quvvatni va mexanik yo'qotishni o'z ichiga oladi. Mashina validagi mexanik yoqotishni o'z ichiga olishi uchun aktiv qarshilikni ekvivalentini kiritish mumkin asinxrom motorlarning yaxlit sirpanish seryasini aniqlashda foydalaniladi, shuning uchun mexanik yoqotishlarni doimiy deb hisoblash mumkin. (3.16) rasmdagi vektorli diagramma mashinaning bitta fazasi uchun qurilgan shuning uchun R_2 qiymatini aniqlashda tokning va kuchlanishning qiymatini stator va rotor fazasining soniga ko'paytirish lozim. Vektorli diagrammada statorga to'g'ri keladi, rotorga esa ikkinchi tokga esa transformatorlar to'g'ri keladi. Asinxron mashinalarda ham magnitlanish toki teng. Bunda MDC natija MDC natijasi va stator cho'lg'aminig MDC makonli vektorlaridir. Chunki MDC cho'lg'amlar malum bir cho'lg'amlar harakati va vaqtinchalik toklar harakatidan kelib chiqib paydo bo'ladi. Vektorli diagrammani qurishda fazali magnitlanish tokdan yoki cho'lg'amlarning natijasi MDC foydalanish mumkin. Vektorli diagrammani yaratishda vaqtinchali M, I, E va makonli FTE vektorlari birga qo'shiladi [8].

Asinxron mashinalarda shu jarayoni taxlil qilishda vaqtinchalik va makon bilan uyg'unlashadigan va natijali vektorlardan foydalanish maqsadga muvofiq. Diagrammani yaratishda masshtabda vektorning oqimini qo'yishdan boshlanadi. Magnitlanadigan tok bilan mos tushmaydi, chunki magnitlangan tok aktiv va reaktivga ega magnit oqimidan toki aniqlab bo'lgach, EYUK $E_1=E_2$ hisoblanadi va (3.22) rasimga ko'ra tok aniqlanib, rotor toki stator cho'lg'amiga keltiriladi va (3.27) rasimga ko'ra stator toki aniqlanadi. Keyin ma'lum bo'lgan EYUK, toklardan va qarshiliklardan vektorli (3.27) rasmdagi diagramma quriladi.

Vektorli diagrammalarni bir nechta tok qiymatining yuklami uchun qurish mumkin va undan kelib chiqib tokning o'zgarishini yo'qotishning, $\cos\varphi < p$ va mashina valiga o'zgarib yuklanadigan kuchlanishning tushishini aniqlasa bo'ladi

Asinxron motor bo'sh yurishida $P=0$ va bo'sh yurishda tok ga teng bo'lgach, unda deb olish mumkin. Mexanik yo'qotish nolga teng bo'lganida rotordagi tok nolga teng. Bo'sh yurishda to'rdan foydalanganda aktiv quvvat katta bo'lmaydi va odatda tok reaktiv tarkibga ega bo'ladi. Bunda magnit maydonini hosil qilish uchun kerakli bo'lgan reaktiv quvvat to'rdan qabul qilinadi va tok U_u orqaga qoladi. $\cos\varphi$ quvvatining koeffitsient aktiv va reaktiv quvvatlar orasidagi o'zaro munosabati bilan xususiyatlanadi.

Yuklanishning ortishi bilan rotordagi tok G_2 va statordagi tok ham oshadi. Stator cho'lg'amiga kuchlanish tushishi sababli e_u bir muncha kamayadi, bu esa F_t oqimining kamayishiga va pasayishiga olib keladi. Lekin birinchi yaqinlashishda Yuklanish o'zgarmaydi. Bu vektor diagrammasini qurilishini osonlashtiradi. Valdagi yuklanish oshgani sari sirpanish oshadi, rotor va statordagi elektr yo'qotish, to'rda foydalanadigan P_i aktiv quvvati o'sadi, reaktiv quvvat esa deyarli o'zgarmasdan qoladi.



3.17 –rasm., a-b asinxron mashinaning bo'sh yurishidagi motor rejimida va generator rejimidagi vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

3.17 -rasm. Asinxron mashinaning motor rejimida (a), bo'sh yurish (b) va generatorida vektor diagrammasi.

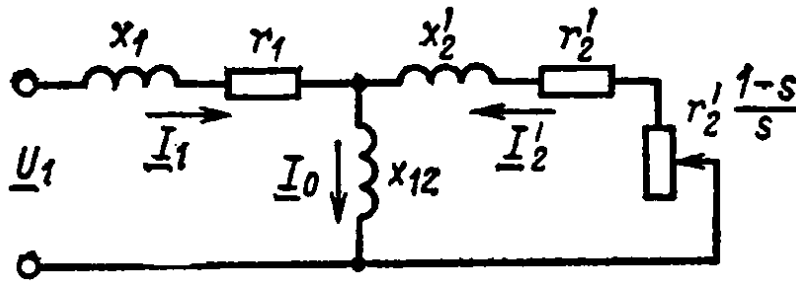
Asinxron mashinalarning vektorli diagrammalari loyihalashda deyarli foydanilmaydi, lekin ular asinxron mashinalarni o'rganishda muhim metodik ahamiyatga ega.

Nazorat savollari.

1. Asinxron mashinalarni vector diagrammalari qaysi parametrlarini bog'laydi?
2. Asinxron mashinalarni vector diagrammalarini hosil qiluchi tenglamalarni yozing?
3. Asinxron mashinalarni generator rejimidagi vector diagrammasi?

3.6. Asinxron mashinalarni ekvivalent sxemasi

Tenglamalarga (3.27) aktiv va induktiv qarshiliklardan iborat bo'lgan T simon o'zgarish sxemasi mos keladi (3.18 rasm)

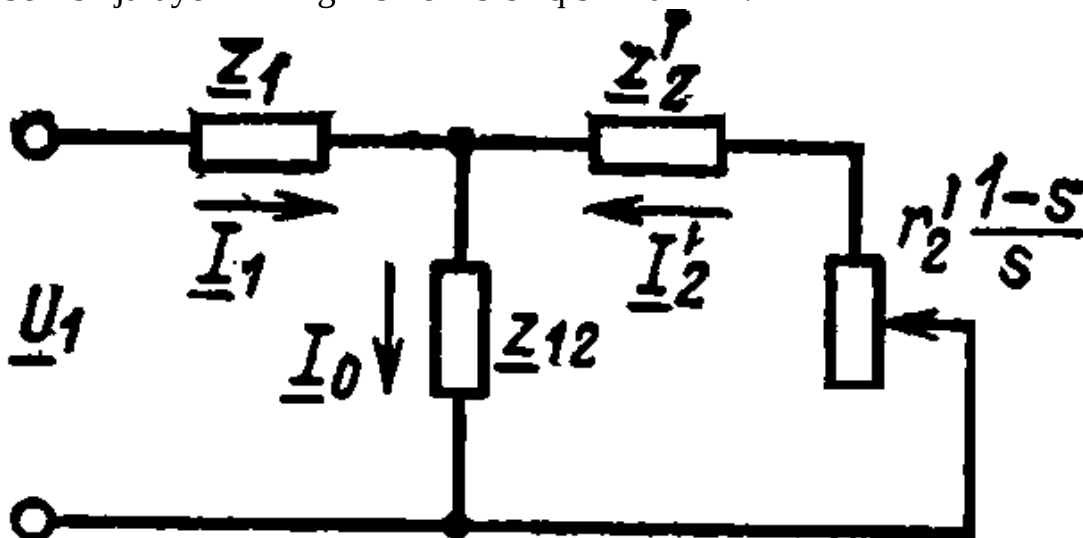


3.18- rasm (3.27) tenglamaga mos keluvchi asinxron mashinaning o'zgarish sxemasi.

Asinxron mashinaning stator tenglamasi birinchi kontur cho'lg'amidan olinadi, rotorning esa o'zgarish sxemasidagi ikkinchi konturdan olinadi. Tok toki bilan tenglashtiriladi, ularning yig'indisi esa magnitlangan tokni aniqlab beradi.(3.27) tenglama kabi, (3.18 rasm). Vektor diagrammasi, hamda o'zgarish sxemasi mashinaning bitta fazasi uchun yoziladi va yasaladi. X_{12} o'zaro qarshi induksiyasiga kuchlanishning tushishini EYUK ni qarshi quvvatdagi yuqotish (3.27) da mashina validagi past yo'qotishning mexanik ekvivalenti hisobga olinmaydi. Ularni taxminan shunday olish mumkin ikki cho'lg'amli larni kontursiz tokda tasavvur qilib va po'latdagi yo'qotishi inobatga olib, magnitlangan konturga aktiv qarshilikni kiritiladi.

Agar mashina po'latining yo'qotilishini aniq bo'lsa, unda aktiv qarshiligi: Bo'sh yuruvchi tokning aktiv holati.

Aktiv qarshilikni, po'latdagi yo'qotish ekvivalentini aniqlab bo'lgach asinxron mashinalardagi asosiy qarshilik yoki induksiyasining o'zaro qarshiligiga quv-vatning paydo bo'lish jarayonini kirgizib ko'rib chiqish mumkin.



3.19- rasm. Asinxron mashinaning T- ko'rinishdagi almashtirish sxemasi.

Unda asinxron mashinalarni po'latdagi yo'qotishining o'zgarish sxemasi 3.19 rasmda ko'rsatilgandek bo'ladi.

Rotor cho'lg'amining aktiv qarshiligi rotorning tok chastotasiga bog'liq, chunki yuzaki natija ko'rsatiladi. Ammo bu o'zgarish bilan qarshilikni saqlolmay

qolish mumkin. Mashinaning rotordagi tok qayerda surat va maxrajni S ga bo'lgach, olamiz:

$$I_2 = \frac{E_2}{\frac{r_2}{s} + jx_2}. \quad (3.30)$$

Aylanayotgan mashinani qo'zg'almas holatga keltirganda rotordagi tok o'zgarmasdan qoladi. Shunday qilib, real asinxron mashinani qo'zg'almaslantirish uchun rotorning aktiv qarshiligini o'zgartirish hisobidan amalga oshiriladi.

Toklar, aktiv quvvatlar va yo'qotishlar aylanayotgan va qo'zg'almas mashinada o'zgarmasdan qolishadi.

Asinxron mashinaning o'zgarish sxemasi (3.19) va transformator sxemasi (2.4 rasmga qarang) ning farqlanishi shundaki, transformatorida ikkilamchi cho'lg'amga kuchlanishi quyiladi, asinxron mashinaning o'zgarish sxemasida esa qarshiligi mashina validagi mexanik quvvatning yo'qotish ekvivalenti

Transformator va asinxron mashinalarning o'zgarish sxemasi bir-biridan uncha farqlanmasligini hisobga olgan holda, asinxron mashina ishini qo'zg'almas holatda, transformatorni esa xuddi ishlayotgan deb ko'rishimiz mumkin, ammo asinxron mashinada quvvat oshirishning murakkab bo'lgan jarayonlari transformator jarayoniga har doim ham mos tushmaydi. Shuning uchun elektr mashinalar nazariyasini ko'rib chiqishda ummumlashgan mashinalardan asinxron mashinaga o'tib, keyin esa transformatorlarga o'tish lozim.

Ayrim manbalarda (darsliklarda) elektr mashinalarning turlarini ko'rib chiqish transformatorlardan boshlanadi, boshqa darsliklarda esa doimiy tok mashinalaridan. Doimiy tok mashinasidan boshlash qulay, chunki elektr mashinasining kursi bilan doimiy tokli simlardan boshlab elektr simlarni tahlil qiluvchi avtomatlashtirilgan elektr simlari kursi parallel olib boradi. Tarixga qarasak doimiy tok mashinasi o'zgaruvchi tok mashinasidan oldin yaratilgan, shu sababli nazariya osishiga va darsliklarning yaratilishiga ma'lum bir ta'sirini ko'rsatgan.

Transformatorlar juda oddiy elektrotexnik uskunlari, shuning uchun o'rganishni metodik jihatdan elektromagnitlangan jihozlardan boshlash to'g'ri hisoblanadi [14].

"Elektromexanikaga kirish bo'limini o'zlashtirib bo'lgach, elektr mashinalarni xoxlagan mashina turlaridan boshlab o'rganish mumkin.

Quvvat rusumlari bir necha kilovatt dan to o'nlab kilovattgacha bo'lgan asinxron mashinalarning o'zgarish sxemasining ko'rsatgichlari quyidagicha o'zgaradi:

Mashina quvvatining oshishi bilan aktiv qarshilikning tegishli qiymatlari kamayadi, induktiv qarshilik esa o'sadi.

Induktiv qarshiligi mashinaning $\cos\varphi$ ga bog'liq. $\cos\varphi$, qancha past bo'lsa, ya'ni tarmoqda foydalanadigan reaktiv quvvat qancha yuqori bo'lsa, «12» shuncha kam.

Mashinaning qutb soni qancha katta bo'lsa, shuncha «12» kam

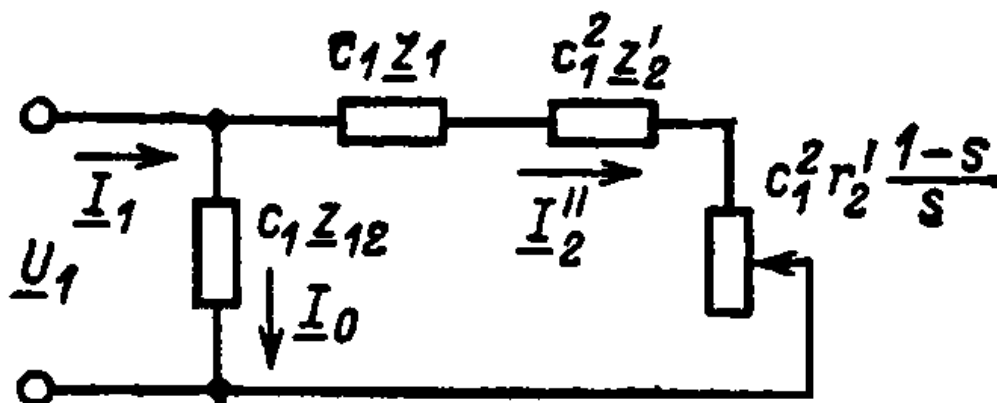
Induksiya o'zaro qo'shilishi asosan havo tirqishlari bilan aniqlanadi. Havo tirqishlari qancha kam bo'lsa, shuncha ko'p. Zo'r energetik va galearitli massa ko'rsatgichlariga ega bo'lgan asinxron mashinada o'zgarish sxemasining

parametrlarining orasida optimal munosabat mavjud. Motorning rusumidagi optimal qiymat mexanik tushunchada mumkin bo'lgan rotor va stator orasidagi minimal darajada mumkin bo'lgan havo tiqishiga yaqin joylashadi. simon asinxron mashinaning o'zgarish sxemasiga qarab, mashina validagi yuklab oshgani sari tok ham oshadi. Shu jumladan G_x qarshilikka kuchlanish tushgani hisobiga EYUK $E_x=E_v$ kamayadi, bu esa F_t oqimi va I_{Pr} magnitlangan tokning kamayishiga ham olib keladi.

Tokning bu o'zgarishlarini mashinaning ish jarayonini tahlil qilishda, nominal rejim uchun bo'lgan ma'lum bir sirpanishning o'zgarishida inobatga olish shart emas.

Asinxron mashinaning o'zgarish sxemasida eng qulayi (3.20 rasm) magnit konturi tarmoq xulosasi chiqarilgan

T-simon o'zgarish sxemasidir. Bu o'zgarish sxemasida bo'sh yurish toki yuklovga bog'lanib qolmaydi va ideal bo'sh yurish $S=0$ bo'lganda. T-simon o'zgarish sxemasining haqiqiy tokiga mos keladi. Asinxron motorning bo'sh yurishi nolga yaqin, lekin unga teng emas, chunki motor tarmoqda mexanik yo'qotish va po'lat yo'qotishni yopishga borayotgan aktiv quvvatdan foydalaniladi. Ideal bo'sh yurishda elektromagnit quvvati P_{em} nolga teng, lekin motor tarmoqdan po'lat yo'qotishni yopishga borayotgan aktiv quvvatdan foydalanadi. Bu rejimda asinxron motor yaxshi ishlay olmaydi va boshqa mashina tomonidan aylantirilishi lozim. T-simon o'zgarish sxemasidan stator va rotordagi tok kompleksli koeffitsient;



3.20-pacm.G-simon o'zgarish sxemasi.

$$C_1 = \frac{z_1 + z_{12}}{z_{12}} \quad (3.31)$$

$$I_2'' = I_1 - I_0 = U_1 \frac{1 + \frac{z_{2e}}{z_{12}}}{z_1 + C_1 z_{2e}} - \frac{U_1}{z_1 + z_{12}} = \frac{U_1}{C_1(z_1 + C_1 z_{2e})} = -\frac{I_2}{C_1}.$$

Bunda G simon o'zgarish sxemasidagi qarshilikning ish konturi(3.45)

Shunday qilib, asinxron mashinaning G-simon o'zgarish sxemasidagi rotor konturida G_2 toki oqib o'tadi va dan aniqlanadigan qarshilik T-simon o'zgarish sxemasidan farqlanadi

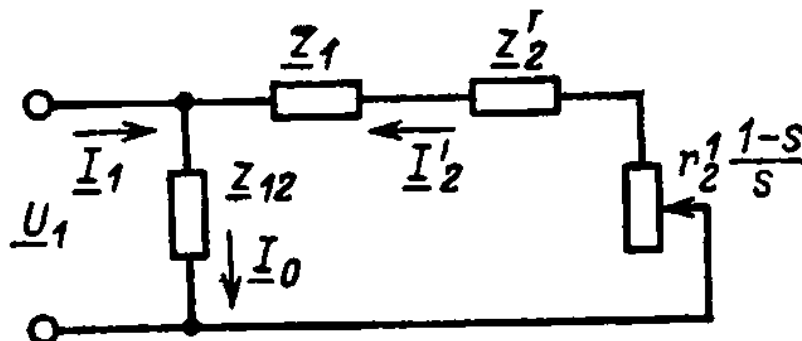
G-simon o'zgarish sxemasidan asinxron mashina nazariyasida aylanma diagrammani yasashda foydalaniladi (3.46)

$$C_1 = 1 + \frac{r_1 + jx_1}{r_{12} + jx_{12}} = 1 + \frac{r_1 r_{12} + jx_1 x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} - j \frac{r_1 x_{12} + jx_1 r_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} \quad (3.32)$$

C_i koeffitsientini quyidagicha tasavvur qilish mumkin:

Odatda asinxron mashinalarda $r_i X_u > X_i r_{i2}$ va eng past qismi manfiy.

Shuning uchun ko'rsatish shaklida $C_1 = C_1 e^{-j\gamma}$, (3.33)



3.21- rasm Asinxron mashinaning qisqartirilgan G-simon o'zgarish sxemasi.

Asinxron mashinalarda yagona rusumsi shuning uchun etarlicha aniqlik bilan $V=0$ deb hisoblash mumkin, C_i esa moddaviy son deb C_i moduli

C_i umumlashgan motorlarda C_i quyidagi birliklardan kam farqlanadi:

(3.43) ga murojat qilib, C U_i kuchlanishning EYUK ega bo'lgan munosobati deb aytish mumkin e_i ideal bo'sh yurishda: ko'pgina amaliy hisobatlarda $C_i=1$ deb qabul qilib, asinxron mashinaning qisqartirilgan F-simon o'zgarish sxemasining foydalanish mumkin (3.21)

Yagona rusumli motorlarning o'zgarish sxemasining ko'rsatkichlaridagi o'zaro munosobat:

T-simondan qisqartirilgan G-simon o'zgarish sxemasiga o'tish sezilarli xatoliklarga olib kelmaydi.

Odatda xatoliklar ma'lum bir stator va rotordagi toklarda (3-5)% oshmaydi. Ma'lum bir toklarda xatolikni kamaytirish uchun G-simon o'zgarish sxemasining magnitlangan konturiga Z qarshiligi kiritiladi.

O'zgarish sxemalari asinxron mashinalarning nazariyasida muhim rol o'ynaydi. Ularning bazasidan asinxron mashinalarni loyihalash asosida yotuvchi o'rnatilgan rejimning o'zaro mosligi olingan. Oxirgi yillarda o'zgarish sxemalari ikkinchi rejaga o'tishi ko'payib borayapti, chunki EXM asinxron mashinalarning asosiy tenglamalarini echishda imkoniyat yaratib berayapti. (3.3)

Nazorat savollari.

1. Asinxron mashinaning o'zgarish sxemasi qanday maqsadda foydalaniladi?
2. G-simon o'zgarish sxemasi almashtirish sxemasini tushuntiring?
3. Asinxron mashinaning qisqartirilgan G-simon o'zgarish sxemasini tushuntiring?

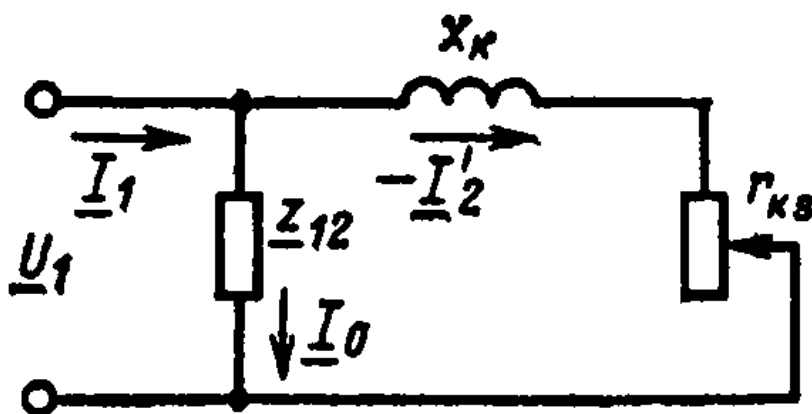
3.7. Aylana diagrammasini loyihalash.

Asinxron mashinalarni loyihalashda va ekspluatatsiya qilishda tok qanday o'zgarishini, mashina validagi yuklov o'zgarishida FIK va $\cos\varphi$ o'zgarishini bilish muhim. Aylanma diagrammalar $-\infty$ dan $+\infty$ gacha bo'lgan o'zgarishda mashina ko'rsatgichlarini chamalab va yetarlicha aniq o'lchashni taminlab beradi, tokning vektor oxirlarining sirpanishi o'zgarishida tokning geometrik joyi deb namlanuvchi qo'shiq uzluksiz tutashuvi bilan ifodalanadi U_i va $f_i = \text{const}$ va doimiy ko'rsatgichlarida (o'zgarmaydigan aktiv va induktiv qarshiliklarda) tokning vektorlar oxirlari tokning geometrik joyi aylana hisoblanadi. Bu aylana qo'shimcha chiziqlar bilan asinxron mashinaning aylanma diagrammasi deb nomlanadi.

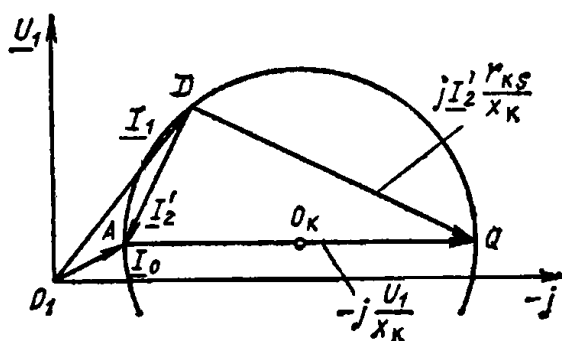
Aylanma diagramma asinxron mashinalar nazariyasida muhim o'rin egallaydi va hozirgi kunda ham ishning xususiyatlarini tuzishda foydalanib kelinmoqda. Elektromexanikaning nazariyasidagi amaliy topshiriqlarni yechishda misol bo'lib xizmat qiladi.

Aylanma diagrammaning nazariyasi bo'yicha birinchi ish 1894 yilda chop etilgan. A.Geylandning maqolasidir. Elektr mashinalarning toklarning geometrik joylashish nazariyasi bilan ko'pgina elektromexanik olimlar shug'ullangan o'zgarish sxemasi va aylanma diagrammaning o'sishiga E.Arnold, A.Berend, A.Blondel, P.Goldshmidt, K.A.Krug, M.P.Kostenko, G.N.Petrov, K.I.Shenfer va boshqalar katta hissa qo'shishgan.

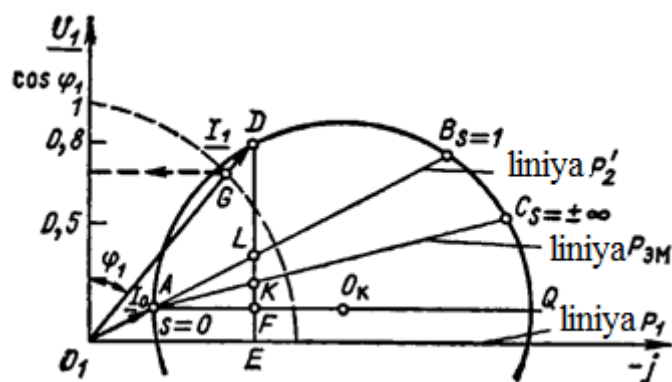
3.21 rasmdagi G-simon o'zgarish sxemasidan 3.22 rasmdagi mashinaning o'zgarish sxemasini olish mumkin. Bu sxemada o'zgarish sxemasining qisqa tutashuvli qarshiligi: $(3.50) G_q, X_q$ - asinxron mashinaning qisqa tutashuvidagi aktiv va induktiv qarshiligi



3.22-rasm. Asinxron mashinaning o'zgarish sxemasidagi ko'prinshning o'zgarishi.



3.23 -rasm. Aylanma diagramma.



3.24-rasm. Sodda aylana diagramma.

Aylana diagramma yordamida nafaqat toklarni , balki momentni, quvvatni, isrof va $\cos \varphi$ yana boshqa mashinaning asosiy parametrlarini aniqlash mumkin. Asinxron motorning aylana diagrammasini tuzamiz (3.24-rasm). Bu diagrammaga diagrammaning markaziy chizig'i $-j$ o'qiga parallel o'tkaziladi. Chunki motorlar uchun bir qancha o'nlab kilovatlarda C_1 koefitsientni 1 deb qabul qilish mumkin bo'ladi, $2\gamma = 0$ deb hisoblash mumkin. I_1 tok vektori oxiridan AQ chiziqqa DF perpendikulyar o'tkazamiz. O'shanda

$$DE = O_1 D \cos \varphi_1 = m_1^{-1} I_1 \cos \varphi_1, \text{ yoki } DE = m U_1 I_1 \cos \varphi_1 = P_1 / m_p, \quad (3.55)$$

Bu yerda: $m_p = m U_1 m_1$ –quvvat mashtabi.

Chunki diagramma mashtabda quriladi va tok va kuchlanishlarni faza qiymatlari uchun, DE P_1 aktiv quvvat zanjiri iste'molchilarga proporsional bo'ladi. bir bo'lak U_1 ga parallel bo'ladi. Shunday DL va DK o'zida masshtabga mos ravishda mashina validagi mexanik quvvat P_2 va elektromagnit quvvat P_{em} (yoki xavoli oraliqdagi quvvat) ni aks ettiradi. Bunda $I_1 = I_k$ $s=1$ bo'lganda, D nuqta b nuqta bilan mos kelganda DL nolga teng bo'ladi. $s=1$ da valdagi quvvat nolga teng bo'ladi.

P_1 tarmoqdan iste'mol qilinayotgan aktiv quvvat stator po'latida isrofni qoplashga (FE bo'lak), statordagi elektr isrofni qoplash uchun sarf bo'ladi (KF bo'lak). Rotordagi isrof KL bo'lakda ko'rinadi. $O_1 E$ chiziq ($-j$ chiziq) P_1 quvvatni qurish chizi deb ataladi, AC chiziq- Elektromagnit quvvat chiziq P_{em} , amda AB chiziq- mexanik quvvat chiziq $P_2 = P_2 + P_{mex}$.

Aylana diagrammadan quvvat koefitsienti $\cos \varphi$ ni φ_1 ni o'lchash bilan aniqlash mumkin. Qulay biroq $\cos \varphi_1$ shkalasi quriladi. Buning uchun birlik radius O nuqtadan aylana o'tkaziladi va G nuqta kesishgan joyidan I_1 tok vektori bilan $\cos \varphi_1$ aniqlanadi.

Aylana diagramma yordamida shuningdek sirpanishni aniqlash mumkin. Buning uchun diagramma markazi O_K dan C ($s=\pm\infty$) nuqtaga radius o'tkaziladi va C nuqta orqali aylana bo'ylab o'tkaziladi (3.25-rasm). RT chiziq urinmaga parallel o'tkaziladi, bu sirpanish shkalasi bo'ladi. C, B va R nuqtalarni to'ridan to'ri birlashtirib $s=1$ bo'lgan nuqtani olishimiz mumkin. RT va AC chiziqlarning tutashgan joyida $s=0$ bo'lgan nuqta olinadi. RO chiziqni teng bo'lish bilan sirpanish shkalasini olishimiz mumkin.

247

$k_p = B/BN = M_q/M_{nom}$ (3.56) va motorning yuklama qobilyati yoki maksimalmomentning karraligini topamiz: $k_{max} = KL/MN = M_{max}/M_{nom}$ (3.57).

Aylana diagramma yordamida asinxron motorning mexanik xarakteristikasi bo'lgan momentni sirpanishga bog'liqligini $-M=f(s)$ ni qurish mumkin.

Aylana diagramma yordamida mashinaning xarakteristikolari va asosiy parametrlari nafaqat motor uchun balki generator va tormoz rejimi uchun xam aniqlanadi. Bu vaqtda qurish nazariyasi o'zgarmaydi.

Vektor diagramma, joylashtirish sxemasi va aylana diagramma o'rnatish rejimida asinxron motorlarda elektromexanik o'zgarishlar jarayonini etarlicha aniq va yaqqol kuzatish imkonini beradi.

Nazorat savollari.

1. FIK va $\cos\varphi$ o'zgarishini aylanma diagrammadagi ahamiyati nimada?
2. Aylanma diagramma asinxron mashina qaysi parametrlarni bog'laydi?
3. Aylanma diagrammadan moment qanday aniqlanadi?

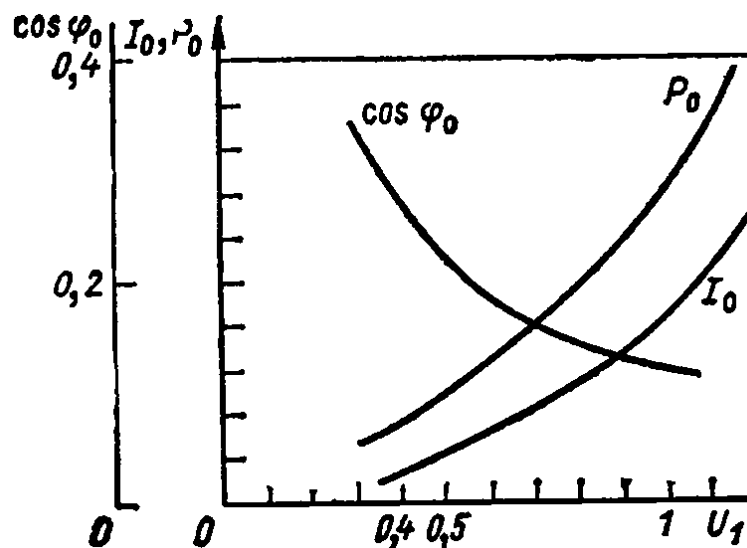
3.8. Tajriba ma'lumotlari bo'yicha aylana diagramma qurish. Ishchi tavsiflar.

Agar joylashtirish sxemasi parametrlari, ishchi xarakteristikalar va moment karraligi aniq bo'lsa, xisoblashlar bilan ishlatmasdan aylana diagrammani qurish mumkin. Biroq asinxron motorlarni o'rganish vaqtida va zavodlardagi nazorat sinovlarida tajriba yo'li bilan joylashtirish sxemasi parametrlari aniqlash va tajriba ma'lumotlardan aylana diagrammani yasash mumkin.

Aylana diagramma joylashtirish sxemasining G-ko'rinishi asosida quriladi.

Joylashtirish sxemasini parametrlari salt yurish va qisqa tutashuv tajribalari yordamida joylashtiriladi. Joylashtirish sxemalarini parametrlarini tajribadan aniqlanganligi va aylanma diagramma qurilganidan ishchi xarakteristikalarini olish mumkin.

Asinxron motorning ishchi xarakteristikalarini tajriba yo'li bilan bekor qilish tez-tez katta qiyinchiliklarni namoyon etadi: Yuklama mashinalarida bo'lishi kerak, uni ko'rsatkichlarini markazlashtirish, darajalash kerak, o'zgartirilgan sxemani yig'ish kerak. Asosan qiyin etarli darajada aniqlik bilan katta quvvatli asinxron motorning ishchi xarakteristikalarini olinadi. Salt ishlash tajribasida keltirilgan va qisqa tutashuv anchagina oddiy. Salt ishlash tajribalarini o'tkazish vaqtida mashina motor rejimida ishlaydi, qachonki valdagi yuklama nolga teng bo'lsa.



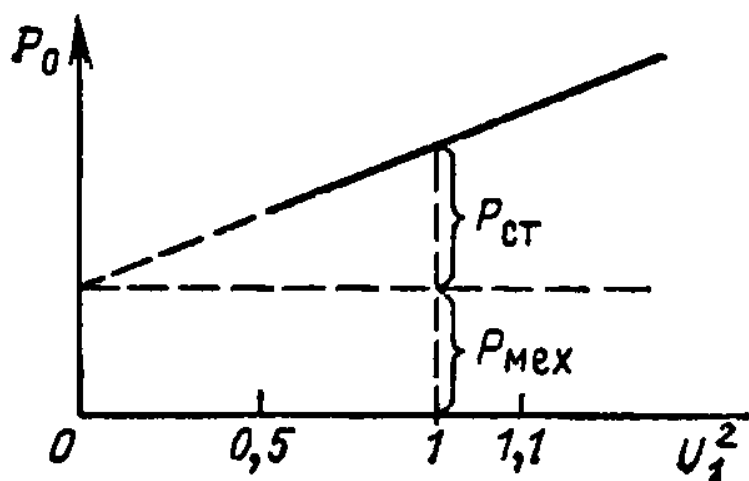
3.27-rasm. Asinxron motorning salt ishlashi xarakteristikalar.

$U_1=U_{nom}$ va f_{nom} bo'lganda salt ishlash toki I_0 va isrof P_0 o'lchanadi. O'lchashlardan $\cos \varphi_0 = P_0 / m_1 U_1 I_0$ (3.58).

Birlik rusumli motorlarda $I_0 = (0,25 \div 0,5) I_{max}$ amda $\cos \varphi_0 = (0,1 \div 0,2)$ ga teng. I_0 va P_0 ni moyiatini yanada aniqroq aniqlash uchun I_0, P_0 va $\cos \varphi_0$, U_1 ga bog'liq ravishda olinadi (3.27-rasm). Quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_0$ U_1 ning oshishi paytida to'yinish tufayli kamayadi. Isrof kuchlanish kvadratiga proporsional ravishda o'sadi; I_0 tok to'yinish tufayli nochiziqli qonunlar bo'yicha o'zgaradi. Salt ishlashda isroflar $P_0 = P_{eo} + P_{mex} + P_t$ (3.27-rasm) dek bo'ladi.

Bu yerda P_{eo} -stator cho'lamidagi elektr isroflari. Xuddi transformatorlardagidek r_1 ni bilgan olda P_{eo} ni oson xisoblash mumkin. Elektr isroflari bir muncha kichik bo'ladi, chunki ular tokning kvadratiga proporsionaldir xamda I_0 tok I_{nom} tokdan 3-4 marta kichikdir. Asinxron mikromotorlarda I_0 tok I_{nom} dan kam miqdorda farq qiladi. SHu sababli asinxron motorlarni kuzatish vaqtida P_{eo} kichik quvvatligi tufayli xisobga olinmaydi. Mexanik isrof P_{mex} kuchlanishga bog'liq emas chunki salt ishlash tajribalarida aylanish chastotasi o'zgarmaydi.

P_0 isrofni bilgan holda ularni temirdagi P_t va mexanik P_{mex} isroflarga ajratish mumkin. Buning uchun $\varphi = \text{const}$ bo'lgan vaqtida $P_0 = \varphi (U_0^2)$ bog'liqlik tuziladi (3.28-rasm). Chunki $P_t \sim U_1^2$ hamda $P_{mex} = \text{const}$, shunday ekan salt ishlash tajribalarida P_t va P_{mex} topish qiyin emas.



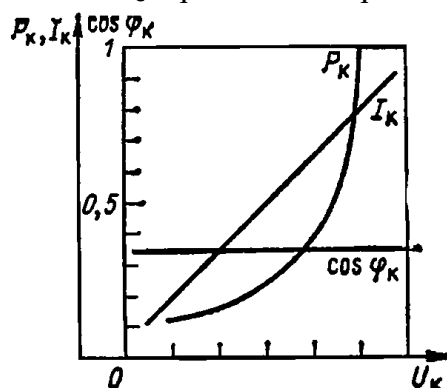
3.28-rasm. Asinxron motorni salt ishlashdagi isroflarini bo'linishi.

Agar P_{eo} ni xisobga olish kerak bo'lsa P_0 dan isoblash yo'li bilan topilgan xar bir nuqta uchun P_{eo} ayrilishi kerak: $P_{eo} = m_1 I_1^2 r_1$.

Ruxsat etilgan chegaralarida salt ishlash isrofi va salt ishlash toki uchun salt ishlash rejimida mashinaning magnit zanjirini to'g'ri xisoblash kerak bo'ladi. Magnit zanjirini xisoblash vaqtidaxavo oralig'ida $B_0 = 0,6 \div 0,8$ Tl induksiya beriladi. Tishlardagi maksimal induksiya bu vaqtda $B_{max} = 1,6 \div 1,8$ Tl teng chunki tishlarning ko'ndalang kesim yuzasi bo'linish tishlari yuzasiga nisbatan ikki marta kichik bo'ladi. B_0 ning bur qancha mazmuni uchun magnit zanjirini isoblash va salt ishlash xarakteristikalarini qurish kerak. Kichik kamayish tufayli asinxron motorlarda yuklama oqimi vaqtida EYuK xam kamayadi ammo bu o'zgarish birlik rusumli asinxron motorlarida ifodalanmaydi.

Qisqa tutashuv tajribasi rotor cho'lg'amlari qisqa tutashtirilgan rotorning tormozlanish vaqtida va kichik kuchlanish vaqtida o'tkaziladi, shuningdek I_1 tok 1,2 martadan kamroq ravishda oshadi. Bu sharoitlarda cho'lamlarning xaroratsi tajriba vaqtida belgilangan izolyatsiya klassi uchun ruxsat etilgan xaroratgacha ko'tarilib ulgurmaydi.

Qisqa tutashuv tajribasi vaqtida $f = \text{const}$ bo'lganda I_k , P_k , $\cos \varphi_k = f(U_k)$ larni xarakteristikolari olinadi. Chunki qisqa tutashuv tajribasi kichik kuchlanishda, to'yinmagan mashina va $\cos \varphi_k = \text{const}$ da o'tkaziladi. I_k tok qisqa tutashuv kuchlanishiga chiziqli bog'liq. Qisqa tutashuv isrofi P_k —bu stator va rotor cho'lg'amidagi asosiy elektr isrofidir. Qisqa tutashuv qarshiligi $r_k = P_k / m_1 I_k^2$ (3.61)



3.29-rasm. Asinxron motorning qisqa tutashuv xarakteristikasi.

Po'latdagi isroflarni inobatga olmasa xam bo'ladi, chunki qisqa tutashuv tajribasi kichik kuchlanishlar vaqtida o'tkaziladi, hamda $P_t \div U_1^2$, o'shanda $\cos \varphi_k = P_k / m_1 U_k I_k$, (3.62) bu yerda U_k, I_k -mos

Qisqa tutashuv tajribasidan xisoblash yo'li bilan $z_k = U_k / I_k$; (3.63)

$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$ (3.64) lar aniqlanadi.

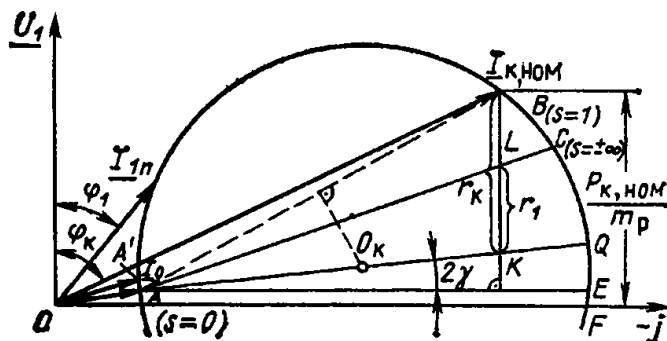
Aktiv qarshilik r_k ni (3.61) dan yoki $r_k = z_k \cos \varphi_k$ (3.65) formuladan aniqlash mumkin.

Statorning cho'lg'amini qarshiligini kuchlanish va tok kuchini o'lchash orqali am topish mumkin.

I_1 tok nominalga teng bo'lgan vaqtda qisqa tutashuv tajribasida qisqa tutashuv kuchlanishiga qaratiladi. Chiziqli asinxron motorning magnit xarakteristikalarini va x_1 va x_2 doimiylar xisoblanadi, nominal kuchlanishda qisqa tutashuv tokini $I_{k,nom} = I_{1k}(U_{1nom}/U_{1k})$ (3.66) munosabatdan aniqlanadi, bu yerda $I_{k,nom}$ –nominal kuchlanish vaqtidagi qisqa tutashuv toki; U_{1nom} –nominal kuchlanish; I_{1k}, U_{1k} –qisqa tutashuv tajribalaridagi tok va kuchlanish.

Asinxron motorlardagi qisqa tutashuv toki nominal kuchlanish vaqtida $I_{1k} = (5 \div 7) I_{nom}$ ga teng, shu sababli $z_k = 0,14 \div 0,2$ bo'ladi.

Qisqa tutashuv va salt ishlash tajribalaridan barcha asosiy kattaliklarni aniqlab, aylana diagrammani qurishga o'tamiz.



3.30-rasm. Berilgan ma'lumotlar bo'yicha aylana diagrammani qurish.

Tok va kuchlanishni masshtabini tanlab, $s=0$ nuqtani aniqlaymiz. Buning uchun salt ishlash tajribalaridan topilgan I_1 vektorni quramiz. A nuqtada $s \neq 0$ bo'ladi, chunki mashinalarda mexanik isrof va $P_{em} \neq 0$ bo'ladi. $s=0$ nuqtani topish uchun 3.24-rasmda keltirilganlardan foydalanib quramiz. Bu vaqtda $A'E/E'E = P_{mex}/P_t$ bo'ladi. E' nuqta orqali to'g'ri chiziq o'tkazamiz, j-o'qga parallel, unda ideal salt ishlashning A nuqtasi joylashgan bo'ladi. A nuqtani joylashgan o'rnini aniqlashdagi bir nechta kamchiliklar asosiy kattaliklarni aniqlashda sezilarli xatolik bo'lmaydi. $s=0$ nuqtani topamiz, φ_k burchak ostida $I_{k,nom}$ o'tkazamiz va $s=1$ nuqtani aniqlaymiz (3.30-rasm). Bu nuqta orqali shuningdek agar nominal kuchlanishda qisqa tutashuv isrofi quvvat masshtabida olib qo'yilsa, $P_{k,nom}/m_p$ ni am olish mumkin, j-o'qga parallel chiziq o'tkaziladi va unda O nuqta radiusidan $I_{k,nom}$ $s=1$ nuqta belgilab olinadi.

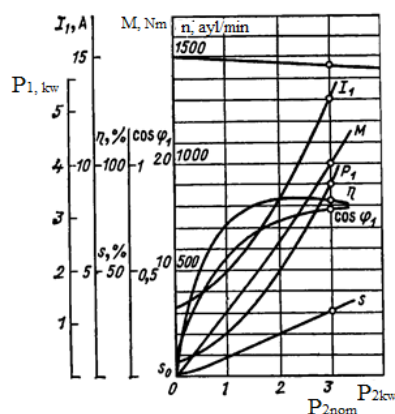
Nominal kuchlanish vaqtida qisqa tutashuv isrofi

$$P_{k,nom} = P_k U_{1nom}^2 / U_{1k}^2 = P_k I_{k,nom}^2 / I_{1k}^2 \quad (3.67) \text{ bo'ladi.}$$

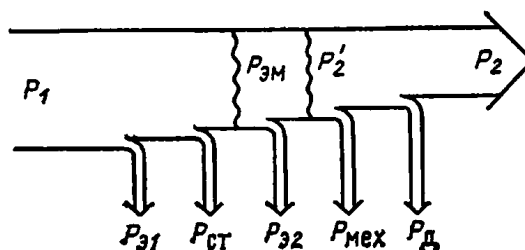
Bu yerda: P_k –qisqa tutashuv tajribalaridagi U_{1k} kuchlanish vaqtidagi isrofi.

U_1 yassiligida $-j$ aniqlab $s=0$ bo'lgan A nuqta va $s=1$ bo'lgan B nuqtalarni tutashtiramiz va AB ning o'rtasidan aylana diagramma markazi AQ ga perpendikular chiziq tushuramiz. AQ chiziqni AE chiziqga 2γ burchak ostida o'tkazamiz.

Aylana diagrammada $s=\pm\infty$ nuqtani topish uchun B nuqtada AE chiziqga perpendikulyar chiziq tushurish kerak. BK to'g'ri chiziqni $BL:LK=r_2:r_1$ munosabatda bo'lib, $s=\pm\infty$ bo'lgan C nuqtani topamiz. AC chiziq –elektromagnit quvvat chizig'i. Birlik rusumli asinxron motorlarda odatda $r_1\sim r_2$ bo'ladi, shu sababli BK bo'lakni teng ikkiga bo'lamiz. AB –aktiv quvvat chizig'i.



3.31-rasm. Asinxron motorning ishchi xarakteristikasi.



3.32-rasm. Asinxron motorning energetik diagrammasi.

Berilgan bo'yicha aylana diagrammani qurish ko'p vaqt olmaydi. Unda ixtiyoriy nuqtani olib, kerakli parametrlar aniqlanadi va ishchi xarakteristikalarni topamiz.

Motorning ishchi xarakteristikasi doimiy nominal kuchlanish va chastota tarmonida yuklama quvvati P_1 , I_1 tok, $\cos \varphi_1$, valdagi moment M_2 , sirpanish va FIK aktiv quvvat P_2 ga boliq. Ishchi xarakteristikalar yuklamani 0 dan 1,1-1,3 nominal miqdorgacha o'zgarishi vaqtida motorning asosiy parametrlarini o'zgarishini muxokama qilish imkonini beradi (3.31-rasm).

Valdagi bir qancha quvvat miqdori P_2 ni I_1 ni bildiruvchi nuqta, M_{em} valdagi moment va P_1 quvvat tarmonidan iste'mol uchun topamiz. Shkalaga muvofiq ravishda qo'shimcha o'rnatishlardan so'ng $\cos \varphi_1$ va s ni aniqlaymiz. Foydali arakat koeffitsientini P_2/P_1 nisbatdagidek yaqinroq qiymatda topamiz[8].

Aktiv quvvat taqsimoti xaqida tarmoqdan foydalanib motorning energetik diagrammasi bo'yicha muxokama qilish mumkin (3.32-rasm). Tarmoqdan olingan P_1 statorda stator cho'lg'amidagi elektr isrofni olish uchun $P_e=m_1 I_1^2 r_1$ (3.68) va statorning magnit o'tkazgich po'latidagi isrofni qoplash uchun $P_t=k_q p_{si} G_t$ (3.69) sarf bo'ladi. Bu yerda p_{si} -statorning yarmosi va tishidagi maksimal induksiya uchun

po'latdagi solishtirma isrof; G_r - magnit o'tkazgichning tishi va yarmosini massasi; k_q - qayta ishlash hisobiga temirdagi isrofning oshish koeffitsienti, $k_q=1,3 \div 1,5$.

Temirdagi isrof yarmo va tishlar uchun aloida xisoblanadi va keyin qo'shiladi.

Elektromagnit quvvat yoki xavo oralig'idagi quvvat $P_{em}=P_1-P_{e1}-P_t$. (3.70)

Elektromagnit quvvat rotordagi isrofga sarf bo'ladi, xamda uni katta qismi foydali mexanik quvvat P_2 ga o'zgartiriladi : $P_2=P_{em}-\sum P=P_{em}-P_{e2}-P_{mex}-P_{qo'sh}$ (3.71)

Bu yerda : P_{e2} -rotor cho'lg'amidagi elektr isrofi. $P_{e2} = m_2 I_2^2 r_2$ (3.72) yoki

$$P_{e2} = P_{EM} - P_2 = M_2(\omega_c - \omega_p) \frac{\omega_c}{\omega_p} = M_2 \omega_c s = P_{EM} s. \quad (3.73)$$

Rotordagi elektr isrofi sirpanishga bog'liq.

$$P_2 = P_{EM} - P_{e2} = P_{EM} - P_{EM} s = P_{EM}(1 - s) \quad (3.74)$$

Ular valdagi mexanik quvvat P_2 va mexanik isrofni P_{mex} ni o'z ichiga oladi. Mexanik isrof emperik formula bo'yicha aniqlanadi. Mexanik isrofga sirpanish isrofi va quvvat isrofi kiradi va ventilyatsiyaga sarf bo'ladi.

Qo'shimcha isrofni xisoblashda to'yinish va maydon tarqoqligini xisobiga noaniq xisoblanadi. Ular O'zDSt 1/828-75 bo'yicha nominal quvvatning 0,5 % ga teng. Salt ishlash va yuklama vaqtida qo'shimcha isrofni alohida tashkil etuvchilarini hisoblash faqat katta quvvatli asinxron motorlar uchun ishlab chiqiladi.

Yuklanish o'sishi bilan I_1 tok xam o'sadi, s va yuklama quvvati ko'payadi; $P_2 \approx 0.5 \div 0.8 P_{2nom}$ vaqtida FIK va $\cos \varphi$ maksimal bo'ladi.

Tanlangan FIK ni maksimal nuqtasi xisoblashlarga bog'liq, FIK doim elektr isrofiga (P_p va P_{mex}), o'zgaruvchan elektr isrofiga teng bo'lgan maydonda FIK maksimal bo'ladi.

$0.5 \div 0.8 P_{2nom}$ (3.31-rasm) bo'lgan maydonda FIK maksimal bo'ladi, chunki ko'pchilik elektr yuritmalardagi asinxron motorlar bu yuklama vaqtida ekspluatatsiya qilinadi. Yuklama nominalga yaqin va yuklama vaqtida xuddi aylanma diagrammada kuzatilgandek qiyshiq I_1 , P_1 , M_2 chiziqlilik qonuniga bo'ysunadi. (3.31-rasm). $P_2=0$ da $\cos \varphi$ nolga teng bo'lib qolmaydi, chunki tarmoqdan aktiv quvvat iste'mol qilinadi, qaysiki salt ishlashni isrofni qoplash uchun ketadi. $P_2=0$ da I_1 , P_1 , M_2 va s nolga teng bo'lmaydi, ammo kichik miqdorda bo'ladi.

Ishchi xarakteristikalarini aniqlash vaqtida aylana diagrammaning kichik qismidan foydalaniladi, shu sababli aniqlik amaliyoti uchun maqbuli olinadi.

Xuddi boshqa barcha elektr mashinalardek asinxron mashinalarda elektr energiyasi mexanik energiyaga o'zgaradi, elektr energiyani issiqlikka aylanishi kuzatiladi, asinxron mashinalarda rotordagi elektr isrofi sirpanishga proporsionalligi sababligidir.

Shu sababli kichik sirpanishlarda asinxron mashinalar iqtisodiy jixatdan 1-4 % isrofsizdir.

Nazorat savollari.

1. Asinxron motorning salt ishlashi xarakteristikalarini qaysi parametrlarni bog'laydi?
2. Aylana diagrammani qurish orqani asinxron mashinani qaysi asosiy parametri aniqlanadi?
3. Asinxron motorning energetik diagrammasini tavsiflang?

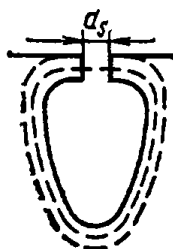
3.9. Aylana diagrammaning aniqligi.

Aniq qiymatlarning barcha qatorida quriladi. Asosiy kiritish- joylashtirishning T ko'rinishidan G ko'rinishiga va keng tarmoqlarda sirpanishning o'zgarishida doimiy parametrlarga o'tiladi.

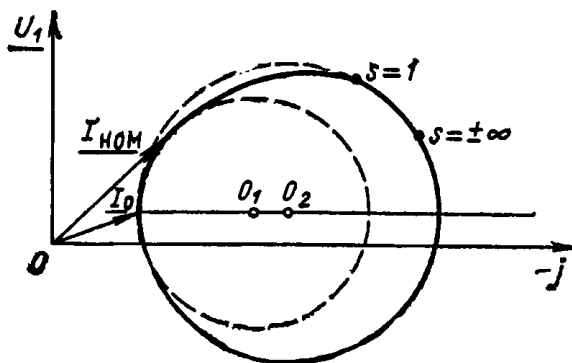
Asinxron motorlarda yuklama o'zgarishi vaqtida tokning oshishi uchun tishli zonani to'yinishi yuz beradi qaysiki sochilishning induktiv qarshiligini o'zgarishiga o'tilganda. yuqori toklarda tish tojlarini to'yinishi tufayli xuddi qo'shimcha o'yiqlarni ochilishidek, stator va rotorning induktiv qarshiliklarini kamayishi ko'zda tutiladi. X_q kamayishi oqibatida qisqa tutashuv tokining oshishi va aylana diagrammaning diametrini oshishiga olib keladi[4].

Aylana diagrammaning diametrini o'zgarishi doirani deformatsiyasini keltirib chiqaradi, qaysiki I_1 tok vektorining oxirini sirpanishi bo'yicha (3.36-rasm). Birinchi yaqinlashishda toklarning geometrik o'rnini isoblash mumkin.

Birinchi doiradan boshqasiga o'tkazilgan chiziq to'yinish hisobiga asinxron motorlarni toklarining geometrik o'rniga yaqinroq bo'ladi (3.36-rasm). Albatta, bunday turdagi tok diagrammalarini qurish miqdoriy xatolik bilan aloqador va kichik aniqlik bilan bir muncha qiyin.



3.32-rasm.



3.33-rasm.

Tokning diagrammasi doiradan farq qiladi, xozirgi vaqtda amaliy hisob kitoblarda deyarli qo'llanilmaydi. Aniq bo'lmagan aylana diagramma xaqida gapirsak, joylashtirish sxemasi belgilanadi, shunda aylana diagramma asinxron mashina tenglamasiga (3.15) va (3.27) mos keladi. Doimiy parametrli mashinalar uchun xavo oralig'ida aylana maydon uchun bu tenglamani yozib olamiz, qaysiki stator va rotor cho'lamini bo'yicha bo'lgan shuningdek bu tenglama ideal asinxron mashinalarga mos keladi.

Real asinxron mashinalarda xavo oralig'ida doimiy garmonikalar soni bo'ladi sirpanish o'zgarishi vaqtidagi parametrlar nochiqli qonunga muvofiq o'zgaradi, biroq

rotor va statorda cho'lg'amidan tashqari birqancha konturlar mavjud qaysiki tutashtirilgan toklar bo'yicha. Girdobli tok konturi bu konturga tegishli rotorning po'lat listlari va temir listlar orasida bo'yicha izolyatsiyaning mavjudmasligi tufayli tutashtirilgan konturlar texnologik faktorlar xisobiga yasaladi: rotorning ustki qismini silliqdash, rotorning magnit o'tkazgich valga makamlanishi, biroq statorning magnit o'tkazgichi-stanokda magnit o'tkazgichning tutqich paketlariga makamlanadi va boshqa sabablar.

Yuqori garmonika ta'sirini o'rganish uchun rotor va statordagi ko'plab mavjud konturlarni, nochiziqli parametrlarni va boshqa faktorlarni asinxron mashinalarning tenglamasiga qaratilishi kuzatiladi va ularni bu faktarlarni o'rganish bilan yozib olamiz. Joylashtirish sxemasini aniqlik urinishlari va tenglamasiz aylana diagramma, energiyani o'zgarish jarayonini ta'riflanishi ilmiy asos bo'lmaydi.

Oxirgi o'n yillikda EM energiyani o'zgarishini elektromexanik tenglamasini echish uchun keng qo'llaniladi va bu yo'l elektr mashinalarining nazariyasini rivojlanishining asosi bo'ldi. Asinxron mashinalarning nazariyasining rivoji elektromashinalarni qurish bo'yicha ixtiyoriy xolat uchun tenglamani yozish imkonini beradi.

Hozirgi kunda elektr mashinalarining nazariyasi rivoji xavo oralig'ida yuqori garmonikali energiya o'zgarishining elektromagnit tenglamasini yozish imkonini beradi, mavjud birqancha cho'lg'amlarda, nochiziqliklarda va boshqa faktlarda[7]. Elektr mashinalarning analiz va sintez maydonida oxirgi o'n yillikda katta yutuqlarga erishdi. Garchi joylashtirish sxemasi va aylana diagramma amaliy xisob kitoblarda keng qo'llaniladi, asinxron mashinalarda energiya o'zgarishi masalalarining zamonaviy echimi faqatgina EM da qo'llanishi mumkin. Elektr mashinalarining nazariyasini o'rganishda birinchi navbatda energiya o'zgarishining elektromexanika xodisalarini kuzatish uchun yozilgan tenglamalarni o'rganish lozim.

Nazorat savollari.

1. Aylalanma diagrammani aniqligi nimaga bog'liq?
2. Aylalanma diagrammadagi ikkinchi aylana nimani bildiradi?
3. Asinxron mashinani ixtiyoriy holati uchun tenglama yozish uchun qaysi diagrammadan foydalanamiz?

3.10. Ideal asinxron mashinalarining elektromagnit momenti.

O'rnatish rejimida tezlanish $d\omega_p/dt=0$ va (1.109) da kuzatilayotganidek qarshilik momenti M_c elektromagnit momentga M_{em} ga tenglashadi qaysiki rivojlangan mashinalarda. Elektromagnit moment bir qancha usullar bilan aniqlanadi.

Elektromagnit momentni agar mexanik quvvat ma'lum bo'lsa topish mumkin:

$$M_{EM} = \frac{P_2}{\omega_p} \quad (3.75)$$

Elektromagnit moment xam elektromagnit quvvat(xavo oralig'idagi quvvat) va maydonning burchak tezligi ω_c yordamida aniqlanadi:

$$M_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega_c}, \quad (3.76)$$

Agar $\omega_c = 2\pi f_1$ bo'lsa. $\omega_c = 2\pi f_1/p$ bo'lgan vaqtda $M_{EM} = \frac{pm_1}{\omega_c}$, bo'ladi.

$$M_{EM} = \frac{pm_1}{\omega_c} (I_2)^2 \frac{r_2}{s}. \quad (3.77)$$

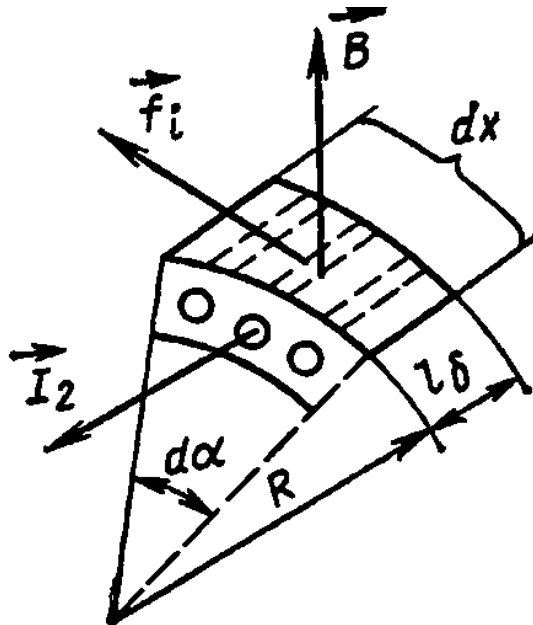
Yuqori garmonikasiz ideal elektr mashinalarining elektromagnit momentidan toklar ko'paytmasidek aniqlanadi:

$$M_{EM} = \frac{m}{2} M(i_\beta^s i_\alpha^r - i_\alpha^s i_\beta^r). \quad (3.78)$$

Oqim ilashishida induktiv ta'sir va toklarni ko'paytmasi almashtiriladi, M_{em} ni oqim ilashishi vatoklarni ko'paytmasi yordamida aniqlanadi. Xavo oralig'ida maynit maydon energiyasi orqali elektromagnit momentni aniqlash mumkin:

$$M_{EM} = \frac{dW}{d\gamma} \quad (3.79)$$

Bu yerda: W - xavo oralig'ida magnit maydon energiyasi; γ - rotorning statorga bog'liq ravishda burilish burchagi, elektr burchagiga bog'liq $\alpha = \gamma p$;



3.34-rasm.

$$dW = \frac{B_0^2}{2\mu_0} dv,$$

Bu yerda: B_0 - element xajmidagi induksiya

Oraliqdagi magnit maydon energiyasi $V = 2\pi R l_\delta \delta_0$: oraliq xajmi bo'yicha integral yo'l bilan aniqlanadi:

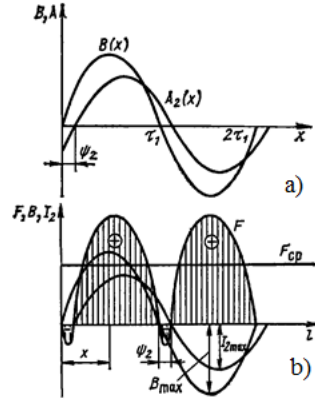
$$W = \int_V \frac{B_0^2}{2\mu_0} dV \quad (3.80)$$

Elektromagnit momentni aniqlash uchun yuqoridagi ifodalarni kuzatish momentning integral ifodasini beradi. Elektr mashinalarining proektida rotor va statorning ustki qismi bo'yicha jadal taqsimlanishni bilish zarur.

3.34—rasmda asinxron mashinaning rotorining qisqa tutashtirilgan elementi ko'rsatilgan. Sirtidagi tok zichligi

$$A_2 = \frac{I_2 N_2 \sqrt{2}}{2\pi K}, \quad (3.81)$$

Bu yerda: $I_2 = I_{2max}/\sqrt{2}$ - rotor cho'lg'amlari sterjenidagi tok; N_2 - rotordagi sterjmlar soni. Rotordagi tok va qatlamning tok zichligi induksiyadek garmonika qonuni bo'yicha taqsimlanadi (3.35-rasm,a)



3.35-rasm.

$$B = B_m \sin \frac{x}{\tau_1} \pi; \quad A_2 = A_{2m} \sin \left(\frac{x}{\tau_1} \pi - \Psi_2 \right).$$

Induksiyali magnit maydonda joylashgan tokli o'tkazgichda kuch harakatlanadi.

$$f_x = B_x A_x l_\sigma. \quad (3.82)$$

Rotorning butun sirti bo'ylab B maydonda tokli qatlamlar moment xosil qiladi.

$$M_{EM} = R \int_0^{2\tau_1} f_x dx, \quad (3.83)$$

Bu yerda: R- rotor radiusi (3.37-rasm).

$$\begin{aligned} M_{EM} &= R l_\delta \int_0^{2\tau_1} B_m \sin \left(\frac{x}{\tau_1} \pi \right) A_{2m} \cdot \sin \left(\frac{x}{\tau_1} \pi - \Psi_2 \right) dx \\ &= R^2 l_\delta \int_0^{2\pi} B_m \sin \left(\frac{x}{\tau_1} \pi \right) A_{2m} \cdot \sin \left(\frac{x}{\tau_1} \pi - \Psi_2 \right) d\alpha \\ &= \frac{R^2 B_m A_{2m} l_\delta 2\pi}{2} \cdot \cos \Psi_2 = \pi R^2 B_m A_m l_\delta \cos \Psi_2 \quad (3.84) \end{aligned}$$

Chunki $\Phi_m = \left(\frac{2}{\pi} \right) B_m l_\delta \tau_1$, biroq $B_m = \frac{\Phi_p}{2 l_\delta R}$, elektromagnit momentning o'rtacha qiymatini olamiz.

$$\begin{aligned} M_{EM.sr} &= \pi R^2 B_m A_m l_\delta \cos \Psi_2 = \pi R^2 \frac{\Phi_m p}{2 l_\delta R} \frac{I_2 N_2 \sqrt{2}}{2\pi R} \cos \Psi_2 \\ &= \frac{p N_2}{2\sqrt{2}} \Phi_m I_2 \cos \Psi_2 \quad (3.85) \end{aligned}$$

Garmonikaning B va I_2 taqsimotida kuchning o'rtacha qiymati.

$$F_{sr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} B_m I_{2m} l_\delta \sin \alpha \sin(\alpha - \Psi_2) d\alpha = \frac{1}{2} B_m I_{2m} l_\delta \cos \Psi_2, \quad (3.86)$$

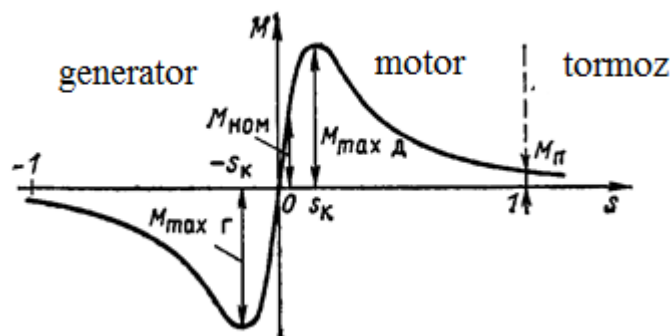
Bu yerda: B_m , I_{2m} – xavo oralig’i va rotordagi tokda indulsiyaning tebranish qiymati.

Rotor sirti bo’ylab elektromagnit kuchi va elektromagnit moment notekis taqsimlangan va yo’nalishi o’zgarib turadi (3.35-rasm).

Chunki elektr mashinalarida energiya o’zgarishi magnit maydon energiyasining xavo oralig’ida yilib qolishiga olib keladi, elektromagnit moment stator varotor tishlariga quyiladi. Agar magnit oqimi tishlar bo’ylab yotadigan bo’lsa, tirqishlaridagi oqim esa nolga teng bo’lsa shunda moment cho’lg’amlarda yotmaydi. Odatda stator asosga makamlanadi va qo’zg’almaydi, mashina rotorini esa aylanadi. Agar rotor va statorning aylanishi imkonin bo’lganda edi, ular qarama-qarshi yo’nalishda xarakatlanardi, va rotor va statorning burchak tezliklari yig’indisi maydonning sinxron burchak tezligiga teng bo’ladi.

Amaliy isob kitoblarda M_{em} ifoda xisoblash uchun g- obrazli joylashtirish sxemasidan keng foydalaniladi (3.36-rasm).

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + C \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}} \quad (3.87)$$



3.36-rasm. Asinxron mashinaning mexanik xarakteristikalarini.

Chunki $P_{E2} = P_{EM} = \omega_c M_{EM} s$, shunda

$$M_{EM} = \frac{P_{E2}}{\omega_c s} = \frac{m_2 I_2'^2 r_2}{\omega_c s} \quad (3.88)$$

Ikki qutbli mashinalar uchun (3.88) ifodaga I_2' tokni qo'yib quyidagini olamiz:

$$M_{EM} = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{\omega_c s [(r_1 + C \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2]} \quad (3.89)$$

Ideal mashinalar ko'rilyapti shu sababli mexanik isrofni xisobga olmasdan, M_{em} ni M - mashina validagi momentga teng deb xisoblash mumkin.

(3.89) bo'yicha asinxron mashinaning mexanik xarakteristikalarini tuziladi $M=f(s)$ bo'ladi qaysiki U_1 va $f=const$ bo'lganda (3.36-rasm). Mexanik xarakteristikalar shuningdek rotorning aylanish chastotasini $n=f(M)$ yoki aksincha $M=f(n)$ ga bo'g'liqligini o'zida namoyon qiladi.

(3.89) ifodaga s ning turli miqdorlarini qo'yib, asinxron mashinalarning barcha rejimlari uchun $M=f(s)$ bo'g'liqlikni olish mumkin. (3.89) da $s=0$ va $s=+\infty$ bo'lganda $M=0$ bo'ladi. (3.89) dan kuzatiladiki qaysiki moment $s=\pm s_k$ bo'lganda maksimum bo'ladi shuningdek kritik sirpanishda ham. Sirpanishning 0 dan $\pm s_k$ gacha oshish vaqtida moment ortadi so'ngra kamayadi. Bu vaqtda I_2' o'sishda davom etadi, ammo reaktiv tashkil etuvchi o'sib, aktiv tashkil etuvchisi kamayadi. I_1 tokning o'sish davomida EYuK va mashina oqimi kamayadi.

Doimiy parametrlarni xisoblab, ekstrimumlarni aniqlash mumkin, qaysiki

$$\frac{dM_{EM}}{ds} = 0 \quad \text{tenglik bajarilganda.}$$

$$\text{Bu kritik sirpanish vaqtida } s_k = \pm \frac{C_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}} \quad (3.90) \text{ bo'ladi.}$$

(3.89) ga s_k ni qo'yib ko'p qutbli mashinalar uchun maksimal momentni aniqlaymiz.

$$M_{max} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2\omega_0 s [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}]} \quad (3.91)$$

(3.91) ifoda oldidagi "+" belgi motor rejimi bilan, "-" generator rejimi bilan bolliq.

Birlik rusumli asinxron motorlar va katta quvvatli asinxron mashinalar uchun $r=0$ deb isoblash mumkin o'shanda

$$s_k = \pm \frac{C_1 r_2'}{(x_1 + C_1 x_2')} \quad (3.92)$$

maksimal moment esa

$$M_{max} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2\omega_0 C_1 (x_1 + C_1 x_2')}. \quad (3.93)$$

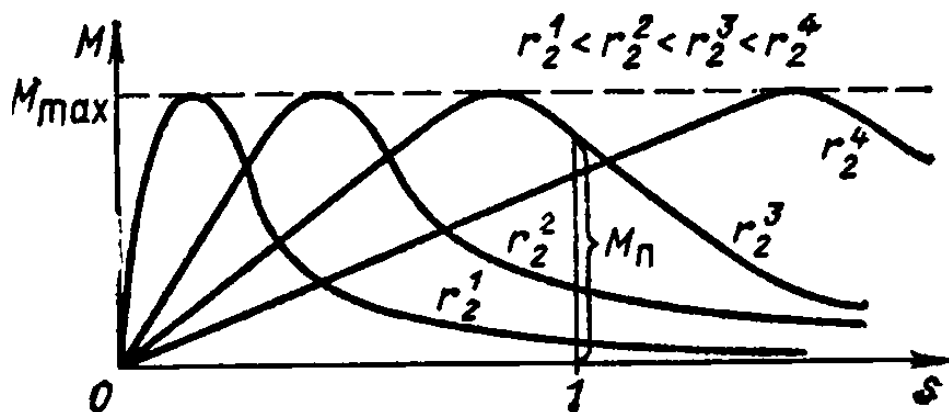
Maksimal moment kuchlanish kvadratiga to'g'ri proporsional, $x_k = x_1 + x_2'$ ga esa teskari proporsional. (3.91) va (3.93) ifodalarga $C_1=1$ ni qo'yib

$$s_k = \pm \frac{r_2'}{(x_k)}, \text{ ni hisoblash mumkin.}$$

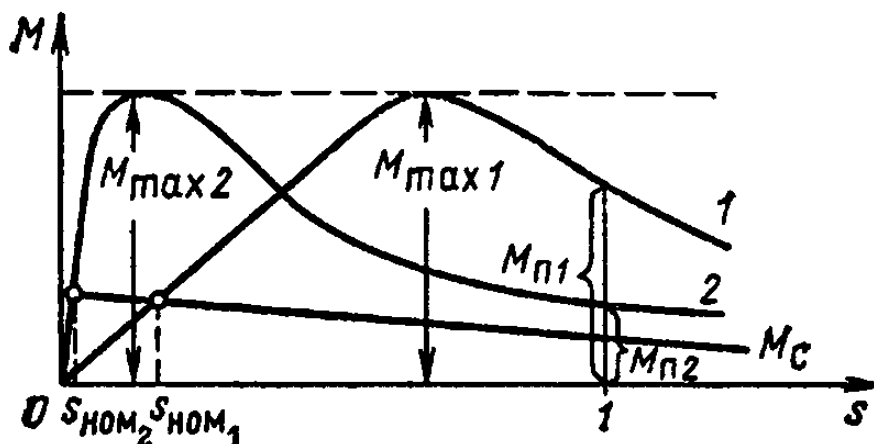
$R_1=0$ va $C_1=1$ bo'lgan paytda maksimal moment uchun quyidagi ifoda o'rinlidir:

$$M_{max} = \pm \frac{pm_1 U_1^2}{2\omega_0 x_k}. \quad (3.94)$$

(3.91) da ko'rilayotganidek generator rejimida maksimal moment M_{maxg} bir muncha katta bo'ladi motor rejimidagi momentdan M_{maxd} .



3.37-rasm. Rotorning turli xil aktiv qarshiliklarida momentni sirpanishga bog'liqligi.



3.38-rasm. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi.

3.37-rasmda rotorning turli xil aktiv qarshiliklarda va $U_1 = \text{const}$, $f = \text{const}$ bo'lganda momentini sirpanishga bog'liqligi.

R_2 ni o'zgarish vaqtida moment o'zgarmaydi, r_2' ni o'zgarish vaqtida maksimal moment sirpanish maydonida yotadi. Rotor cho'lg'amlarining aktiv qarshiligini ikkilamchi faza cho'lg'amiga qo'shimcha qarshilikni ulash yo'li bilan oshirish mumkin.

Qo'zgatish momentining qiymati $s=1$ ga muvofiq quriladi. (3.89) Qo'zatis momentidan

$$M_p = \frac{pm_1 U_1^2 r_2'}{\omega_c [(r_1 + C_1 r_2')^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2]} \quad (3.95)$$

Qo'zg'alish momenti kuchlanishning kvadratiga to'g'ri proporsional va r_2' ga bog'liq r_2 ning oshishi xisobiga M_{max} ni joylashtirib $M_{\text{max}} = M_n$ ifodani olish mumkin.

Bu (3.93) ni o'rnigava (3.95) ni o'rniga $r_2' = \frac{1}{C_1} \sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}$ (3.96) bo'lgan vaqtda bo'ladi. Ko'plab elektr o'tkazgichlarida qo'zatis moment maksimalga yaqinlashishi kutiladi. Rotor zanjirida qarshilikni oshishi bilan mexanik xarakteristikalarini ta'minlaydi. Biroq nominal rejimda shunday mexanik xarakteristikalar paytida motor katta sirpanish paytida ishlashi mumkin qaysiki katta

o'lchamda bo'lgan, isrofalar va kichik energetik ko'rsatkichlar bilan. Shuning uchun 1 mexanik xarakteristikali asinxron motorlar kamdan-kam ishlatiladi.

$$k_p = \frac{M_p}{M_{nom}} = 1 \div 1.4; k_i = \frac{I_p}{I_{nom}} = 4.5 \div 6.0$$

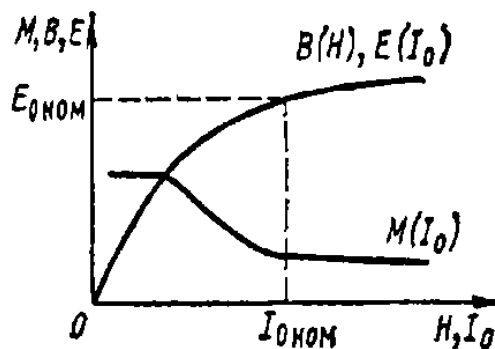
Rasm. rotordagi turli shakldagi tirqishlar uchun motorning mexanik tavsifi
P qatlam balandligi bo'yicha sterjenni bo'lib chiqishni har qanday shakldagi tirqish uchun tokni siqib chiqarishini aniqlash mumkin.

Chuqur tirqishli mashinalarning qulay tavsifiga qaramay ular cheklangan hajmda ishlab chiqariladi, negaki chuqur tirqishni qo'llanilishi mashina gabaritlari va rotor diametrini oshishiga olib keladi.

4A rusumdagi modifikatsiyadagi motorlar yuqori moment bilan qo'shaloq olmaxon katakli rotorga ega bo'lgan ishga turishi maydoni va 0,2-0,6 chegarasidagi ishchi cho'lg'ami nisbatida ishlab chiqariladi.

Chuqur tirqishli motordan tashqari kolbasimon, butilkasimon va trapetsemdal profildagi tirqishli cho'lg'amlar keng qo'llaniladi. 3.59 rasmda turli shakldagi tirqishli motorlarning mexanik tavsifiko'rsatilgan. 1-Egri – aylana tirqishli motorlarga mexanik tavsif. 2 v 3 $M = f(s)$ egri zona o'rtasini 3 egriga yaqin mexanik tavsifga ega bo'lgan trapetseidal tirqishli motor, chuqur tirqishli motorlar egallaydi. Mexanik tavsifli 3 va 4 zona oralig'ida esa ikki qavatli olmaxon katakli motor va kolbasimon profildagi tirqishli motor o'rin oladi. Shu bilan 4 tavsif kolbasimon profildagi sterjenli motorlarga tegishli bo'ladi.

Shakldor tirqishli motorlarda maksimal induktiv qarshilik oshishi oqibatidatarqatish momenti aylana tirqishli motorga nisbatan 15-20 % ga kam, $\cos \varphi$ esa 4-6 %ga pasayadi.



3.60-rasm. To'yingan asinxron mashinadan o'zaro induktivlikni bog'liqligi va magnitlanish tavsifi.

Nominal rejimda yuqori energetik ko'rsatkichlarni saqlashda ishga tushirish tavsifini yaxshilash lozim ijobiy texnik effektini olish uchun esa asinxron mashinalar rotori cho'lg'amida tokni siqib chiqarish hodisasidan foydalaniladi. Tokni siqib chiqarish hodisasi stator cho'lg'amida o'zini ko'rsatadi. Uni kamaytirish uchun xuddi transformatorlardagi kabi, parallel o'tkazgichlar h/b munosabatini birga yaqin qiladi, katta quvvatli mashinalarda esa bajaradi va transpozitsiyada bo'ladi[8].

Asinxron mashinalar tavsifini tadqiq qilishda nafaqat tokni siqib chiqarishnigina hisobga olmasdan balki uyurlangan va to'yingan toklarni mavjudligini ham e'tibor berish zarur.

Eng yaxshi texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarni olish uchun barcha asinxron mashinalar to'yingan bo'lishi kerak: egri magnitlash tirsagida nominal kuchlanish joylashgan bo'ladi. $V(N)$ (3.60 rasm).

Mashinaning to'yingan magnit tizimi o'zaro induktivlik qiymati aks etadi M , bunda mashinalarning kuchlanish tenglamasi (3.3). $M = f(1_0)$ nochiziqlik o'zgarishlar tor tirqishda oliy garmonikni paydo bo'lishiga yo'l qo'yadi va mashinalarning dinamik va statik tavsifiga ta'sir qiladi, shuningdek mashinada shovqin va tebranishning qo'shimcha manbasi hisoblanadi.

Shunday qilib, tokning magnitlanishi vaqtning funksiyasi hisoblanadi, shuning uchun $L(t) = M(t) + L_o(t)$. (3.113) bo'ladi.

Cho'lg'amda to'liq induktivlik, o'zaro induktivlik va ishga tushirish vaqtida tarqalish turli qonunlar bo'yicha o'zgarishi mumkin. L, M L_0 dagi o'zgarishlarni hisobga olish uchun va dinamik va statik tavsifga ta'sirini aniqlash uchun vaqt tufayli o'zgarishini hisobga olish zarur va EXM yordamida (3.3) va (3.4) tenglamani echish uchun energiyani elektromexanik o'zgarishi tenglamasini qo'yib chiqish kerak.

Parametrlarning turg'unmasligi, ularning vaqtga nochiziqlik bog'liqligi tenglamani echishni qiyinlashtiradi, echish vaqtini oshiradi, ammo prinsipial darajada tenglamani ko'rinishini o'zgartirmaydi. Qoida bo'yicha EXMda dasturlarni tuzishda parametrlarning nochiziqlik o'zgarishlari hisobga olinadi va ayrim hollarda doimiy parametrlari tenglamada echiladi.

Umumiy ahamiyatdagi mashinalarda tokning tarqalishi 3-8 % tashkil qiladi va havo bo'yicha tutashadi. Shuning uchun ham rotor va stator cho'lg'amida induktivlik tarqalishi to'yinishga bog'liq bo'lmaydi deb hisoblash mumkin. Keyin taxmin qilish mumkin, L va M birtadan o'sha qoida bo'yicha vaqtda o'zgaradi. Bu tenglamani echishni sezilarli darajada osonlashtirish imkonini beradi.

Ko'pcho'lg'amli mashinalarda tenglamani 3.12 § da ko'rib chiqishda shu narsa qayd qilinganki, ko'p cho'lg'amli mashinalarning mexanik tavsifi, yaxlit rotor mexanik tavsifi va kichik aktiv qarshilikdan har qanday sonli cho'lg'am ideal tavsif zonasidajoylashadi. Tirqishlar shaklini o'zgartirib cho'lg'am soni va rotor cho'lg'ami parametrlarida nochiziqlik bog'liqlikni M_{11} va M_{12} tavsiflar orasidagi zonada joylashgan har qanday mexanik tavsifda olish mumkin (3.52 rasmga qarang)

To'yingan mashinadagi barcha garmoniklar o'zaro bir-biriga bog'liq, oraliqdagi garmonik maydon spektri Yuklama bog'lanishi, kuchlanishi va chastotasiga qarab o'zgaradi. Biroq to'yingan mashina tenglamasini m , p -cho'lg'amli mashina tenglamasiga olib kelish mumkin.

m , p -cho'lg'amli mashinalarning umumlashgan EP tenglamasi elektromexanikadagi eng ko'p umumiy tenglamalar hisoblanadi va tor tirqishda garmonik magnit maydoni spektrlari va nochiziqligini hisobga olganda ko'p cho'lg'amli mashinalarda energiyani qayta o'zgarishi jarayonlarini ifoda etadi.

Nazorat savollari.

1. Ideal asinxron mashina deb qanday mashinaga aytiladi?
2. Ideal asinxron mashinani elektromexanik momenti qanday aniqlanadi?
3. To'yingan asinxron mashinadan o'zaro induktivlikni bog'liqligi va magnitlanish tavsifi qanday xulosa chiqarish mumkin?

3.11. Asinxron mashinalarda o'tish jarayoni.

Asinxron mashinlarning parametrlarini o'zgarishida o'tish jarayonlarida valdagi yuklamo'zgarishi, kuchlanish, tarmoqdagi chastota, mashinani tarmoqqa ulaganda va uni uzganda aylanish yo'nalishi muhim o'rin tutadi. Asinxron mashinalarda differensial tenglamalarni o'tish jarayonlari (3.3.) va (3.4) yoki ularning boshqa shaklga o'tishiniqayd qilib boradi.

Muayyan jarayonlarda o'tish jarayonlari alohida bir holat bo'lib hisoblanadi. Ko'pgina asinxron mashinalar o'tish rejimida to'xtovsiz ishlaydi va ularni o'tish jarayonlarini hisobga olgan holda loyihalashdagi mahorat tufayli ularni massasi va boshqa texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini aniqlab beradi. Bunday qurilmalarga zarbiy yuklama yuritmalar, (maydalash mashinasi, elektr muzlat-gichlar va boshq.) kranli yuritma va boshqalar kiradi.

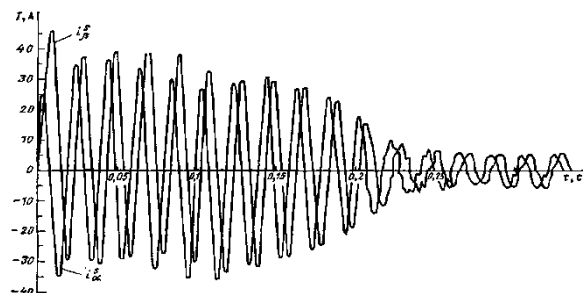
Eng muhim o'tish jarayonlari yurish uchun ishga tushirish, tormozlanish, revers, takroriy ulash va valda yuklamani o'zgarishi hisoblanadi. Bu jarayonlarni tadqiq qilish uchun chastota [7] va kuchlanishdan oziqlanadigan u yoki bu parametrlar tenglamalarini EXMda echish zarur bo'ladi (3.3.) va (3.4.) 3.61. va 3.62 rasmda

4A10S4UZ ($P_2 = 3 \text{ kv}$, $n_c 1500 \text{ ayl/min}$)

motorini ishga tushirish ossillogrammada keltirilgan. EXMda (3.3.) va (3.4.)larni modellashtirish bilan ossillogramma olingan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, o'tish jarayonining boshida tokdagi irg'ishlar maksimal darajada bo'lgan. Birinchi yarim vaqtda zarbiy moment deb ataladigan M_{ud} maksimal irg'ish momentlari hujumga o'tadi. Tok tebranishiga va momentiga rotor

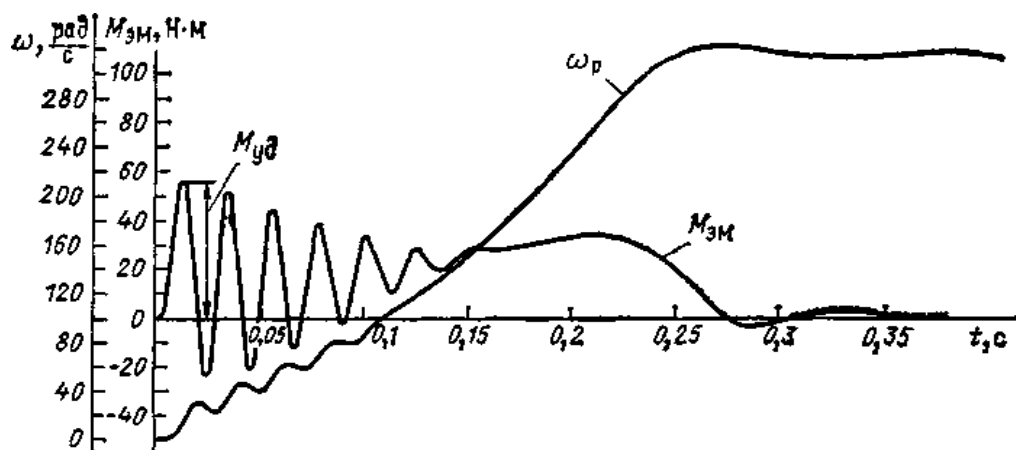
4A1004 S4UZ bunda $M_c = 0$ asinxron motorni ishga tushirish va sinusodal to'yinish kuchlanishi aylanish chastotasi javob beradi. O'tish jarayoni oxirida tokning tebranishi va momenti so'nadi, rotor chastotasi va elektr magnit momenti ravonlik bilan muayyan miqdorga etib boradi.

Aylanayotgan elektr mashinalarda o'tish jarayonlari mashinada maydon hosil qilish va rotor aylanish chastotasining o'zgarishi shartlanganligida mexanik jarayonlar bilan bog'liq bo'lgan elektrmagnit jarayonlari bilan aniqlanadi.



3.61-rasm.

Elektr magnit jarayonlarning davom etishi T_{em} o'zgarmas elektrmagnit vaqt bilan aniqlanadi. Elektrmexanik jarayonlar rotor inersiyasi asosiy momenti bilan aniqlanadi va T_m o'zgarmas elektr-mexanik vaqt bilan tavsiflanadi. Asinxron mashinalarda o'tish jarayonlarini uch bosqichga bo'lish mumkin. (davomi pastda 1-kolonkada)



3.62 -rasm. Statorni ishga tushirishda tokni o'zgarishi.

Birinchi bir nechta davrlarni davom ettiruvchi boshlang'ich bosqich, T_{em} chegarasida asosiy aktivdan quvvat olish va mexanik ishlarni bajarish uchun va aylanayotgan qismlarida rotorni haydashda mashinada magnit maydonini hosil qilishga ketadigan - kinetik energiyani zahiralash. Bu bosqich rotorni ulkan tezlanishi va momentlar hamda o'zidagi katta tok cho'qqiga chiqishi bilan tavsiflanadi. (3.61 va 3.62 rasm)

Ikkinchi bosqichda qachonki T_{em} bilan aniqlab bo'ladigan jarayonlar o'rnatilganda rotorni yugura boshlashi hali davom etadi, tarmoqdan iste'mol qilinadigan energiya kinetik energiyani oshirish va mexanik ishlarni amalda bajarish uchun sarflanadi. Bu bosqichda mashina tarmoqdagi quvvat bilan almashinadi va aktiv va reaktiv quvvatlar o'zaro nisbati muayyan rejim nisbatida yana ham stabillashadi. Tok tebranishi va momenti so'nadi.

Albatta, o'tish jarayonining uchinchi bosqichida, rotor muayyan aylanish chastotasiga etgach, tokdagi irg'ishlar va momentlar kamayadi va mashina muayyan rejimga kiradi.

Traditsion konstruksiyali asinxron mashinalarda T_{em} tartibga ko'ra kam va T_m elektrmagnit jarayonlarini hisobga olmasdan o'tish jarayonlarini birinchi yaqinlashishida ko'rib chiqish mumkin.

Ishga tushirishda o'tish jarayonlarida oqib o'tish tavsifiga rotor cho'lg'amidagi aktiv qarshilik va inersiya momenti asosiy ta'sir ko'rsatadi. Uncha katta bo'lmagan inersiyaning kichik momentli quvvatidagi motorlar bir necha davrda muayyan tezlikkacha haydab yuboradi, ammo rotor sinxron aylanish chastotasi uchun chiqishi mumkin va sinxron tezlikni tebranishidan keyin muayyan rejimga o'tadi. Katta quvvatli motorlar juda sekin haydaladi va rotor qayta rostdlashsiz muayyan chastotaning aylanishiga yaqinlashadi.

Tadqiqotlarning ko'rsatishicha ishga tushirishda jarayonlar $s=1$ bo'lganda parametrlarning dastlabki qiymati bilan aniqlanadi. Haydash jarayonida parametrlarning nochiqlik o'zgarishi tavsifi ikkilamchi ahamiyatga kasb etadi.

Induktiv parametrlarning to'yinishi tufayli ularning qiymati muayyan rejimda farqlanadi. Induktivlik va o'zaro induktivlik ishga tushirishda muayyan miqdoridan 30-40 % kam bo'ladi. O'tish jarayonida mashinaning parametri dastlabki vaqt momentida o'tish parametrlari deb aytiladi. Agar o'tish jarayonida ishga tushirish natijalari aniq bo'lsa, asinxron mashinalarning o'tish jarayonlarini EXM yordamida aniqlash mumkin. Asinxron mashinalarning o'tish parametrlarini aniqlash uchun hisoblash metodikasi etarli darajada ishlab chiqilmagan, negaki asinxron mashinalarning o'tish jarayonlari bilan EXM paydo bo'lgandan keyin chuqur o'rgana boshlashdi[2].

Asinxron mashinalarni ishga tushirishda ishga tushirish momentini oshirish uchun r_2 ni oshirish zarur, nominal rejimda esa $\cos \varphi$ va FIKni oshirish uchun r_2 ga kam ega bo'lish kerak, bunda s_{nom} 1-4% gateng bo'lishi kerak.

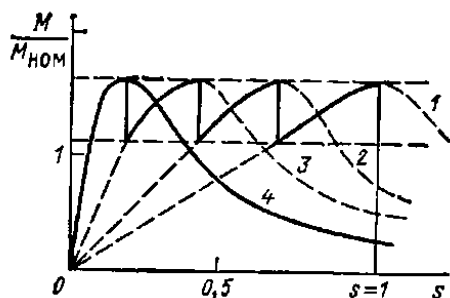
Ishga tushirishning murakkab sharoitlari uchun bir necha kilovatt dan yuz kilovattgacha fazaviy rotorli motorlar qo'llaniladi. Bu motorlarning fazaviy cho'lg'ami xalqaga chiqariladi, shu bilan ishga tushirishda rezistorga ulanadi. Motorni haydash imkoniyati bo'yicha rezistor qarshiligi asta-sekin kamayadi, keyin esa rezistor xalqadan chiqariladi va xalqa qisqartiriladi.

Ishga tushirish rezistorlari simdan, suyuqlik va cho'yan qo'ymadan tayyorlanadi. Rezistorlar transformatorli moy bilan bakka joylashtiriladi va ular qisqa muddatli rejimda ishlash uchun mo'ljallanadi. Suyuq rezistor elektrolitli idishdan iborat bo'lib, unga elektrodlar tushirilgan bo'ladi. elektrodning cho'kishichuqurligi o'zgarishida rezistor qarshiligi o'zgaradi.

3.63 rasmda fazaviy rotorli motorning ishga tushirish jarayoni ko'rsatilgan. Joriy rezistor bilan motor to'liq ishga tushiriladi va 1 mexanik tavsifda ishlaydi. Shu bilan $M_p \approx M_{max}$ bo'ladi. Shundan so'ng motor shunday sirpanishga to'g'ri keladi. Rezistor ulanadi va uning qarshilik kuchini bir qismi qisqartiriladi. 2 motor 2 tavsifga o'tadi.

Da ikkinchi pog'ona almashlab ulanadi va motor 3 tavsif bo'yicha ishlay boshlaydi. Shundan keyin $s \approx 0.1 \div 0.2$; $s \approx 0.3 \div 0.4$; $s \approx 0.5 \div 0.6$; da uchinchi pog'ona qisqartiriladi, motor 4 tabiiy mexanik tavsif o'tadi. Cho'tkalarni ishga tushirish tugaganidan keyin qisqartiriladi, ishga tushiruvchi rezistor dastlab holatiga keltiriladi.

Ayrim eski konstruksiyalarda fazaviy cho'lg'am qisqartirilgandan keyin cho'tka ko'tariladi. Zamonaviy konstruksiyalarda cho'tka barcha ish rejimlarida xalqa bo'yicha sirpanadi. Bu mexanik isrofn oshirilishiga olib keladi, ammo cho'tkali apparatni soddalashuvi hisobiga motorning ishonchlilikini oshiradi.



3.63-rasm. Fazaviy rotorli motorni ishga tushirish.

Fazaviy rotorli motorlar cho'lg'ami qisqa tutashuvli motorlarga nisbatan qimmat turadi va u qo'shimcha ishga tushirishni rostlanma apparaturasini talab qiladi. 4A rusumdagi fazaviy rotorli motorlar 0,5 dan 400 kVt quvvatda va aylanish chastotasi 500 dan 1500 gacha ob/min ga tayyorlanadi. O'q aylanish balandligi 160-200 mm bo'lgan motorlarda sochma cho'lg'amdan foydalaniladi, o'q aylanish balandligi 225-355 mm bo'lgan motorlarda sterjeni mis simdan to'g'riburchakli kesimda bo'ladi.

Elektrotexnika sanoatidagi og'ir sharoitlarda ishga tushirish uchun qisqa tutashgan rotorli motorlar tayyorlanadi – bu motorlar ikki qavatli olmaxon katakli va maxsus profildagi chuqur tirqishli motorlardir.(3.13 § qarang). Bu motorlarda tokni siqib chiqarilishi sababli rotor cho'lg'ami sterjenidagi tok ishga tushirishda oraliqqqa yaqin joylashgan cho'lg'am qismi bo'yicha o'tadi, nominal rejimda esa cho'lg'am barcha kesimi bo'yicha bir tekisda taqsimlanadi.

Oraliqqqa yaqin joylashgan ikki qavatli olmaxon kletkali motorlarda ishga tushirish kletkasi ishchiga ko'ra qirqimdan kichik qilib bajariladi (3.50 rasmga qarang). Ba'zida ishga tushirish katakchasini latun yoki bronzadan bajarishadi. Ikki qavatli olmaxon kletkali motorlar mexanik tavsifi 3.59. rasmda ko'rsatilgan.

Asinxron mashinani hisoblab turib, ishga tushirish momentini oshirishga intilish kerak, ishga tushirish tokini qisqaligini $k_i \approx 5 \div 7$. da qoldirish kerak. O'tish rejimlarida toklarni oshishi zarbiy momentlarni oshishiga olib keladi, shuningdek tarmoqda kuchlanishni tushishiga olib keladi, bu o'z navbatida ishga tushirish tavsifiga ijobiy ta'sir qiladi, bunda moment kuchlanish kvadratiga proporsional bo'ladi.

Qisqa tutashgan asinxron motorlarni ishga tushirishda odatda nominal kuchlanishga to'g'ridan to'g'ri ulanadi. Ishga tushirish jarayoni motorning tavsifi va yuklamasi bilan aniqlanadi (3.53 rasmga qarang). Motor minimal aylanish chastotasigacha harakatlanishi uchun $s=1$ holatida M_c dan M_p ko'p bo'lishi zarur vamotorning tavsifi va yuklamasi mexanik tavsifi s_{nom} yaqinidagi bir nuqtada kesishsin. Agar o'pirilishlar tufayli egri $M=f(s)$ egri $s=1$ yaqinidagi $M=f(s)$ bilan kesishadi, bunda motor bu nuqtada “qadalib” qoladi rotordagi katta isroflar tufayli bunday rejimda uzoq ishlay olmaydi. Bundan holatlarda katta quvvatdagi motorni olish zarur bo'ladi[8].

Motor rotorining harakat tenglamasi

$$M_c + M_{EM} = \frac{Jd\omega_p}{dt} \quad (3.114)$$

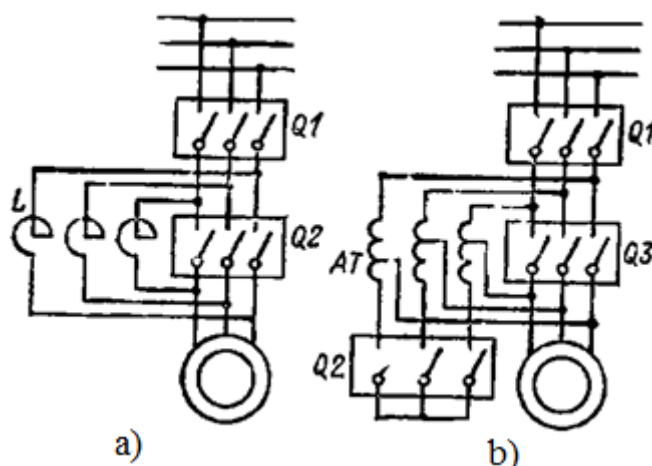
Motorni haydash jarayoni elektr magnit momenti va qarshilik momenti modul bo'yicha teng bo'lmaguncha davom etishi kerak. Birinchi yaqinlashuvda ishga tushirish vaqtini aniqlash uchun harakat tenglamasi integratsiyasini olish mumkin (3.114 rasm)

$$t_n = \int_0^{\omega_{p.nom}} \frac{Jd\omega_p}{M_c + M_{EM}}. \quad (3.115)$$

t_n o'ta aniq tarzda aniqlash uchun harakat va kuchlanish tenglamasini EXMda echish zarur (3.3) va (3.4). Bu bilan t_n elektr magnit o'tish jarayonlarini hisobga olgan holda aniqlanadi. t_n ni aniqlashda motor cho'lg'amidagi o'tish jarayonlari hisobga olinmaydi.

M_{em} va M_s uncha katta bo'lmagan farqlanishida ishga tushirish jarayoni taranglashadi, bu o'z navbatida cho'lg'amda haroratni yo'l qo'yib bo'lmaydigan oshishini chaqirishi mumkin. Katta motorlar uchun ayrim hollarda motorni ulash soni 1 s.ga cheklanadi.

Yirik asinxron motorlarni ishga tushirishda ishga tushirish toklarini cheklash uchun avtotransformator va reaktor ulanadi. O'ta og'ir sharoitlarda motorni bir necha o'n ming kilovatda ishga tushirishda chastotali ishga tushirish qo'llaniladi, bunda chastotalarni o'zgartirgich yordamida stator kuchlanishiga o'tuvchi chastota asta-sekin ko'tariladi. Chastotali ishga tushirishda $U/f \approx \text{const}$ sharti bajarilishi uchun motorga olib boruvchi chastota va kuchlanish tartibga solinadi. Bunday regulirovka qilishda motordagi oqim deyarli o'zgarishsiz qoladi va nominal tokka nisbatan taqqoslash bo'yicha tok irg'ishlari ikki-uch karrali miqdorda oshmaydi. Biroq chastotali tok katta o'lcham va o'zgartirgich narxining balandligi tufayli cheklangan holda qo'llashga to'g'ri keladi, faqat ishga tushirish uchun ishlovchi, motorni to'la quvvatiga mo'ljallanadi.



3.64-rasm. Katta quvvatdagi asinxron motorni ishga tushirish sxemasi.

3.64.,a, rasmdagi sxema bo'yicha reaktor ishga tushirish amalga oshiriladi. Ishga tushirish reaktorlari ferromagnitli magnit o'tkazgichga ega bo'ladi. Ularni qisqa vaqtli ishlash rejimiga mo'ljallashadi. Katta quvvatli motorlar uchun betonli reaktorlardan foydalaniladi.

Ulangan reaktorda ishga tushirish (Q_2 o'chirgich uzilgan)

$$I_p = \frac{U_{nom}}{\sqrt{r_k^2 + (x_k + x_r)^2}} \quad (3.116)$$

U_{nom} – motorning nominal kuchlanishi; x_r - reaktorning induktiv qarshiligi (reaktorning faol qarshiligiga ehtiyot qilmaymiz). x_r - hisobiga ishga tushirish toki 3-4 karra miqdorgacha kamayadi.

Reaktorni ishga tushirish quyidagi tartibda amalga oshiriladi. Q_2 uzilgan o'chirgichda Q_1 motor o'chirgichi tarmoqqa ulanadi. Rotor bilan nominal aylanish chastotasiga erishilgach Q_2 reaktor qisqartiriladi.

(3.64 rasm,b) avtotransformatorli ishga tushirishda Q_2 va Q_1 o'chirgichlar boshida ulanadi va motor avtotransformator orqali pasaytirilgan kuchlanish uzatiladi. Q_2 o'chirilgandan keyin avtotransformator ba'zi bir vaqtgacha xuddi reaktor sifatida ishlaydi, motor bilan nominal aylanish chastotasiga erishish bo'yicha o'chirgich Q_3 ulanadi va motor tarmoqqa ulanadi.

Statorda cho'lg'amni almashlab ulash uchburchakga yulduzchadan ishga tushirishni oxirida tokni ishga tushirishni pasaytirishni ta'minlash mumkin. Bunday ishga tushirishda elektr liniyada tok $\sqrt{3}$ marta kamayadi. Bu usulning kamchiligi shundaki motor zanjirida uzish o'ta kuchlanishga olib keladi. Bu ishga tushirish usulidan hozirgi kunda umuman foydalanilmaydi.

Katta quvvatli asinxron mashinalar yurishida ishga tushirish uchun ba'zida haydaladigan asosiy motorga qattiq val bilan ulangan motor yordamida ishga tushirishda qo'llaniladi. Agar asosiy motor sekin yuradigan bo'lsa unda tezlab ketadigan motor katta pog'onali aylanish chastotasiga qarab tanlanadi. Asosiy motorning sinxron aylanish chastotasiga yaqinlashganda tezlab ketadigan motor tarmoqqa ulanadi. Bu usulning kamchiligi–tezlab ketadigan motorning mavjudligi va undan ishga tushirish paytida foydalanishidir.

Eng qiyish o'tish rejimlaridan biri bu revers rejimidir, bunda fazalarni ergashish tartibi bilan almashlab ulashda mashina chiqarmasida rotor aylanishi yo'nalishida o'zgarish hosil bo'ladi. Reversda birinchi motor tarmoqdan uziladi, keyin esa teskari ketma-ketlikda kuchlanish ulanadi. O'tish jarayoni kuchli darajadagi kommutatsiya(ulash) vaqti bilan aniqlanadi tor tirqishda magnit maydoni so'nishi tezligi bilan. Kommutatsiya uchun qancha kam vaqt bo'lsa, zarbiy tok va momentlar qancha ko'p bo'lsa, shunchalik o'tish jarayonlari og'ir oqib o'tadi.

Oraliqda so'nmagan maydon mavjudligida asinxron motorlarni tarmoqqa takroriy ulashda ham xuddi shunday zarbiy tok va momentlar kuzatiladi. Takroriy ulash jarayoni to'yinishning qisqa muddatli uzilishlarda, shuningdek yuk tortadigan asinxron motorlarda kontaktning sirpanishini buzilishida muhim o'rin tutadi.

Ko'pchilik asinxron mashinalar bir necha sekund quvvat olishni uzilishida to'xtashga ulgurib bo'ladi. Kuchlanishni tiklash uchun asinxron motorlarni o'zini o'zi ishga tushirishi boshlanadi. Bu jarayon motorlar va tarmoq uchun ham juda murakkab hisoblanadi, motorni ishga tushirishi uchun aktiv quvvat va motorlarda maydon hosil qilish uchun katta reaktiv quvvat talab qilinadi. Shu bilan bir qatorda motorning qismi ishga tushmasligi mumkin, boshqa qismi esa uzoqqa cho'zilgan ishga tushirish tufayli juda qizib ketishi mumkin. Uzoq tanaffusda quvvatlanish (bir

necha sekund yoki minut) motorni tarmoqdan o'chirish zarur bo'ladi va ma'sul elektr yuritmalarninigina yoqilgan holatda qoldirish mumkin.

Reversda va qayta ulashda jarayonlar ishga tushirish jarayonlaridan murak-kabroqdir. Ishga tushirishda, reversda va boshqa dinamik rejimlarda optimal parametrlar bir-biridan farq qiladi[8].

O'tish jarayonlarida barcha parametrlar energiyani elektrmexanik o'zgarish tenglamasi sistemasini echish yo'li bilan aniqlanadi. Faqat parametrlardan birining kamayishi yoki oshishi optimal natijalarga olib kelmaydi. Mashina parametrlari o'rtasida optimal o'zaro nisbat mavjud bo'ladi, qachonlardir qiziquvchi tadqiqotchilar ko'rsatkich ekstremumga ega bo'lishadi.

O'tish jarayonlarida energiyani o'zgartirish jarayonlari muayyan rejimda ancha murakkab jarayondir, shuning uchun muayyan rejimda energetik ko'rsatkichlar haqida yig'ilgan tasavvurni shuning uchun o'tish jarayoniga ko'chirib bo'lmaydi. Bu yerda o'tish jarayonida energetik ko'rsatkichlarni o'rtacha vaqtdan degan ma'noga ega ekanligi haqida gapirish mumkin. Aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar haqidagi tushuncha agar ularni lahzalik ma'nosini ko'rib chiqsak bunda u o'z ma'nosini yo'qotadi.

Mashinada magnit maydonini yaratish uchun borayotgan reaktiv quvvatni xuddi quvvat sifatida tasavvur qilish maqsadga muvofiqdir. Shu bilan reaktiv quvvat aktivga o'zgaradi va uning teskarisi. Mashinadagi energiyani o'zgartirishdagi jami murakkab jarayon o'zining aniqligi va xilma-xilligi bilan tadqiqotchi tanlagan energiyani elektrmexanik o'zgartirish tenglamasida ifoda etiladi.

Tarmoqqa motorni ulashning dastlabki momentida tarmoqdan faqat quvvat olinadi, keyin esa tarmoq va mashina orasidagi quvvatni almashish boshlanadi; mashinani tarmoqda o'chirganda magnit maydonid to'plangan reaktiv quvvat issiqlikka o'zgaradi. Dinamikadagi eng murkkab jarayonlar nochiziq koeffitsientni hisobga olgan holdanosimmetrik elektr mashinalar o'ringa ega va oziqlantiruvchi nosinusoidal simmetrik kuchlanish. Hozirgi vaqtda hisoblash texnikalarini imkoniyatlari o'tish jarayonlarida amaliyotda uchragan asinxron mashinalarni tadqiq qilish bilan bog'liq bo'lgan barcha masalalarni hal etish imkonini beradi. To'liq bu jarayonlar maxsus kursda o'rganiladi [7]

Nazorat savollari.

1. Asinxron mashinadagi o'tish jarayoni diagrammasidan qanday xulosa chiqarish mumkin?
2. Statorni ishga tushirishda tokni o'zgarishi qaysi parametrlarga bog'liq?
3. Katta quvvatdagi asinxron motorni ishga tushirish sxemasini tushuntirib bering?

3.12. Aylanish chastotasini rostlash.

Asinxron motorlarni tayyorlash o'ta oson va arzonidir, shuning uchun elektr rostlovchi Yuritmalarda ularni qo'llash nihoyatda istiqbollidir. Biroq, hozirgacha asinxron motorlarnng aylanish chastotasini rostlovchi arzon va tejamkor sistema

topilgani yo'q, garchi ularning o'nlab aylanish chastotasini rostlash usullari ma'lum bo'lsada.

Agar ifodaga murojaat qiladigan bo'lsak, rotorni burchak tezligini sinxron burchak tezligi bilan bog'lovchi va sirpanishi (3.117) ga tegishligi ko'rinadi.

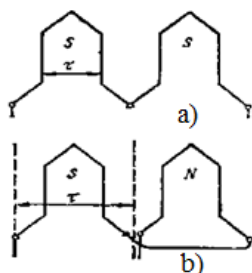
$$\omega_r = \omega_c(1 - s) = \frac{60f_1}{p}(1 - s) \quad (3.117)$$

Tezlikni rostlashning uchala varianti ham bor: f_1 tarmoqda chastotani o'zgartirish yo'li, r juft qutblar soni va s sirpanish.

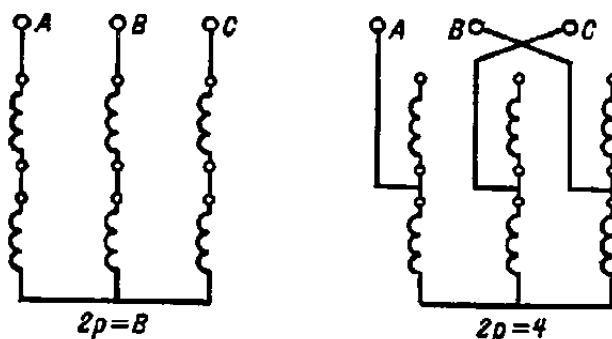
Qutblar miqdorini almashlab ulash tezligini rostlash pog'onasimondir. Motorning qattiq mexanik tavsifida qachonki sirpanish uncha katta bo'lmagan chegarada o'zgaradi, tezlikni rostlash tejamlidir. Shuni e'tiborga olish lozimki, 50 Gs va $r=1$ va 2 chastotada aylanganida chastota pog'onasi tegishli ravishda 3000 va 1500 ob/min bo'ladi, $r=5$ va 6-600 va 500 ob/min bo'ladi. Katta miqdordagi qutblar sinxron aylanish chastotasi oralig'idagi farqda kamayadi.

Statordagi qutblar sonini o'zgarishi uchun bir va o'sha tirqishlarni turli qutblar miqdoridan ikki alohida cho'lg'amga joylashtirish mumkin. Bog'liqligiga qarab zarur aylanish chastotasi bir yoki boshqa cho'lg'amni o'z ichiga oladi. Shu bilan birga bir yoki boshqa cho'lg'am navbat bilan ishlaydi, materialdan foydalanishni kamaytiradi. Shuning uchun bir cho'lg'amga ega bo'lish yaxshiroqdir, cho'lg'amning sxemasini o'zgartirish yo'li bilan qutblar soni almashlab ulash kerak.

Bir juft qutblar soni o'zgarishidagi motorlar ko'ptezlikli deb aytiladi. Sanoat ikki, uch va to'rt tezlikdagi motorlar ishlab chiqariladi.



3.65-rasm. Turli seksiyalarni birlashtirishda qutblar miqdorini almashlab ulash.



3.66-rasm. Yulduz sxemasi bo'yicha cho'lg'am ulash.

Ikki tezlikli motor bir cho'lg'amli qilib tayyorlanadi va qutblarini almashlab ulash $p_2:p_1=2:1$. Uch tezlikli motorlar ikkita cho'lg'amga ega, bu yerda bittasi - $p_2:p_1=2:1$ almashlab ulash. To'rt tezlikli motorlar almashlab ulash bilan ikki

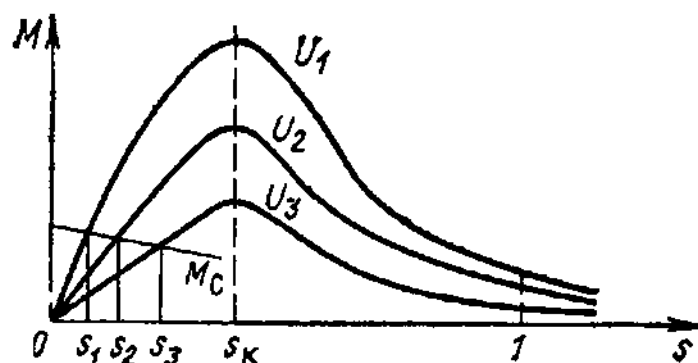
cho'lg'amdan iborat $p_2:p_1=2:1$. Ko'p tezlikli motorlar qisqa tutashtirilgan rotor bilan tayyorlanadi, shuning uchun qutblar jufti sonini almashlab ulash faqatgina statorda amalga oshiriladi. Juft qutblar sonini almashlab ulash ehtimoli 3.65 rasmda cho'lg'am sxemasini o'zgartirish yo'li bilan illyustratsiya qilingan. Seksiyalarni cho'lg'amga birlashtirish 3.65.a, rasmda ko'rsatilgan, to'rtta qutb olinadi, 3.65.b. rasmdagi sxema bo'yicha – ikkita. Bunday almashlab ulashlar uchta fazada bajariladi, cho'lg'amning almashlab ulanadigan qismi parallel yoki ketma-ketlikda birlashtirilishi mumkin. Qutblar sonini almashlab ulashda qutbli bo'linish 2 baravarga o'zgaradi, shu bilan birga fazaviy zonadagi elektr burchak ham 60° dan 120° gacha o'zgaradi. Maydoni aylanish yo'nalishini almashlab ulashda qutblar soni o'zgarishsiz qolishi uchun cho'lg'am almashlab ulash bilan fazalar tartibi o'zgartirish zarur bo'ladi. 3.66. rasmda Yulduz sxemasi bo'yicha stator cho'lg'amini almashlab ulash berilgan, 3.67 rasmda esa stator cho'lg'amini ikki yulduzli sxema bo'yicha almashlab ulanishi ko'rsatilgan. 3.67 rasmdagi sxema bo'yicha yulduzlidan ikki yulduzliga almashlab ulashda aylanish chastotasi 2 baravar o'zgaradi, moment esa bir xilda qoladi.

3.68 rasmdagi xemada qutblar sonini almashlab ulash ΔYY doimiy quvvatni rostlashni ta'minlab beradi, ya'ni tezlikni 2 marta oshirganda moment 2 martaga pasayadi.

Sxemada ikki cho'lg'amli qutblar sonini tanlashda o'chirilgan cho'lg'amda kuchlanishni to'plashni yo'qligini ta'minlab berish zarur. Buning uchun cho'lg'am birinchi qadami ikkinchi qadamdagi cho'lg'amni yarimga tengini bajaradi, bunda qutblar soni 2 martaga farqlanadi. Ko'p tezlikli motorlarni loyihalashda barcha sinxron aylanish chastotalarida yuqori energetik ko'rsatkichlarni saqlanishiga harakat qilishadi. Shuning uchun ham yagona quvvatdagi ko'p tezlikli motorlarni oddiy asinxron motorllarga nisbatan taqqoslaganda katta miqdorda material sarf qilinadi.

Ko'p tezlikli motorlar murakkab kommutatsion apparatlarni talab qiladi va bir qancha eng yomon energetik ko'rsatkichlarga ega bo'ladi, ular sanoatda stanoklar, liftlar, ventillyatorlar va nasoslarning yuritmalari uchun, qayerda joiz pog'onasimon aylanish chastotasini rostlashda keng qo'llaniladi.

4A rusumda bir tezlikli motorlar bazasida 0,12-50 kVt quvvatli ikki, uch va to'rt sinxron aylanish chastotali bazaviy mashinalarning rotor va statorni o'zakchalaridan foydalangan holda ko'p tezlikli motorlarni ishlab chiqarish ko'zda tutilgan.

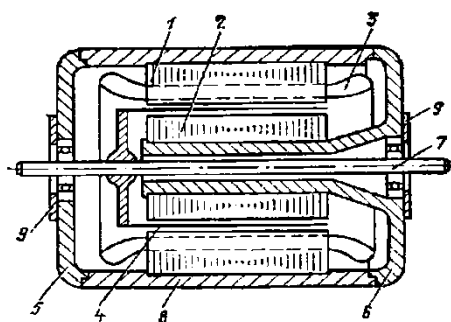


3.69-rasm. Kuchlanishni o'zgartirish yo'li bilan aylanish chastotasini rostdlash.

Asinxron motorlar aylanish chastotasini ravon rostdlashni ta'minlovchi eng oddiy usul sirpanishni o'zgarishi hisoblanadi. [(3.117)]. Aylanish chastotasini rostdlash usulining prinsipial kamchiligi shundaki FIKning pastligi, rotordagi isroflar sirpanishga proporsionalligidadir. Sirpanishni o'zgarish sxemasini boshqa bir qancha variantlar tavsiya etildi, ularning soni o'ntadan ko'p, energiyani elektr mexanik o'zgartirishda issiqlikka o'zgarishi va mexanik quvvat teng imkoniyatga ega bo'ladi. Asinxron motorlarda bu yaqqol ko'zga tashlanadi ($R_{e2}=R_{ems}$). Bu aloqa sirpanishni o'zgarishi usuliga bog'liq bo'lmaydi, bunda rostdlash jarayonida birta mashina ishtirok etadi. Asinxron motorlarning sirpanishini boshqa juda ko'plab usullar bilan amalga oshirish mumkin. Eng ko'p ommalashgani – kuchlanishni o'zgarishi, rotor zanjiriga qarshilikni kirishi, rotor zanjiriga EYUKni olib kelish va olib kelingan kuchlanishni yanglish simmetriya.

Mashinani statoriga olib boruvchi kuchlanishni o'zgarishida mexanik tavsiflar o'zgaradi, bu 3.69.rasmda ko'rsatilgan. Maksimal moment kuchlanish o'zgargarishida kuchlanish kvadratiga proporsional o'zgaradi, keskin sirpanish esa o'zgarishsiz qoladi. U_1 kamayganidamotor sistemasining barqaror ishlash nuqtasi o'zgaradi yuklama va sirpanish s_1 dan s_3 gacha o'zgaradi. 3.69.rasmdan ko'rinib turibdiki rostdlash chegarasi yuklama va motorning mexanik tavsifi ko'rinishiga bog'liq bo'ladi.

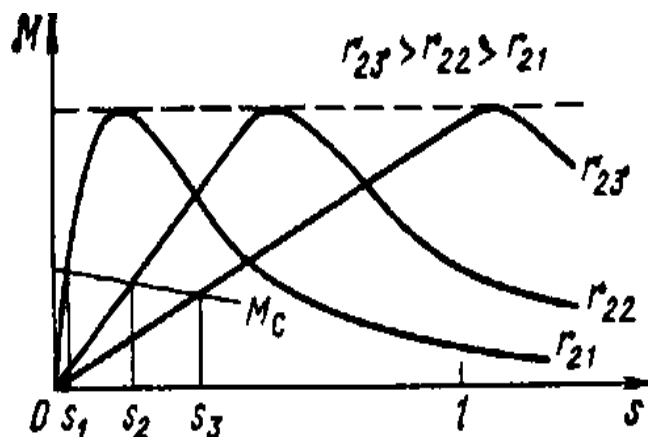
Rostlash chegarasini kengaytirish uchun aylanishning maksimal chastotasining nisbati minimalga ($n_{max}: n_{min}$) teng, motorning mexanik tavsifiga ega bo'lish kerak, shundagina motorning keskin sirpanishi 1-3 chegarasida bo'ladi. Avtomatik boshqarish tizimida ishlovchi katta sirpanishga ega motorlar bajaruvchi deb aytiladi. Ularga yaxlit rotorli asinxron motorlar va kovak rotorli motorlar kiradi.(3.70 rasm)



3.70-rasm. Kovak rotorli motor:
1-stator; 2-ichki stator; 3-stator cho'lg'ami;
4- kovak rotor; 5-podo'ipnikli to'siq;
6-ichki stator uchun vtulkali podshipnikli
to'siq; 7-val; 8-korpus;9- podshipnik
qopqog'i

Bajaruvchi asinxron motorlarda maksimal momentlar va katta ishga tushirish karraligi va katta tezkorlikka ega bo'lishi muhimdir. Kovak rotorli motorda rotor alyumindan qilingan Yupqa deveorli stakansimon ko'rinishda qilib tayyorlanadi. Rotor uncha katta bo'lmagan inersiya momentiga ega bo'ladi. Inersiyaning kichik momenti, katta keskin qarshilik aylanish chastotasi o'zgarishida keng diatirqishonda katta tezkorlik va mexanik tavsiflar to'g'ri mutanosibligini ta'minlaydi. Kovak rotorli motorlar avtomatik boshqariladigan sistemada keng qo'llaniladi va sanoatda 30 Vt quvvatgacha ishlab chiqariladi. Kovak rotorli motorning kamchiligi nomagnit rotorning qalinligi va ikki mexanik oraliqni o'z ichiga oluvchi tor tirqishning

mavjudligidir. Yuz va undan ko'p quvvatdagi qudratli bajaruvchi motorlarni yaratishdagi eng muhim muammo bu issiqlikni olib ketishdir. Bajaruvchi motorlardan foydalanishda momentli kabi



3.71-rasm. Rotorning aktiv qarshiligida o'zgartirish yo'li bilan asinxron motorni aylanish chastotasini rostdlash.

$s \approx 1$ dauzoq ishlovchi, deyarli barcha quvvat issiqlikka o'zgaradi. Issiqlikni olib ketish uchun elektrmagnit yuklamani kamaytirish va sovutish yuzasini oshirish uchun motorning gabaritlarini oshirishga to'g'ri keladi. Xuddi shunday ventilya-torlar ham qo'llaniladi motorga o'rnatilgan suvori (naezdni) bug'latib sovutish va suvli sistema. Ventilyator bilan bajaruvchi motorda otliq ventilyator maxsus asinxron motor bilan aylanadi, aylanish chastotasi bajaruvchi motor aylanish chastotasiga bog'liq bo'lmaydi[4].

Asinxron motorning aylanish chastotasini o'zgartirishga rotor zanjiriga aktiv qarshilikni kiritish bilan erishish mumkin (3.71 rasm). Fazaviy rotorli motorda rostlaydigan rezistor halqalarga ulanadi, ravon yoki pog'onasimon motor rezistorining aktiv qarshiligini o'zgarishida, rezistorning konstruksiyaga bog'liqligiga qaramay u bir mexanik tavsifdan boshqasiga o'tadi.

Aylanish chastotasini rostdlashning afzalligi shundaki rotorning aktiv qarshiligini o'zgartirish yo'li bilan, maksimal moment o'zgarishsiz qoladi, bunda motorga olib borilgan kuchlanish o'zgarmaydi. Rotor cho'lg'amiga rezistorni ulash rotordagi tez-tez isroflarni rezistorda ajralib chiqishiga olib keladi. Shu bilan rezistor va rotordan ajralib chiqadigan isroflar nisbati rezistor va rotor cho'lg'ami aktiv qarshiligi nisbatisha proporsionaldir. Mashinadan isroflarni chiqarish mashinaning gabaritlarini kamaytirish imkonini beradi.

Asinxron bajaruvchi motorlarning aylanish chastotasini rostdlashda kombinatsiyalangan rostdlash usulini qo'llanilishida, rotor aktiv qarshiligi va motorga yaqin keladigan kuchlanish o'zgaradi.

Aylanish chastotasi o'zgarganida rotordagi $f_2 = f_1$ s.chastota ham o'zgaradi. f_2 o'zgarganda tokni siqib chiqarish hisobiga r_2 zarur o'zgarish qonunini olish mumkin. Buning uchun fazali cho'lg'amning rotorga ulangan ferromagnitli diskiga uch fazali cho'lg'am sig'diriladi. f_2 chastotasini o'zgarishida disk ko'rinishida

bajarilgan qisqa tutashgan cho'lg'am aktiv qarshiligi oshadi va aylanish chastotasi rotor cho'lg'ami aktiv qarshiligi va kuchlanishi hisobiga o'zgaradi.

Shunday bajaruvchi motorning afzalligi shundaki–sirpanuvchi kontaktlarning mavjud emasligi va aylanayotgan diskda sovutishning eng yaxshi sharoitidir. Bunday motor ham bir qator kamchiliklarga ega: inersiyaning katta momenti, diskdagi cho'lg'am cho'lg'amidagi texnologik qiyinchiliklar va cho'lg'amning og'ir issiq ishlash rejimi, po'lat diskka o'ralgani, asosan sirpanishdagi yo'qotishlar ajralib chiqishidir. Cho'lg'amli po'lat disk aktiv qarshiligining o'zgarishida undan uch fazali tok oqib o'tadi, u fazaviy rotorli asinxron motorlarni ishga tushirish uchun ishga tushirish rezistorida foydalaniladi.

Motorning chiqarmasida kuchlanishni rostdash, to'yinganreaktorlarni ulash, magnit kuchaytirgichlar, avtotransportlar va kuchlanish tristorli o'zgartirgich yo'li bilan amalga oshiriladi. Oxirgisi hozirga vaqtda eng ko'p ommalashib ketdi.

Tiristorli o'zgartirgich o'z ichiga motor statori cho'lg'amiga birin-ketin kuchlanish kiritadi.(3.72 rasm).

Motorning barcha quvvati o'zgartirgich orqali o'tadi va o'zgartirgichning gabaritlari tiristorlari qo'llanilishiga qaramay motor gabaritlari 1,5-2,5 martaga ko'p bo'aldi.

Rostlagichlar magnit kuchaytirgich sifatida juda kam qo'llaniladi, chunki ular etarli darajada katta gabaritga ega. 3.73. rasmda magnit kuchaytirgichlar qo'llanilgan reversiv sxema ko'rsatilgan. Asinxron bajaruvchi motor ko'prik elkasiga ulangan. MU1 va MU3 to'yingan magnit kuchaytirgichli asinxron motorlar bir tomonga aylanadi.

Yuqori energetik ko'rsatkichlarni ta'minlovchi yagona rusumdagi motorlar 2 mexanik tavsifga ega, qachonki $s_{nom} = 1 \div 4 \%$ bo'ladi. 1 va 2 mexanik tavsif tahlilidan ko'rinib turibdiki, nominal rejimda 2 va ishga tushirishda 2 o'ziga xoslik xususiyatidan iborat bo'lgan mexanik o'ziga xoslik xususan eng ma'qul tavsiya bo'ladi. 1 tavsifdan 2 fazaviy rotorli asinxron motorlarning tavsifiga oshib o'tish nominal rejimdarotor cho'lg'amini qisqartirish va ishga tushirish rejimida rotor cho'lg'amini ulash yo'li bilan erishiladi. Fazaviy rotorli motorlar juda qimmat bo'lib, ular qiyin sharoitlarda elektr-simlarni ishga tushirish uchun ishlab chiqariladi. Qisqa tutashtirilgan rotorli motorlarning maxsus profildagi tirqishni qo'llash hisobiga yaxshilangan ishga tushirish tavsifiga erishiladi bunda tirqishdagi tokni siqib chiqarishda nochiyiq o'zgarish r_2 ro'y beradi.

Mexanik tavsifni aniqlash uchun beso'naqay va sodalashtirilgan hisoblar uchun noqulay(3.89) ifodada ko'rsatilgan. M.Kloss tomonidan mexanik tavsifni ta'riflab berish uchun oddiy formula taklif etilgan.

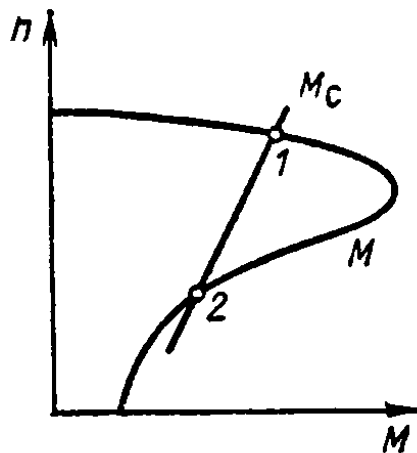
$$\frac{M}{M_{max}} \approx \frac{2}{\frac{s}{s_n} + \frac{s_n}{s}} \quad (3.97)$$

Agar qandaydir ikki rejimda M va s ishlashi ma'lum bo'lsa, Kloss formulasi bo'yicha $M=f(s)$ tavsifi 10-15 % nuqson bilan qurilgan bo'lishi mumkin. Bu ikki rejim nominal rejim va ishga tushirish rejimi ham bo'lishi mumkin, bu haqidagi ma'lumotlar katalogda keltiriladi. Asinxron motorlar va ishlab chiqarish mexanizmini

barqaror ishlashi uchun motor $M(p)$ mexanik tavsiflarning anqlik birikma tavsifi va yuklama $M_s(p)$ zarur. Motor barqaror ishlaydi, qachonki

$$\frac{dM}{dn} < \frac{dM_c}{dn}. \quad (3.98)$$

Bu shartga 3.42 rasmdagi 1 nuqta muvofiq keladi. Tug'yonlantirilgandan keyin sistema o'zining dastlabki holatig qaytadi, motor momentiga M ko'ra aylanish chastotasining M_s tez oshib boradi va sistema 1 nuqtaga qaytib keladi. Kamayganda esadviagetl momentiga ko'ra M_s ham shunchalik tez kamayib boradi va sistema yana 1 nuqtaga qaytib boradi.



3.42-rasm. Motorning barqaror ishlashini aniqlash.

O'zgaruvchan ish rejimida 2 nuqta o'z o'rniga ega, qaysiki

$$\frac{dM}{dn} > \frac{dM_c}{dn}. \quad (3.99)$$

Motorni barqaror ishlashi uchun motorning o'ta yuklanish qobiliyati muhim o'rin tutadi. Tarmoq kuchlanishining tebranishida va yuklanish holatida agar statik barqarorlik zahirasi mavjud bo'lsa o'ta yuklanish qobiliyati bilan belgilanadigan koeffitsient k_m motor ishlashda davom etadi, umumsanoatda qo'llaniladigan motorlarda 1YU7-2.2 ga teng bo'ladi.

Nazorat savollari.

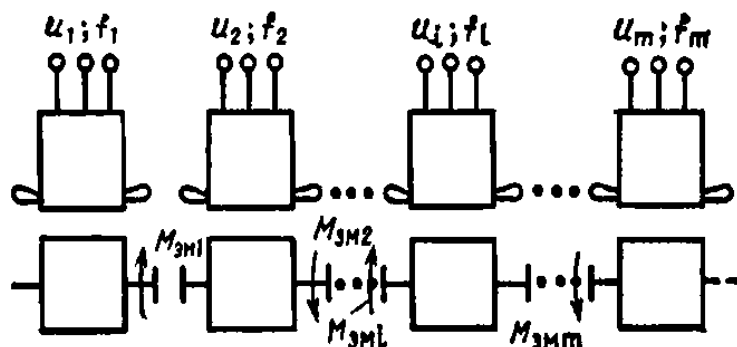
1. Aylanish chastotasini rostdash qaysi parametrlarni o'zgartirish imkonini beradi?
2. Rotorning aktiv qarshiligida o'zgartirish yo'li bilan asinxron motorni aylanish chastotasini rostdashni tushuntirib bering?
3. Motorning barqaror ishlashi qanday aniqlash mumkin?

3.13. Asinxron mashinalar momentiga yuqori garmonik maydon ta'siri

Asinxron mashinalardagi tor tirqishda cheksiz garmonik maydon spektori mavjud bo'ladi. Tor tirqishdagi yuqori garmonikni vaqtinchalik va fazoviyga bo'lish mumkin. Oziqlanayotgan quvvatning nosimmetrik va nosinusoidaligi tufayli asosan mashinadagi oraliqda vaqtinchalik garmonik paydo bo'ladi. Nochiziq parametrlar, rotor va statorda tishlarning mavjudligi, MYUKning nosinusoidal taqsimlanishi va boshqa texnologik ta'sirlar tufayli fazoviy garmonika paydo bo'ladi. Asinxron

mashinalar oralig'ida garchi cheksiz garmonika miqdori bo'lsada, momentga ta'sir uncha ko'p bo'lmagan garmoniklar miqdori ta'sir qiladi, shunday qilib, ko'pchilikni miqdorni tashkil qilgan garmonik cheksiz kichik tebranishga ega bo'ladi (1.13§ga qarang).

Tor tirqishdagi garmonika bilan asinxron mashinalarning modeli 3.43.rasmda taqdim etilgan. Rotor va statordagi garmonikaga mos keluvchi tokni ishlab chiqarilishi bilan aniqlanuvchi har bir garmonika maydonini moment hosil qiladi. Momentlarning yo'nalishi mos keladigan garmonika aylanish maydoni yo'nalishidan bog'liq bo'ladi. Umumiy elektrmagnitli moment har bir garmonik maydon yig'indisi bilan aniqlanadi.



3.43-rasm. Momentni hosil qilish savoliga

$$M_{EM} = M_{EM1} + M_{EM2} + \dots + M_{EMi} + \dots + M_{EMm} \quad (3.100)$$

i -li garmonika momenti rotor va statordagi i -li garmonik bilan aniqlanadi:

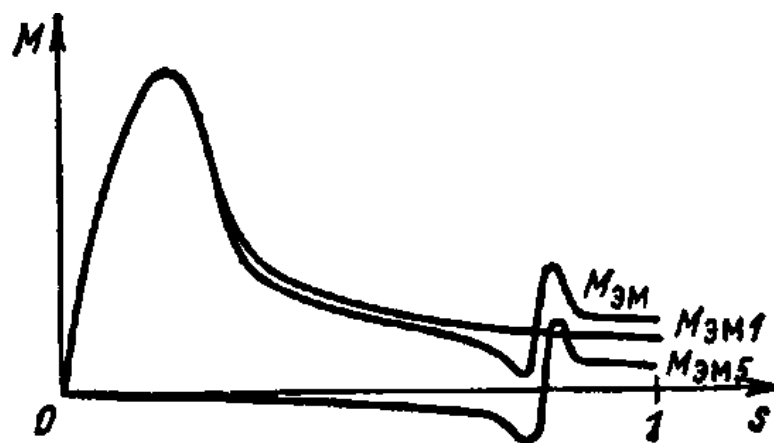
$$M_{EMi} = \frac{m}{2} M_i (i_{\beta i}^s i_{\alpha i}^r - i_{\alpha i}^s i_{\beta i}^r). \quad (3.101)$$

M_i -bu yerdai-li garmonik uchun o'zaro induktivlikni bildiradi.

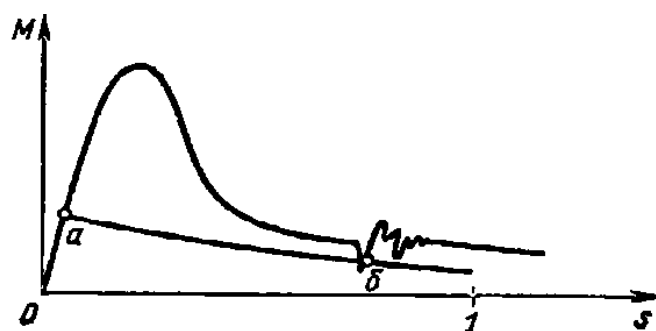
i -li garmonika fazalari miqdori birinchi garmonika miqdori teng asosiy garmoniklar 1-chi aylanish chastotasida i barta kam, fazoviy garmoniklar uchun i -li garmonikaning aylanish chastotasi 1-chi garmonikaga nisbatan qutblarning soni i barta ko'p (1.14§ga qarang). Shuning uchun uchinchi garmonika uchun sinxronli aylanish chastotasida 1-chi garmonika aylanish chastotasida 3 marta kam, 5-chi uchun – 5 marta, 7-uchun- 7 marta va boshqalar.

Motor rotorini yurishi uchun ishga tushirishda yuqori fazoviy garmonik aylanish sinxronli chastotadan o'ta boshlaydi. (3.44. rasm) shu bilan bir qatorda natijalovchi egri moment asosiy egri momentni M_{em1} yotqazish natijasida buziladi.

$f = 50$ Gs va $r=1n_{c1}=3000$ ob/min, 5-garmonika uchun $n_c=600$ ob/min, 7- $n_c \approx 429$ ob/min va boshqalar. Natijalovchi egri momentning (3.44.rasm) $s=1$ nuqtaga yaqini buzib ko'rsatilgan va o'pirilishlarga ega. Mashinalarni loyihalashda o'ta kam buzilgan tegishli egrilikni ta'minlash $M=f(s)$.egri momentdagi o'pirishlar katta tebranishga ega bo'lgan yuqori garmonikalardan biri sinxronli aylanish chastotasi yaqinida motor rotorini haydashda “qadalib qolishi”iga olib keladi.



3.44-rasm. Natijalovchi momentga 5-garmonika ta'siri.



3.45-rasm. Nominal aylanish chastotasida motorni haydashda $M=f(s)$. tavsifga o'pirilishlar ta'siri.

Agar M_s egri qarshilik momenti egri natijalovchi egri moment yaqinidan kesishib o'tsa $s=1$ (b nuqta), nominal aylanish chastotasiga yetib bormasdan motor oraliqdagi aylana chastotasida barqaror ishlaydi (3.45 rasmdagi a nuqta). Odatda bu rejim juda ham keragi yo'q hisoblanadi, chunki 1-garmonika bo'yicha katta sirpanish hosil bo'lishi R_{e2} rotorda katta yo'qotishlar sabab bo'ladi.

Egri momentlarda o'pirilishlarni kamaytirish uchun tor tirqishda yuqori garmonik maydon tebranishsini kamaytirish zarur. Buning uchun yaqin sinusoidda MYUKni bajarib taqsimlashga intilish zarur, yuqori garmonik maydonida tebranishni kamaytirish uchun barcha choralarni ko'rish kerak, zarur o'yiqchalarni ochishni tanlash va o'yiqchada nishablik hosil qilish, stator va rotorda tishlar sonining ma'lum bir nisbatini tanlash (1.11§ ga qarang). Ideal mashinaning egri momenti eng yaxshi moment hisoblanadi va bunga asinxron mashinalarni loyihalashtirish vaqtida harakat qilinadi.

Asinxron mashinalar rotorga ta'sir qiluvchi yuqori garmonik momentlari qo'shimcha deb aytiladi. Ularni asinxron, sinxron, gisterezis va reaktiv bo'lishi mumkin. Bundan tashqari momentlarda vibratsiyali radial kuchlar chaqirgan momentlar kelib chiqadi. Yuqori garmonik *asinxron momentlari* o'zining ta'sir qilishi bo'yicha asosiy garmonik moment bilan o'xshash bo'lsada, biroq kam tebranishga va kam sinxron tezlikka ega. Yuqori garmonika toki tomonidan hosil qilingan rotor va statorning maydoni bir-biriga nisbatan qo'zg'almasdir. Rotor aylanishining mexanik

chastotasi barcha garmoniklar uchun bir xil, yagona bo'lib, shuning sababli v -garmonika uchun sirpanish

$$S_v = \frac{\omega_{cv} - \omega_r}{\omega_{cv}}, \quad (3.102)$$

ga teng, bu yerda: ω_{sv} - v -garmonika uchun burchakli sinxron tezlik.

Mashinalar tavsifiga qo'shimcha momentlarni ta'sirini aniqlashda tizimdagi tenglama xilini (3.3),(3.4.) har bir v -garmonika uchun o'rin almashishi sxemasi bo'yicha soddalashtirilgan xilda yoki bir nechta garmonikani EXMda echish bilan bog'liq bo'ladi. v -garmonika uchun o'rin almashish sxemasi birinchisidagi kabi ko'rinishga ega, ammo 1-garmonika uchun parametrlarni aniqlash zarur bo'ladi.

Agar v -garmonika elektrmagnit quvvati aniq bo'lsa v -garmonika momentini topish mumkin:

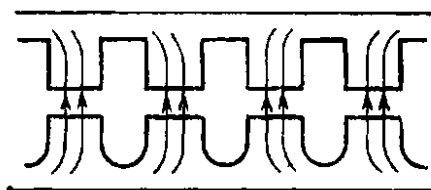
$$M_v = \frac{P_{E2v}}{\omega_{cv}} = \frac{P_{E2v}}{s_v \omega_{cv}}, \quad (3.103)$$

R_{emv} - v -garmonikaning elektrmagnitli quvvati; R_{e2v} - v -garmonikadan rotorda elektrli isroflar.

Xuddi shunday 1-garmonikada elektrmagnitli momentlarni aniqlash (3.76), $M_v = r R_{emv} / \omega_{cv}$, bunda $\omega_{cv} = 2\pi f_1$ yoki M_v bo'yicha (3.103) bunda $\omega_{cv} = 2\pi f_1 / r_v$.

Qisqa tutashgan rotorli asinxron mashinalar qo'shimcha asinxron momentlar muhim rol o'ynaydi, chunki ularda yuqori garmonik toklar uchun konturlar hosil bo'ladi. Fazaviy rotorli mashinalarda asinxron qo'shimcha momentlar jiddiy ravishda kam bo'ladi, chunki ularda yuqori garmonik tok tutashishi hosil bo'lishi mumkin bo'lgan konturlar deyarli bo'lmaydi.

Asinxron mashinalarda qachonki yuqori garmonikdan birtasida aylanish chastotasi rotor aylanish chastotasiga, karraligiga mos kelsa sinxron momentlar paydo bo'ladi. Rotorni ishga tushirish vaqtida yuqori garmonik sinxron tezligi o'tadi va agar sinxron moment etarli darajada ulkan bo'lsa "qadalib qolishi" ham mumkin. (3.45.rasm).



3.46-rasm. Asinxron motor va sinxron reaktiv momentlarning vujudga kelishi.

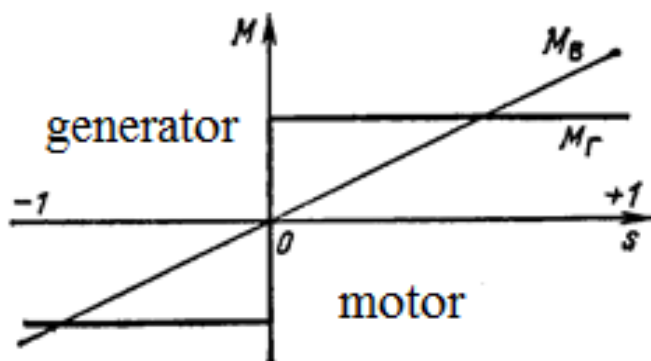
Sinxron moment rotor aylanishi chastotasi tor maydonidagi egri momentlarda chuqur o'pirilishlarni vujudga keltiradi. Ammo rotorda yig'ilgan kinetik energiya hisobiga qadalib qolish kuzatilmaydi.

O'ta noqulay sharoitlarda tishli garmonik rotor va statordan sinxron momentlar $z_1 = z_2$ $z_2 = z_1 = \pm 2p$. $z_1 = z_2$ holatida o'sha bir tomonga garmonik aylanayotgan chastotalar mos keladi, ikkinchi holatda esa qarama qarshi tomonga aylanayotgan garmonik chastotalar to'g'ri keladi. $z_1 = z_2$ da garmonik chastota aylanishini bir-biriga mos kelishi qo'zg'almas rotorda ma'lum bir o'ringa ega bo'lishi mumkin, agar

qarshilik momenti ulkan bo'lib, asosiy moment uncha katta bo'lmasa, motorni haydab bo'lmaydi.

Rotor va statorda tishlarning mavjudligini shartlanganligida turli xil magnitli o'tishlar tufayli reaktiv momentlar kelib chiqadi. Magnit maydonidagi ferromagnitli jism ancha kam magnit qarshiligiga mos keluvchi holatni egallashga harakat qiladi. Eng ko'p reaktiv momentlar $z_1=z_2$ da o'ringa ega.(3.46 rasm). Rotor yoki statorda faqatgina cho'lg'am mavjud bo'lganda reaktiv moment kelib chiqishi mumkin. Silliqlik rotor yoki statorda qachonki garmonik tishli qutbli bo'linishi τ_v rotorning tishli bo'linishiga $t_{z2}=2\pi R/z_2$ to'g'ri kelsagina reaktiv moment kelib chiqishi mumkin. Reaktiv momentlar zararli ta'sir qilishi mumkin, ammo ijobiy texnik effektlarni olish uchun foydalanishi mumkin.

Asinxron mashinalarda ko'rib chiqilgan momentlardan tashqari gisterezisli va uyurmalangan tokdan momentlar kelib chiqishi mumkin. Shuni alohida qayd etish mumkinki, rotorda isroflar kelib chiqishi momentlarning vujudga kelishiga bog'liq. Po'latdagi isroflar ham momentni hosil qiladi. Po'latdagi isroflar ikkiga ya'ni magnitsizlantirish gisterezis va uyurmalangan toklarga bo'linadi. Rotorda po'latdagi isroflar xuddi asosiydagi kabi shunday yuqori garmonikda ham yaratiladi. Yuqori garmonik tebranishi uncha katta bo'lmasligiga qaramasdan, asosiy garmonikdan nominal rejimdagi isroflar bilan o'lchanadigan, rotor



3.47-rasm. Uyurmalangan tok va gisterezis momenti.

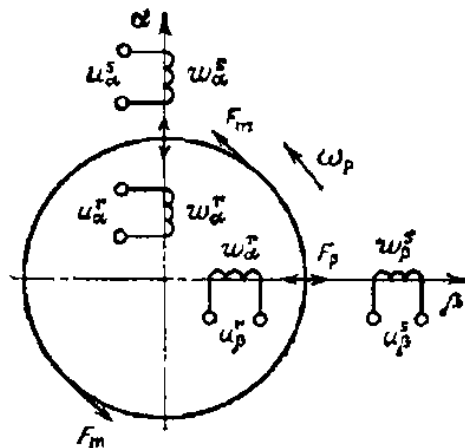
po'latida isrofni hosil qilishi mumkin rotor po'latida yuqori chastotasi hisobiga isrofni keltirib chiqarishi mumkin. 1-2 Gs rotor chastotadagi uncha katta bo'lmagan sirpanishda va bir xil rusumdagi motorda FIKni hisoblashda rotorda po'latni isrofi ehtiyot qilinmaydi[8].

M_g gisterezisli moment sirpanishga bog'liq bo'ladi, bu 3.47 rasmda ko'rsatilgan. U yerda uyurmalangan toklarning M_v sirpanishga bog'liqligi ko'rsatilgan. Uyurmalangan toklar momenti 3.12.§da ko'rsatilgan. Gisterezisli moment sinxronli aylanish chastotasi orqali o'tishda belgini o'zgartiradi, keyin esa sirpanishga bog'liq bo'lmaydi. Yagona rusumdagi asinxron mashinalarda gisterezisli momentlar mashinaning ishlashiga hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi.

Maxsus magnitli materiallarni qo'llagan holda mikromotorlarda gisterezisli momentlarni ko'proq olish mumkin. Gistorezisli motorlar 4.23.§ da ko'rib chiqilgan.

Elektrli mashinalarni yaratgan holda qoida bo'yicha asinxron mashinalardagi tor tirqishda yuqori garmonik maydon tebranishsini kamaytirishga harakat qilinadi, yoki teskarisi 1-garmonikda momentni kamaytirgan holda yuqori fazoviy

garmonikning biri uchun qulay sharoit yaratadi. Mexanik reduktorni qo'llamagan holda ko'pincha yurituvchi mexanizmlar elektr yuritmalarda past aylanish chastotasiga ega bo'lishi zarur bo'ladi. Bu bilan birta fazoviy garmonik makonda ishlovchi ko'p qutbli va rotorli motorlarni ta'minlash mumkin. 5-va 7- garmonika uchun qulay sharoit yaratish va va stator va rotorda o'yiqlar soniga aniqlangan nisbatini tanlash yo'li bilan eng ko'p tebranishga ega bo'lganini birini asosiy qilib belgilash. Buning uchun 1-garmonikadan



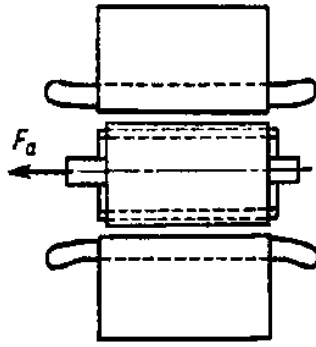
3.48-rasm. Elektr mashinalarda tangensial va radial kuchlarni aniqlash.

moment cho'lg'am qadamini qisqarishi hisobiga kamayadi, yuqori garmonika tebranishsi esa sun'iy ravishda ko'payadi. Masalan, agar cho'lg'am qadami $y \approx 0,1\tau$ yoki $y \approx 2\tau$, bo'lsa 1-garmonika EYUKi bunday qisqarishda nolga tenglashishga harakat qiladi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan aylanayotgan momentlar rotor atrofidagi ta'sir qiluvchi urinma bo'ylama tangensial kuchlar F_t yordamida hosil qilinadi. Mashinada tangensial kuchlar bilan bir qatorda rotor radiusi bo'yida ta'sir qiluvchi va og'irlikni hosil qiluvchi radial kuchlar F_r ham bor.(3.48 rasm) asinxron mashinalar modeliga murojaat qilgan holda shuni alohida ta'kidlash mumkinki, tangensial toklar rotor va stator cho'lg'amining turli o'qlaridan oqib o'tuvchi ishlab chiqarish toklaridan hosil qilinadi ($i^s \beta i^r \alpha$ va $i^s \alpha i^r \beta$) radial kuchlar bo'lsa bir o'qda ($i^s \alpha i^r \alpha$ va $i^s \beta i^r \beta$) joylashgan, cho'lg'amga tegishli bo'lgan rotor va statorda ishlab chiqarish toklari orqali hosil qilinadi.

Tor tirqish bir tekis bo'lgan ideal mashinada radial kuchlar natijalovchi aylanadigan momentga ta'sir ko'rsatmaydi chunki bir o'q bo'ylab $i^s \alpha i^r \alpha - i^s \beta i^r \beta$ rotor va statorda tok ishlab chiqarish bir-biriga teng og'irlikni hosil qiladi. Podshipnik lYuftida va bir tekis bo'lmagan oraliq ea bo'lgan haqiqiy mashinada radial kuchlar shovqin va tebranishni hosil qiladi.

Tirqishning nishabligida rotor va statorning aksial yo'nalishdagi mashina o'qi bo'ylab yo'nalgan nosimmetrik joylashuvida og'irlik tyajeniya hosil bo'ladi.(3.49.rasm) Bu kuchlar statorga nisbatan rotni simmetrik holatga etkazib berishga intiladi.



3.40-rasm. Aksial kuchlarning paydo bo'lishi

F_a aksial kuchlar podshipnikka ta'sir ko'rsatadi va shovqin va tebranishning manbasi bo'ladi. Rusumli mashinalarning rotor va statoridagi uncha katta bo'lmagan o'qsizlik rolikli podshipnikni qo'llash yo'li yoki sharikli podshipniklarni biriga erkin berkitish imkonini bermaydi.

Maxsus mashinalarga rotorni qaytar ilgarilanma harakatini olish uchun shuningdek vibuzatmalarda va boshqa mexanizmlarda generatsiya tebranishida mashinada mavjud bo'lgan aksial va radial kuchlardan foydalaniladi.

Elektrmagnitli momentlar rotor va statorga qo'yilgan, shunday qilib tor tirqishda energiyaning elektrmexanik o'zgarishi hosil bo'ladi. Agar stator va rotorni aylanishiga imkon berilsa ular qarama-qarshi yo'nalishga joyini o'zgartiradi.

1- Garmonika bilan bir qatorda yuqori garmonika maydoni aksial yo'nalishdagi va radial kuchlarga, momentlarga ta'sir qiladi. Ana shu murakkab o'zaro bog'liqlikni o'rganish mazkur kurs doirasidan ham chetga chiqib ketadi.

Haqiqiy mashinalarda yuqori garmonikadan voz kechib bo'lmaydi, faqatgina ularning tebranishsini kamaytirish mumkin. Qoida bo'yicha elektr mashinalarda energiyaning o'zgartirish jarayonini yuqori garmonika ta'sir etishini hisobga olish murakkab tenglamalarga bog'liq bo'lib, ularni EXM yordamida echish mumkin.

Nazorat savollari.

1. Aylanma momentga maydon garmonikasini ta'siri qanday?
2. Elektr mashinalarda tangensial va radial kuchlarni aniqlash diagrammasini tushuntiring?
3. Aksial kuchlarning paydo bo'lishi sabablarini ko'rsating?

3.14. Asinxron mashinalar momentiga uyurmаланgan toklarning ta'siri.

Stator cho'lg'amidan o'tuvchi toklar yordamida asinxron mashinalarda aylanayotgan maydon hosil qilinadi.

Aylanayotgan maydon rotor cho'lg'ami va rotor va statorning barcha qo'shimcha konturlarida uyurmаланgan deb ataladigan tokni yurg'izadi. Uyurmаланgan toklar elektrmagnit momentini yaratishda ishtirok etadi, chunki ishchi toki uchun bo'lgani kabi stator va rotordagi chastotalari ham o'sha holatda bo'ladi, rotordagi uyurmаланgan tok maydoni va asosiy cho'lg'am bir-biriga nisbatan qo'zg'almaydigan bo'ladi. Uyurmаланgan toklar bir-birini yo'naltiradi. Xuddi shunday uyurmаланgan toklar tor tirqishdagi yuqori garmonik maydonni ham

yo'naltiradi. Uyurmalangan toklar konturlarda, rotor va stator magnit o'tkazgichli po'lat to'shamalarda, stator va rotor (magnit o'tkazgich paketlarini qotirish) va bosib o'rnatish, silliqlash natijasida tutashuv hosil qiladi.

Shunday qilib, oddiy asinxron mashinalarni stator va rotorida bir nechta konturlarga ega bo'lgan ko'p cho'lg'amli sifatida qarash kerak bo'ladi.

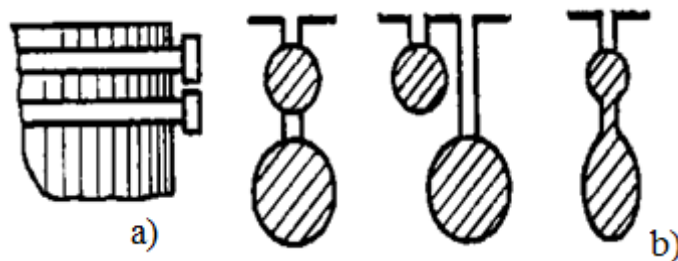
Dinamik rejimni va keng diatirqishondagi mashinalarni ishlash rejimida muayyan sirpanishning o'zgarishini hisoblashda shuningdek yuqori chastotali motorlar uchun uyurmalangan tok ta'sirini hisoblash zarur bo'ladi.

Belgilanishicha, konturlarning turli tumanligidan uyurmalangan rotorli tok katta miqdorda aylanayotgan momentga rotor po'lati va sterjen katakchalarida hosil bo'lgan konturlar orqali ta'sir qiladi.

Mashina konturlaridan oqib o'tuvchi ko'pgina toklarning o'zaro bog'liqligini ko'rib chiqish uchun ko'pcho'lg'amli elektr mashinalarda energiyani elektrmexanik o'zgartirish jarayonlarini qayd qilib boruvchi matematik modulga ega bo'lish zarur.

Elektr mashinalar nazariyasida ko'pcho'lg'amli mashinalarni baravarlashtirish juda muhit o'rin tutadi, chunki ko'pgina mashinalar bir nechta cho'lg'amga ega bo'ladi (sinxron mashinalar, o'zgaras tokli mashinalar). Asinxron mashinalar ham xuddi shunday bir nechta cho'lg'amga ega, masalan ikki qavatli olmaxon katakli motorlar (3.50 rasm). Ko'p cho'lg'amli mashinalarda jarayonlarni matematik qayd qilishda mashinaning yaxlit qismlarida tokni taqsimlanishini tahlil qilish uchun, cho'lg'amning parallel cho'lg'amlari va boshqalarda qo'llash mumkin.

Ko'p cho'lg'amli asinxron mashinalar-ning matematik modeli energiyani umumlashtirilgan elektrmexanik o'zgartiruvchi hisoblanadi- m, n - cho'lg'amli ikki fazali mashina (1.88 rasmga qarang). Bu mashina statorida m cho'lg'am, rotordagi esa n cho'lg'am.

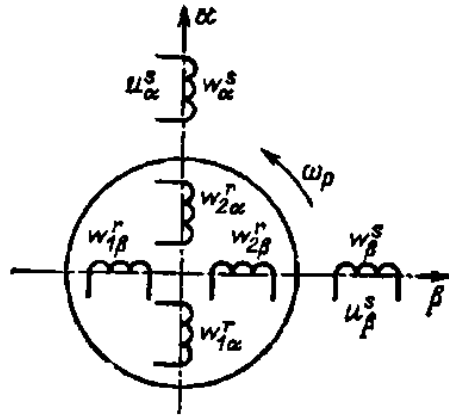


3.50-rasm. Ikki qavatli olmaxon katakli motor rotori (a), bo'lishi mumkin bo'lgan cho'lg'amni bajarish va tirqishlar shakli.

Ikki fazalik mashinani ko'rib chiqamiz, ikki fazali mashinada uch fazali mashinaga ko'ra kuchlanishni tenglamasi kam bo'ladi, negaki uch fazali simmetrik mashinalar osonlikcha ikki fazalikka olib kelish mumkin. (1.11.§ ga qarang). Cho'lg'amli mashinalarda m, n -tenglamasi [7] batafsil ko'rib chiqiladi. Bu yerda eng oddiy ko'p cho'lg'amli mashinalarda tenglamani –statorida birta cho'lg'amli asinxron mashina ko'rib chiqamiz va rotorda ikki cho'lg'amli $\omega_{2\alpha}^r$ va $\omega_{2\beta}^r$ (3.51 rasm). bu model rotordagi uyurlangan tokning mashina tavsifiga ta'sirini hisobga olish imkonini beradi. Rotorning uyurlangan toki konturlari n , rotorda tokni taqsimlanishini soddalashtirgan holda ko'rsatib, bir ekvivalentli cho'lg'amga olib kelish mumkin.

Albatta bu juda katta soddalashtirishdir, ammo ekvivalentli cho'lg'am parametrlarini noxiziq bog'liqligida sirpanishda bunday farazni tajribadahisoblash bilan katta farqga olib kelmaydi.

Statorda bir cho'lg'am bilan va ikki rotorda mashinalar tenglamasini matrik shaklda tasavvur qilish mumkin: (bu rasm oldingi varaqda keltirilgan)



3.51-rasm. Rotordagi ikki va statorda bir cho'lg'am bo'lgan mashina moduli.

$$M_{EM} = M_{11}(i_{1\beta}^s i_{1\alpha}^r - i_{1\alpha}^s i_{1\beta}^r) + M_{12}(i_{1\beta}^s i_{2\alpha}^r - i_{1\alpha}^s i_{2\beta}^r). \quad (3.105)$$

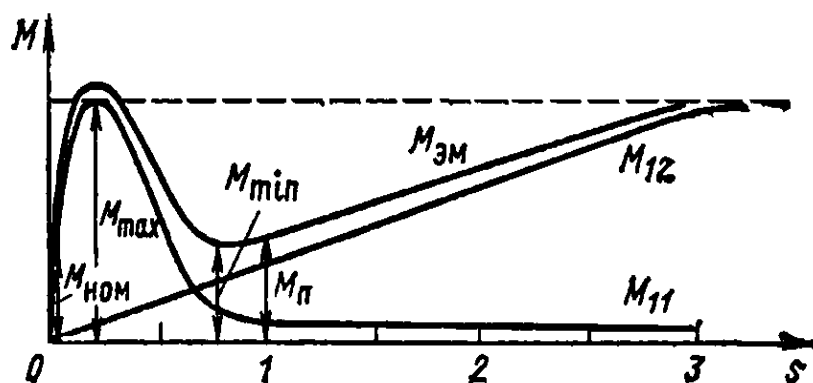
Elektr magnit momenti ikki tashkil etuvchidan iborat: $M_{em}=M_{11}+M_{12}$, bu yerda M_{11} - rotorning birinchi cho'lg'amida va stator cho'lg'ami tokini ishlab chiqarishdagi moment, M_{12} bo'lsa rotorning ikkinchi cho'lg'ami va stator cho'lg'ami tokidagi moment.

(3.104) va(3.105) tenglama sistemasi uch cho'lg'amli asinxron mashinalardagi jarayonlarni o'tish va belgilangan rejimlarida tavsiflab boradi. Muayyan rejimdagi $d/dt \rightarrow j\omega$ ni almashtirib(3.104)dan tenglama olinadi.

3.52 rasmda rotori ikki cho'lg'amli asinxron mashinalarga natijalovchi mexanik tavsif taqdim etilgan. Uyurlangan ekvivalentli tok bilan rotor cho'lg'amidagi qarshilik katta bo'ladi va uning kritik sirpanishi katta sirpanish maydonida yotadi, birinchi ishchi cho'lg'amdagi aktiv qarshilik esa uncha katta bo'lmaydi.

Shunga e'tibor qaratish lozimki, mexanik tavsifkam ishga tushirish momentiga M_{min} ega bo'lgan minimal momentga ega. M_{min} ning mavjudligi yuqori garmonik va uYurmalangan tok ta'siri bilan tushuntiriladi, bu yerda uYurmalangan tok ta'sirida aniqllovchi hisoblanadi. 183-74 GOSTga muvofiq $M_{min}=0,8 M_n$.

Minimal qarshilikdagi mexanik tavsif M_{11} va so'nggi qarshilikni mexanik tavsifi M_{12} (3.52 rasm) barcha mumkin bo'lgan mexanik tavsiflarni cheklaydi, balki cho'lg'amlar miqdori o'zgarishida olingan bo'lishi mumkin,ularning aktiv va induktiv qarshiligi noxiziq qonun bo'yicha o'zgaradi.



3.52-rasm. Uyurlangan toklarni mexanik tavsifga ta'siri.

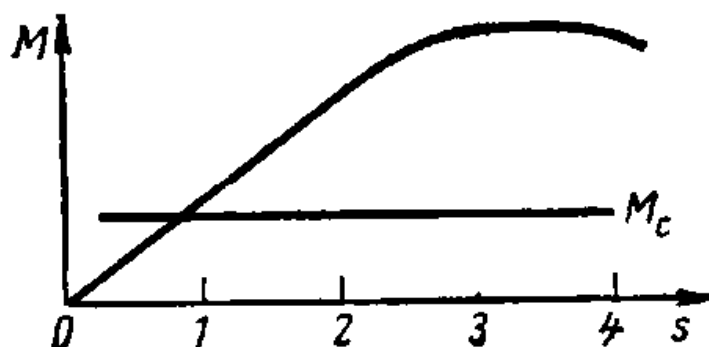
Mexanik tavsiflarning nazariy diatirqishoni $M=f(s)$ $r_2 \approx 0$ va $r_2 \approx \infty$ maydonini egallaydi. Ana shu shartlarga K.I.SHefer rotor yaqinlashadi, yaxlit po'lat silindr zahira qilib qo'yilgan tirqishalardan iborat bo'ladi, unda qisqa tutashgan misli cho'lg'am yotadi.

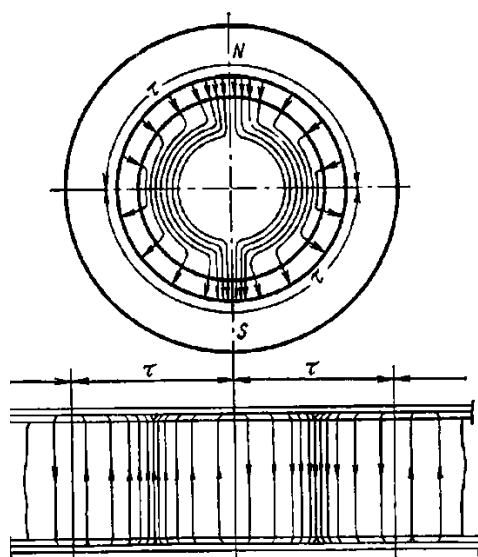
(3.104) va (3.105) tenglamasi uyurlangan tokni hisobga olmagan holda ikki katakli motor tenglamasi hisoblanadi. Ikki katakli motor rotoridagi uyurlangan tokni hisobga olish uchun shartli ravishda rotorni uchinchi cho'lg'amgakiritish mumkin. Ikki qavatli olmaxon katakli motorlar yaxshilangan ishga tushirish tavsifiga ega.

(3.104) va (3.105) tenglamasi raqamli EXM modeliga asosan tayyorlanadi. Hisoblash mashinalari cho'lg'am parametrlarini optimallashtirish va statik va dinamik tavsiflarining xoxlagan ko'rinishini olish imkonini beradi.

Shixtalangan rotorli va qisqa tutashgan cho'lg'amli motorlar 5000-6000 ob/min aylanish chastotasigacha tayyorlanadi. Yuqori chastotadagi aylanishda rotorning mexanik pishiqligini ta'minlash uchun yuqori tezlikdagi asinxron motorlarning rotorlari tirqishlarsiz, po'latdan tayyorlanadi, val va magnit o'tkazgich ham birga tayyorlanadi. Bunday motorlar yaxlit rotorli asinxron motor degan nomga ega bo'lgan. Yaxlit rotorli asinxron motorlar maxsus holatlarda qo'llaniladi, shunday ekan ular past energetik ko'rsatkichlarga ega va bu juda sermashaqqat ishdur.

Yaxlit rotordagi toklar po'lat bo'yicha tutashadi va alyumin yoki misdan tayyorlangan qisqa tutashgan cho'lg'amli motordagiga nisbatan aktiv qarshilik r_2 ko'p bo'ladi. yaxlit rotorli motorlardagi $s_k \approx r_2/x_k$ kritik sirpanish $s_k \approx 3 \div 4$ maydonida yotadi va 3.53 rasm. Mexanik tavsif ko'rinishida bo'ladi.





3.54-rasm. Yaxlit rotor qatlami yuzasidan uyurlangan tokni taqsimlanishi va magnit oqimi yo'lini soddalashgan sxemasi.

Umumiy ahamiyatdagi motorlarga nisbatan yaxlit rotorli motorlarda nominal sirpanish sezilarli darajada ko'p bo'ladi. Yaxlit rotorli motorlarda FIK va $\cos\varphi$ pastligi ularni qo'llashni cheklab qo'yadi.

Soddalashgan magnit oqimi yo'lining sxemasi va tokni yaxlit rotor qatlami yuzasidan taqsimlanishi 3.54 rasmda ko'rsatilgan. Yaxlit rotordagi tok va magnit oqimi po'lat bo'yicha tutashadi, cho'lg'am va magnit o'tkazgich birlashtirilgan. Tok chastotalari va sirpanishni o'zgarishida rotorda toklarni qayta taqsimlanishi sodir bo'ladi va tokning ko'p qismi yuklama va sirpanish oshishi bilan rotor yuzasiga surib chiqaradi.

Kuchli yuzaki effekt tufayli uyurlangan tok nisbatan yupqa qatlamda oqib o'tadi. Ekvivalent chuqurlikning singishi rotordagi tok chastotasiga hamda ferromagnit material xususiyatiga hambog'liq bo'ladi:

μ_r -magnitli nisbiy o'tkazuvchanlik va ρ solishtirma elektr qarshilik. Shuni ta'kidlash lozimki, ferromagnitli materiallarni tanlash yo'li bilan keng chegarada rotorning noxiziq parametrlarini o'zgarishini olishning imkoni bo'lmaydi.

St3 markadagi po'latdan tayyorlangan ferromagnitli rotorda, $s=1$ va $f=50$ Gs da singish chuqurligi 1-3 mm bo'ladi. Nominal sirpanishda $s=0,05 \div 0,1$ singish chuqurligi 5-15 mm bo'ladi. birinchi yaqinlashuvda hisoblash mumkinki, singish chuqurligi $\sqrt{s}$ teskari proporsionaldir.

Shunga o'xshashbuchuqur tirqishli asinxron motorlarda o'ringa ega bo'lgan, ishga tushirishda yaxlit rotorning aktiv qarshiligi ko'pdir, induktiv qarshilik tarqalishi esa ko'p bo'lmaydi. Sirpanish kamayishi bilan rotordagi aktiv qarshilik kamayadi, induktiv qarshilik tarqalishi esa ko'payadi.

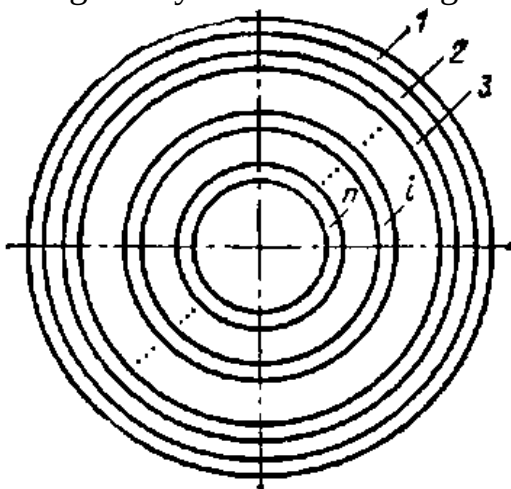
Yaxlit rotorli motorda energetik tavsifni yaxshilash uchun mis bilan qoplangan rotorni qo'llashadi.

Mis qoplanishi hisobiga aktiv qarshilikni kamaytirish nominal sirpanishni kamaytiradi va FIKni oshishiga olib keladi. Ba'zida yaxlit rotorda tirqishalar

frezerlanadi va misli katakcha tayyorlanadi. Bunday rotor K.I.SHenfer tomonidan tavsiya etilgan va uni nomi bilan ataladi.

Ferromagnitli rotorga ega motorda inersiyani momentini kamaytirish uchun stakan ko'rinishida uni bajarish mumkin, bunda ish rejimida uning devorchasi qalinligi singish chuqurligiga teng. Biroq past energetik ko'rsatkichlar va statorga magnitli tortish sababli bunday motorlar keng qo'llanilmay qoldi.

Yaxlit rotorli asinxron motorlar nazariyasi o'shanday pozitsiyada bayon etilgan, umumiy ahamiyatdagi asinxron mashinalar uchun ham xuddiy shunday bo'ladi. Yaxlit rotorni bir qator qatlamlarga bo'lish mumkin va uni n kovak silindrdan iborat bo'lganini ko'rishimiz mumkin (3.55.rasm). Bunda yaxlit rotorli motorning matematik modeli ko'pcho'lg'amli mashinalar modeli bo'ladi m , n – cho'lg'amli bilan (1.86.rasmga qarang). Uni soddalashtirgan holda bir cho'lg'amli rotor va bir cho'lg'amli statordagi oddiy mashina modeliga kelish mumkin.



3.55-rasm. n qatlamidan iborat bo'lgan yaxlit rotor.

Umumiy ahamiyatdagi mashinadan farqli o'laroq rotor cho'lg'amidagi qarshilik sirpanishdagi o'zgarishda noxiziq qonun bo'yicha katta darajada o'zgaradi. Asosiy qiyinchilik shundan iboratki yaxlit rotordagi aktiv va reaktiv qarshilikda noxiziqbog'liqlikni aniqlash hisoblanadi. Yaxlit rotorli motor nazariyasi maxsus kurslarda to'liq ko'rib chiqiladi.

Nazorat savollari.

1. Yaxlit rotor qatlami yuzasidan uyurlangan tokni taqsimlanishi va magnit oqimi yo'lini soddalashtirgan sxemasini tushuntiring?
2. Uyurlangan toklarni mexanik tavsifga ta'siri izohlang?
3. Rotordagi ikki va statorda bir cho'lg'am bo'lgan mashina moduli tushuntiring?

3.15. Statik rejimlarda noxiziq parametrlarni hisoblash.

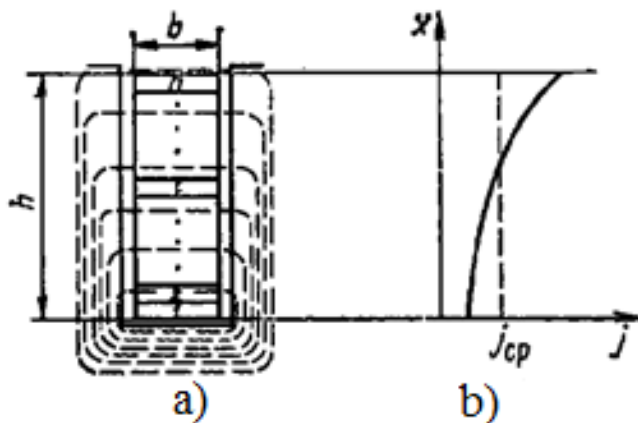
Energiyani elektrmexanik qayta o'zgartirish tenglamasiga (1.110) va (1.115) beshta parametrlari kiradi (r_1 , r_2 , L , L_2 , M) va inersiya momenti I . Statik rejimda qachonki $\omega\omega_r = \text{const}$, inersiya momenti I , harakat tenglamasiga kiradi, energiyani qayta o'zgarish jarayoniga ta'sir qilmaydi, demak bunda $I \frac{d\omega_r}{dt} = 0$ teng bo'ladi.

Shuning uchun belgilangan rejimlarda asinxron mashina ishlashi induktiv va aktiv qarshilikni o'zgarishiga ta'sir qilishi mumkin.

Haroratning o'zgarishi va tokni siqib chiqarilishi hisobiga aktiv qarshilik o'zgarishi mumkin. r_1 , r_2 ni o'zgarishi harorat o'zgarishi sabablidir, qoida bo'yicha u sekin o'zgarib, odatda hisoblanmaydi. 183-74 GOST bo'yicha oldin mashinani belgilangan haroratga olib kelish kerak, uni ishlashiga 1 soat vaqt berib, keyin tavsifini echib olish mumkin. Statorning cho'lg'ami uzatmalarida uncha katta bo'lmagan 50 Gs chastotadagi tokni siqib chiqarish, ishga tushirishda esa rotor cho'lg'ami qarshiligini o'zgarishida motorni haydash jarayonida sezilarli ta'sir ko'rsatadi va istalgan ko'rinishdagi mexanik tavsifni olish uchun foydalaniladi.

Odatda motorni ishga tushirish jarayoni o'tish jarayoniga tegishli bo'ladi va 3.14§.da ko'rib chiqiladi, turli sirpanishlarda tokni siqib chiqarilishini bu yerda ko'rib chiqamiz.

Rotor chastotasi sirpanishini o'zgarishida $f_2=f_1s$ kenglik chegarasi almashadi. Negaki rotor cho'lg'amidagi qisqa tutashgan sterjen po'lat bilan qoplangan, rotordagi tok tor tirqishda siqilib chiqadi.



3.56 -rasm da chuqur tirqishli motor tirqishasida tokni siqilib chiqishi ko'rsatilgan.

Tirqishda tokni taqsimlanishini topish uchun (3.56 rasm,a) n qatlamda balandlik bo'yicha sterjenni ajratamiz. Sterjen qatlamidagi induktiv qarshilik turlichadir, negaki tirqishdagi sochilish oqimi F_{on} tirqish balandligi bo'yicha notekis taqsimlanadi va tirqish ostida yotgan induktiv qarshilik qatlami oraliqqa yaqin joylashgan induktiv qarshilik qatlamiga ko'ra ko'p bo'ladi:

$x_{1on} > x_{non}$. Shuning uchun po'latning magnitli singuvchanligi ∞ ga teng deb hisoblanadi. Tok qatlamlarining turlichaligi sababli tok qalinligi i balandligi bo'yicha notekis taqsimlanadi (3.56 rasm,b). Bu rasmda i_{sr} – tok qalinligini $s=0$ da taqsimlanishi ko'rsatilgan. Tokni notekis taqsimlanishi rotorda isrofni oshirilishiga olib keladi, tokni siqib chiqarishi effektiv hisobiga cho'lg'am aktiv qarshiligini ekvivalent oshirishda ko'rish mumkin. Induktiv qarshilik tokni siqib chiqarish effekti hisobiga kamayadi. Tirqishda tokni siqib chiqarilishi vazifasini birinchi marta F.Emde ko'rib chiqqan.

Tokni siqib chiqarilishi po'lat bilan qoplangan rotor cho'lg'ami uchastkasida sodir bo'ladi, shuning uchun rotor cho'lg'amidagi aktiv qarshilik

$$r'_2 = k_r r'_{2n} + r'_{2\pi} \quad (3.106)$$

Rotor cho'lg'ami tarqalish induktiv qarshiligi

$$x'_2 = k_x x'_{2n} + x'_{2\pi} \quad (3.107)$$

Be yerda r'_{2n} va x'_{2n} tokni bir xilda tirqish qismida aktiv va induktiv qarshilikda taqsimlanishi $(f_2=0)$; r'_{2n} va x'_{2n} cho'lg'amning old qismi qarshiligi; k_r va k_x tokni siqib chiqarishi tufayli qarshilikni o'zgarishini hisoblash;

$$k_r = \xi \frac{\text{sh}2\xi + \sin2\xi}{\text{ch}2\xi - \cos2\xi}; \quad (3.108)$$

$$k_x = \xi \frac{3\text{sh}2\xi + \sin2\xi}{2\text{ch}2\xi - \cos2\xi}; \quad (3.109)$$

Bu yerda: $\xi = \frac{h}{h_{pr}}$, (3.110)

h - sterjenning balandligi(3.56 rasm)

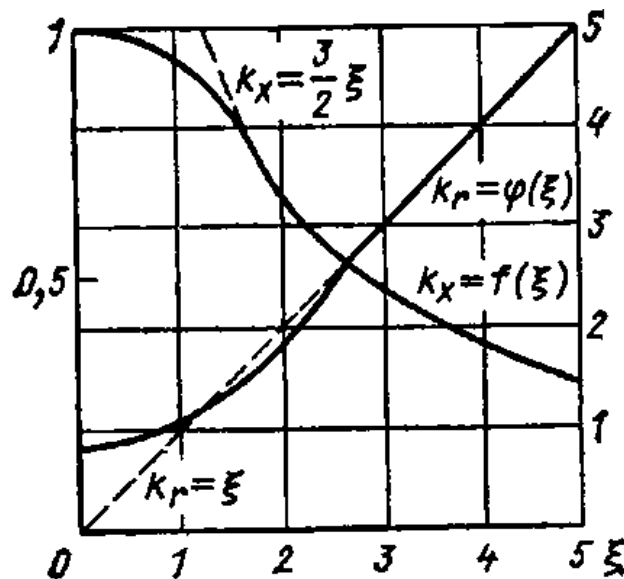
h_{pr} - yuzaki effektda tokni singishi ekvivaletlik chuqurligi:

$$h_{pr} = \sqrt{2/\mu_a \gamma \omega} \quad (3.111)$$

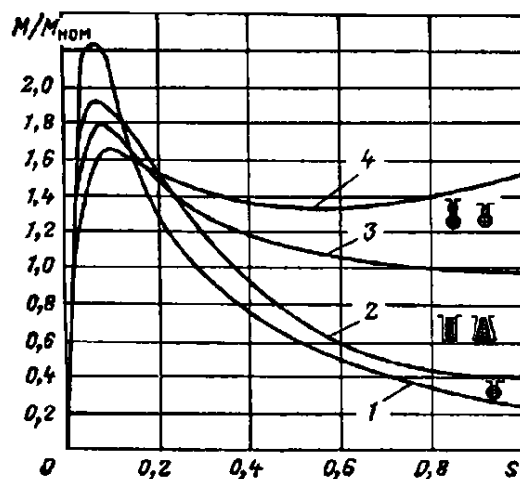
Bu yerda γ - solishtirma o'tkazuvchanlik; ferromagnitlidan tashqari barcha materiallar uchun magnit o'tkazuvchanlik, $\mu_a = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ f}_1 \text{ s Gn/m}$; $\omega = 2\pi \text{ f}_1 \text{ s}$

Singish chuqurligi tok chastotasi va cho'lg'am materialiga bog'liq bo'ladi. Chastota qancha yuqori bo'lsa tokni siqib chiqarish shuncha ko'p effektda bilinadi. Cho'lg'amlardagi katta solishtirma qarshilik siqib chiqarishni effektiv zaifligi ko'rsatadi.

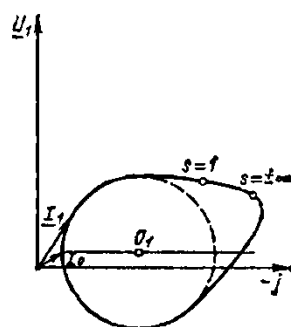
50° S da misli sterjenlar uchun $p=1/\gamma=0,02 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{m}$, 50 Gs chastotalar uchun $b=b_n$ (cho'lg'amda qisqa tutashuv izolyasiyaga ega bo'lmaydi) yoki ga yaqinlashuvi mis sterjenlar uchun va alyumin sterjenlar uchun esa r alyumin r misga nisbatan taxminan 2 baravar ko'p ξ dan k_r va k_x bog'liqligi 3.57 rasmda ko'rsatilgan.



3.57-rasm. ξ dan k_r va k_x bog'liqligi.



3.58-rasm. Chuqur tirqishli asinxron mashinadagi tokni geometrik joyi.



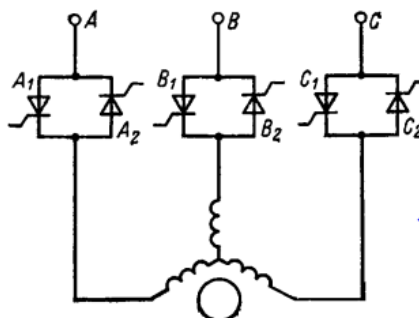
Bu bog'liqlik 3.57- rasmda shtrixli chiziqda ko'rsatilgan.

Misli sterjenda tokni siqib chiqarish $h > 1$ cm da, alyuminlida esa - $h > 1,4$ sm.bo'lganda aks etadi.

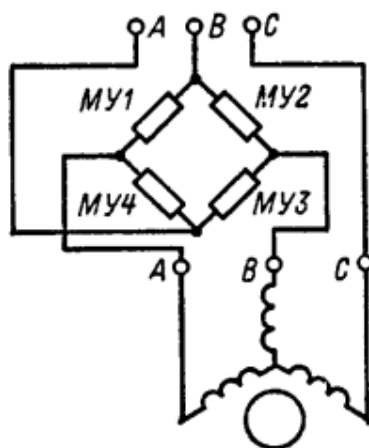
Chuqur tirqishli motorlarda sterjen balandligi 5 sm $k_x \approx 5$ bo'ladi, k_x da esa ishchi rejimga ko'ra 3.33 marta kam.

Rotor cho'lg'amida qarshilikni sezilarli o'zgarishi tok diagrammasini buzadi, 3.58 rasmda chuqur tirqish asinxron motorlar uchun ko'rsatilgan. Bugungi kunda chuqur tirqishli motorlarning statik va dinamik tavsifi EXM yordamida hisoblab chiqiladi.

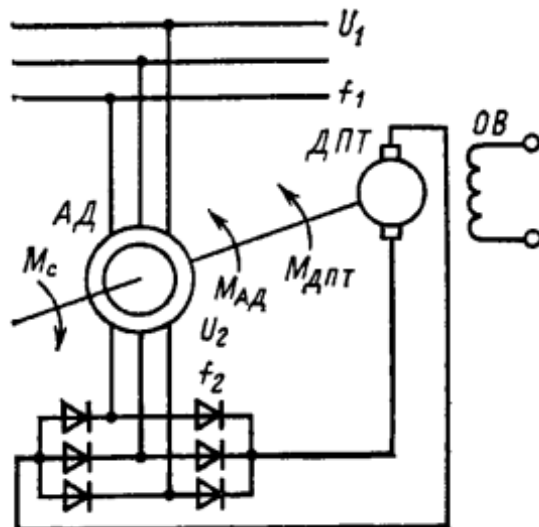
Chuqur tirqishli mashinalarda ishga tushirish momenti karraligi yuqori bo'ladi, ishga tushirish toki esa karralik umumiy ahamiyatdagi asinxron mashinalar uchun kam bo'ladi:



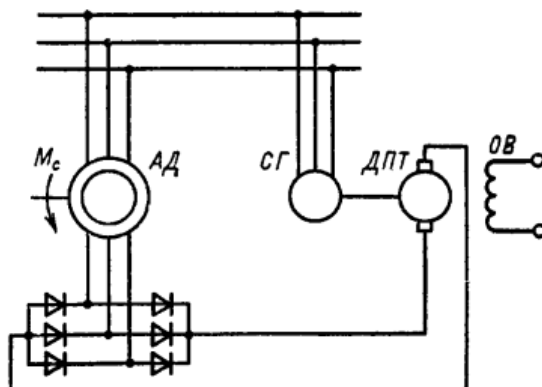
3.72- rasm. Kuchlanishni tiristor boshqaruvchisi bilan aylanish chastotasini boshqarish sxemasi.



3.73 -rasm. Asinxron motorlarning aylanish chastotasini boshqarishning reversiv sxemasi:



3.74 -rasm. Elektromexanik kaskad.



3.75- rasm. Elektr kaskad. MU₁ – MU₄ – magnit kuchaytirgichlar.

MU₂, MU₄ – boshqasiga, chunki bunda motorcho'lg'amlarida kuchlanish fazasi o'zgaradi.

Asinxron motorlarning aylanish chastotasini boshqarish muammosi magnit kuchaytirgichlar stator orqasida magnit kuchaytirgichning cho'lg'amlarini motordagi kabi tirqishalarga o'rab bajarilgan motor-kuchaytirgichlarda original echilgan.

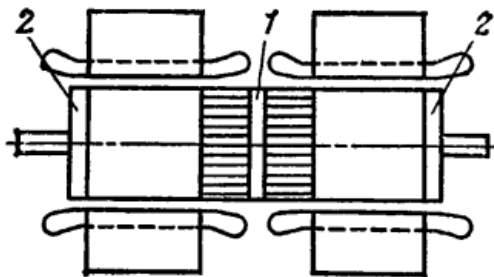
P_{em} siljish quvvati ishlatilishi yoki tarmoqqa qisman qaytarilishi mumkin, agar qo'shimcha boshqa elektr mashinalar yoki chastotaning statik o'zgartiruvchilaridan foydalanilsa. Boshqarishning bunday sxemalari kaskadli deb ataladi.

3.74 -rasmدا elektromexanik kaskadning sxemasi keltirilgan. AD faza rotorli asinxron motorda rotor cho'lg'amiga to'g'irlagich yoqilgan va siljish quvvati o'zgartirgichdan so'ng DTP doimiy toki motorining yakoriga keladi. Doimiy tok yakor motori asinxron motor vali bilan mustahkam ulangan va asinxron motor rivojlanadigan momentda M_{AD} doimiy tok motorining M_{DPT} momenti qo'shiladi. Shunday qilib, kaskadda siljish quvvatidan qo'shimcha momentni yaratish uchun foydalaniladi.

Elektr kaskadda (3.75 -rasm) asinxron motorning siljish quvvati AD o'zgartirilgandan so'ng valida sinxron generator SG bo'lgan doimiy tok motoriga DPT beriladi. Sinxron generator elektr energiyasini tarmoqqa beradi. Bu sxemada siljish quvvati tarmoqqa beriladi.

Ikkala sxemaning kamchiligi doimiy tok mashinasi va kuch to'g'irlagichlar bargligi hisoblanadi. To'g'irlagichlar va doimiy tok motorining o'lchamlari boshqarish chegarasiga bog'liq.

Ko'rib chiqilgan doimiy tok mashinasiga ega kaskad sxemalar yagona hisoblanmaydi. Kaskadlarda o'zgaruvchan tokning kollektor motorlar, bir yakorli o'zgartiruvchilar va boshqa mashinalar qo'llaniladi. Kaskad sxemalar 5-bobda batafsil ko'rib chiqiladi.



3.76 -rasm. Buriluvchan statorli motor.

Asinxron motorning aylanish chastotasini boshqarishning qiziq sxemasi burilish statorli motor hisoblanadi (3.76- rasm). Bu motor umumiy rotor va ikki statorga ega, ulardan biri boshqasiga nisbatan burilishi mumkin. Ikki statorning elektr o'qlari mos kelganda, rotor cho'lg'amida EYUK bo'ladi va agregat rivojlantiradigan quvvat bir mashinaning ikki quvvatiga teng.

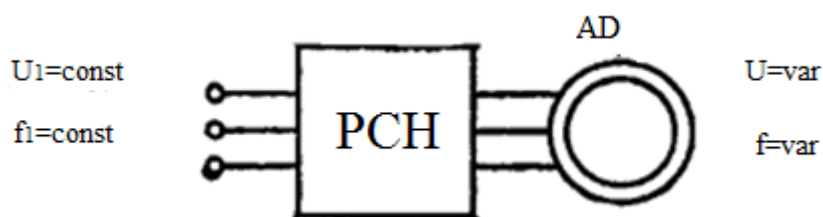
Motorning qisqa yopiq rotorli katta qarshilikli qisqa tutashuvchi o'rtacha halqaga 1 va kichik faol qarshilikli ikki chetki halqaga ega 2. Bir statorni boshqasiga nisbatan burganda stator cho'lg'amidagi oqimlar va EYUK siljiydi. Rotor toklari halqa 1 bo'yicha yuqori faol qarshilik bilan tutashishni boshlaydi. Statorlar o'rtasidagi burchakni o'zgartirish yo'li bilan aylanish chastotasini boshqarishga erishiladi. Bunda mexanik xarakteristikalar rotorning faol qarshiligi va kuchlanishni o'zgarishda olinadigan xarakteristikalariga yaqin bo'ladi. Bu motor 1899-yilda Bushero tomonidan taklif qilingan.

Bushero motorining ko'rinishi o'zgargan turi bir mashina maydon o'qining boshqasiga nisbatan burilishi har bir faza cho'lg'amlar bo'lmasini almashtirish yo'li

bilan bajariladigan mashina hisoblanadi. Cho'lg'amlardan biri maydon o'qining burilishini shuningdek induksiya boshqaruvchi yordamida amalga oshirish mumkin.

Siljitishni o'zgartirish yo'li bilan aylanish chastotasini boshqarishning ko'rib chiqilgan sxemasi mavjud takliflarni rad etmaydi.

Asinxron motorlar aylanish chastotasini boshqarishning eng yaxshi usuli chastotali hisoblanadi. Motordagi chastotaning o'zgartirilishi PCH chastotani o'zgartirgich bilan amalga oshiriladi (3.77- rasm). Chastotali boshqaruvda aylanishning sinxron chastotasi o'zgaradi, motor esa kichik siljish bilan ishlaydi. Boshqarish tejamliroq, lekin chastotani o'zgartirgich orqali barcha quvvat o'tadi va chastotaning o'zgartirgichi o'lchamlari motor o'lchamidan katta. Tarmoqning chastota va kuchlanishini o'zgartirishda chastotani o'zgartirgich chiqishda chastota va kuchlanishni $\frac{U}{f} = \text{const}$ qonun bo'yicha o'zgartiradi, bu doimiy magnit oqimida asinxron motor ishini ta'minlaydi.



3.77- rasm. Asinxron motorlar aylanish chastotasini chastotali boshqarish sxemasi.

Chastotani ham statorda, ham rotorda boshqarish mumkin. Katta quvvatli motorlarda chastotani rotorda boshqarish qulayroq, chunki aylanish chastotasini boshqarishning kichik chegaralarida P_{em} siljish quvvati stator cho'lg'ami quvvatidan ancha kichik. Shuning uchun chastotani o'zgartirgich kichik o'lchamga ega. Bu holatda quvvat tor tirqishgastator va rotor tomonidan keladi. Bunday mashinalar ikkilik ta'minotli asinxron motorlar nomini olgan, aylanish chastotasini boshqarish usulini esa EYUK ni rotor zanjiriga kiritish deb atashadi. Bu usul chastotali usul va siljishni o'zgartirish usuli o'rtasidagi holatni egallaydi.

Tiristorlarning qo'llanilishiga qaramasdan chastota uzatmasi asinxron motorli boshqariladigan uzatmalarda etakchi holatni egallay olmadi. So'ngi vaqtlarda kuch transformatorlari paydo bo'lishi va ularning parallel ulanishi bilan bir necha kilovatlarga kichik o'lchamli, arzon chastota o'zgartirgichlarni yaratish imkoniyati paydo bo'ldi. Energotizimgachiziqsiz elementlarning katta sonini kiritish tarmoqda Yuqori garmonikalar paydo bo'lishi va kuchlanishlarning sinusoidalligi buzilishiga olib kelishini aytib o'tish lozim. Elektr energiya sifatining yomonlashishi energetizimda yo'qotishlarga olib keladi.

Elektr energiyasining sifatini oshirishga harajatlarnichiziqsiz elementli kuch elektrosimlari narxiga kiritish lozim.

Nazorat savollari.

1. Asinxron motorlar aylanish chastotasini chastotali boshqarish sxemasini tavsiflang?

2. Elektr kaskad. $MU_1 - MU_4$ – magnit kuchaytirgichlar qanday maqsadlarda foydalaniladi?
3. Asinxron motorlarning aylanish chastotasini boshqarishning reversiv sxemasi tushuntirib bering?

3.16. Nosinusoidal nosimmetrik to'yinish kuchlanishida asinxron motorlar ishlashi.

Energotizimda kuchlanish shakli deyarli sinusoidal dan farq qilmaydi. Lekin alohida hududlarda ko'p sonli to'g'irlagichlar va boshqa chiziqli yuklanishlar bo'lganligi tufayli tarmoq kuchlanishi yuqori garmonikalarga ega. Avtonom elektromexanik tizimlarda asinxron motorlar chastotaning statik o'zgartirgichlari yoki kuchlanishning tiristor o'zgartirgichlaridan ta'minlanishida chiquvchi kuchlanish sinusoiddan juda farq qiladi va etarlicha katta tebranishli yuqori garmoniklarning katta soniga ega bo'ladi. Shuning uchun sinusoidal kuchlanishda asinxron mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayonlarini o'rganishda ta'minot katta ahamiyatga ega. Sinusoidal kuchlanishda energiyani o'zgarish jarayonlarini ta'riflovchi tenglamalarnosinusoidal kuchlanishlarda jarayonlarni ta'riflovchi tenglamalarning xususiy ko'rinishi hisoblanadi[4].

Ideal asinxron mashinani ko'rib chiqqan holda, nosinusoidal kuchlanishda uning chiqishida tor tirqishda faqat kelib chiqishi ta'minlovchi kuchlanishning nosinusoidalligi bilan bog'liq bo'lgan vaqt garmonikalari bo'ladi deb hisoblash mumkin. Ideal ikki fazali mashinada tor tirqishda maydon shakli faza kuchlanishining shaklini takrorlaydi. Kuchlanish shaklini bilgan holda, kuchlanish egri chizig'inigarmonik qatarga qo'yish va tor tirqishda maydonning yuqori garmonikalari fazasini va tebranishni aniqlash mumkin.

Ta'minotning to'g'ri burchakli kuchlanishida yuqori garmonikalar maksimal tebranishlarga ega. Uchinchi garmonika $1/3$ ga, bir va beshinchisi – $1/5$, v-esa – $1/v$ ga teng tebranishga ega. Juft garmonikalar faza kuchlanishlarida doimiy tarkib bo'lganida tor tirqishda paydo bo'ladi. Kuchlanishlarning to'g'ri burchakli shakldan chetlashishi bo'yicha yuqori garmonikalar tebranishi kamayadi, sinusoidal kuchlanishda esa tor tirqishda bir garmonika qoladi.

Tor tirqishda maydon shaklini bilgan va umumlashtirilgan elektromexanik o'zgartirgich modeliga murojaat qilgan holda, ta'minotning nosinusoidal kuchlanishida asinxron mashinaning tenglamasini tuzish mumkin.

Matematik modelda tor tirqishda har bir garmonika agar cho'lg'amlarga mos keluvchi chastota va tebranishlarning kuchlanishini ulansa stator yoki rotorda cho'lg'amlar jufti bilan tuziladi. Stator va rotorda cho'lg'amlarning m juftiga ega bo'lib va ularga mos keluvchi tebranish va chastotalarning sinusoidal kuchlanishini ulagan holda tor tirqishda nosinusoidal maydonini shakllantirish mumkin (1.88 rasmga qarang).

Vaqt garmonikalarifazoviylaridan o'zining kelib chiqishi bilan farq qiladi, bu tenglamalarni yozish shakliga ta'sir qiladi. Tenglamalarni tuzishga yondashuv 1.15 va 3.13 da ko'rib chiqilgani kabi umumiy.

Har bir garmonika uchun (1.157) – (1.161) tipidagi tenglamalarni yozishadi va tenglamalar tizimini tuzishadi

$$U = zI, \quad (3.118)$$

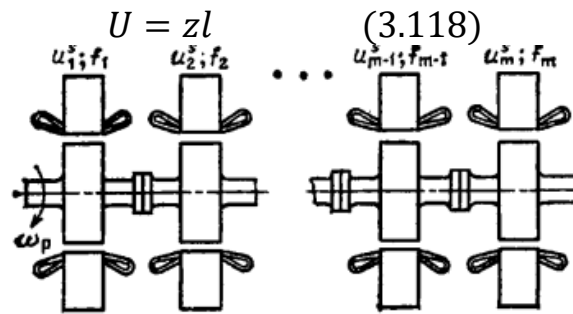
Bu yerda U – kuchlanishlarning matritsa ustuni (1.157); I – toklarning matritsa ustuni (1.157); z – qarshiliklar matritsasi.

Nosinusoidal toklar 1-garmonika kabi ulanadigan cho'lg'am bo'yicha o'tar ekan, ideal mashinalarda yuqori garmonikalar tokining chiqishini hisobga olmasdan faol qarshilik, induktivlik va yuqori garmonikalar uchun yuqori garmonikalar asosiy garmonikadagi kabi bo'ladi, ωL , ωM va ωL_0 garmonika chastotasi bilan aniqlanadi.

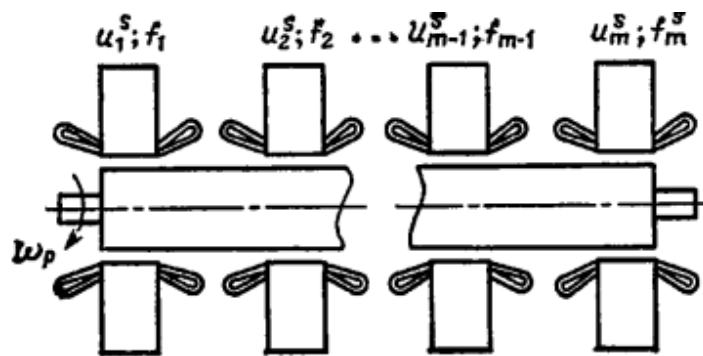
To'yingan mashinada garmonikalar bir-biri bilan bog'liq emas, shuning uchun nosinusoidal ta'minot kuchlanishida momentni aniqlashda 3.78 yoki 3.79 rasmlardagi modellardan foydalanish mumkin.

Nosinusoidal ta'minot kuchlanishida momentning tenglamasiga yondashuv 3.13 da ko'rib chiqilganidek. (1.157) – (1.161) yozuv shakllari ko'rib chiqilayotgan holatga ham tegishli.

(1.161) o'zgarganidan so'ng, yuqori garmonikalar uchun stator va rotor cho'lg'amlari o'rtasidagi M o'zaro induktivlik bir xil deb hisoblagan holda, quyidagini olamiz.



3.78- rasm. Nosimmetrik nosinusoidal kuchlanishdan ta'minlanganda asinxron motor modeli.



3.79 -rasm. Pulsatsiya momentlarini hisobga oluvchi umumiy rotorli mashina modeli.

$$M_{EM} = M[(i_{1\beta}^s + i_{2\beta}^s + \dots + i_{m\beta}^s)(i_{1\alpha}^r + i_{2\alpha}^r + \dots + i_{m\alpha}^r) - (i_{1\alpha}^s + i_{2\alpha}^s + \dots + i_{m\alpha}^s)(i_{1\beta}^r + i_{2\beta}^r + \dots + i_{m\beta}^r)] \quad (3.119).$$

(3.119) dan ta'minotning nosinusoidal kuchlanishida elektromagnit momentstator va rotor nosinusoidal toklarining ko'paytmasi ekanligi kelib chiqadi. Nosinusoidal ta'minotda (3.119) moment uchun ma'lum formulaga o'zgaradi (3.4).

3.78 -rasmida ko'rsatilgan modelda momentni aniqlash uchun bir tartib garmonikalari toklarining ko'paytmasi ishtirok etadi. Haqiqatga yaqin bo'lgan umumiy rotorli modelni o'rgangan holda (3.79 rasm), moment tenglamasida turli garmonikalar toklarining ko'paytmasini yoqish kerak.

Turli garmonikali toklarning ko'paytmasi o'tish jarayonlarida e'tiborga olish lozim bo'lgan pulsatsiyalaydigan momentlarni yaratadi. O'rnatilgan rejimlarda pulsatsiyalaydigan momentlar elektromagnit momentga ta'sir qilmaydi.

Ta'minotning nosinusoidal kuchlanishida asinxron mashinalar tenglamasi raqamli EHM da echiladi. Analog EHM yordamida shuningdek asinxron mashinalarni o'rganish mumkin, nosinusoidal kuchlanishdagi ta'minot maxsus kursda keltiriladi.

Ta'minotning nosinusoidalnosimmetrik kuchlanishida, cho'lg'am fazalarida kuchlanish shakllari bir-biridan farq qilganida, har bir garmonika to'g'ri va teskari tashkil etuvchilarga ega. Bu tor tirqishda garmonikalar sonini oshiradi, lekin bu tenglamalarni tuzishga yondashuvni o'zgartirmaydi.

O'tish va o'rnatilgan jarayonlarni o'rganishda odatda uch-to'rt yuqori garmonikalar hisobga olinadi. Bunda tenglamalarning har bir garmonika bo'yicha alohida echilishini 13 yoki 17-tartbi tenglamalari echadi. Tadqiqotlarning ko'rsatishicha, yuqori vaqt garmonikalari FIK ni 10 – 15% ga pasaytiradi, qo'zg'alish vaqtini oshiradi va qo'shimcha vibratsiyalarga olib keladi. Nosinusoidalkuchlanishda ishlash uchun mo'ljallangan asinxron motorlarni hisoblashda elektromagnit yuklanishlarni 20 – 30% ga kamaytirish kerak.

Turli chastotalardagi kuchlanishlar bir chastotali kuchlanishga ega fazoda siljirilgan cho'lg'amlarni ta'minlashda bo'lganidek, aylanuvchi magnit maydonlarning tor tirqishda yaratilmaydi (1.8 mavzuga qarang). Ikki fazali mashinaning cho'lg'amlarini turli chastotali sinusoidal kuchlanishlar bilan ta'minlashda (3.51 -rasmga qarang) tor tirqishda har bir cho'lg'am bilan ikki pulsatsiyalaydigan maydon yaratiladi. Shuning uchun turli chastotalarga ega sinusoidal kuchlanishlar bilan ikki fazali mashinada cho'lg'amlarni ta'minlashda, oraliqda MYUK ning to'rt garmonikasi bo'ladi: turli chastotalar bilan aylanuvchi ikki to'g'ri va ikki teskari.

Ko'pgina asinxron motorlar ta'minotning sinusoidal yoki nosiniusoidal uzluksiz o'zgaruvchi kuchlanishida ishlaydi. Uzluksiz sinusoidal yoki nosiniusoidal kuchlanishni tebranish bo'yicha o'zgaradigan impulslarning cheksiz sonidan tashkil topgan deb tasavvur qilish mumkin. Bu impulslarni vaqt bo'yicha cho'zish va impulsli elektromexanik tizimlarga kelish mumkin; impulslarning ma'lum birligida va tuzilishdagi ba'zi o'zgarishlarda impuls motor va generatorlarni olish mumkin.

O'zining tuzilishi bo'yicha impuls motorlari va generatorlari sinxron mashinalarga yaqin va 4-bobda ko'rib chiqiladi. Bunday mashinalarda energiyaning o'zgarish jarayonini tahlil qilish uchun ta'minotning nosinusoidalnosimmetrik kuchlanishidagi kabi tenglama va yondashuvlar qo'llaniladi.

Nazorat savollari.

1. Nosimmetrik kuchlanishda asinxron motorni ishlashini tushuntiring?

2. Nosimmetrik nosinusoidal kuchlanishdan ta'minlanganda asinxron motor modelini tavsiflang?
3. Pulsatsiya momentlarini hisobga oluvchi umumiy rotorli mashina modelini tavsiflang?

3.17. Asinxron mashinalarning normal ish rejimlari.

Mashinaning shit va pasportida ko'rsatilgan elektr mashinalarning nominal ma'lumotlari, - quvvat, kuchlanish, tarmoq chastotasi, tok, aylanish chastotasi, $\cos\varphi$, FIK va mashinani xarakterlovchi boshqalar, mashinaning dengiz sathidan 1000 m balandlikda va gazsimonsovutuvchi sohaning 40 °C gacha va sovutuvchi suvning 30 °Cgacha haroratida ishlay olishiga tegishli. Sovutuvchi soha haroratining pastki chegarasi mashinalarning alohida turlariga standart yoki texnik shartlarda ko'rsatiladi. Haroratning pastki chegarasi asosan podshipniklarning moylanish ish sharoitlari bilan aniqlanadi. 4A rusum asinxron motorlar atrof muhitning -40 dan +40 °Cgacha haroratida ishlash uchun mo'ljallangan. Havoning nisbiy namligi 25 °C haroratda 98% gacha.

Mashinaning Yuqorida keltirilganlardan farq qiluvchi sharoitda ishlashida nominal ma'lumotlar o'zgaradi. Havo harorati 40 °C dan yuqori bo'lganida haroratning yo'l qo'yiladigan ko'tarilishlari izolyatsion materiallarning barcha sinflari uchun kamayadi. Asinxron motorlarni 40 °C dan yuqori haroratda ishlatganda motorning nominal quvvati pasaytirilishi lozim. Agar mashina dengiz sathidan 1000 m dan Yuqorida ishlatilsa, sovutish shartlari yomonlashadi, chunki havo zichligi kamayganida mashinani sovutishda ishtirok etayotgan havo massasi kamayadi. Bunda shuningdek nominal quvvat pasayadi[8].

Asinxron motorlarning nominal ma'lumotlari tarmoqning nominal kuchlanishi va chastotasiga mos keladi. Motorlarning tarmoq kuchlanishining -5 dan +10% gacha va o'zgaruvchan tok chastotasi nominal qiymatdan $\pm 2,5\%$ farq qilganda ishlashiga yo'l qo'yiladi. Bir vaqtning o'zida tarmoqning kuchlanish va chastotasi nominal qiymatlardan farq qilganida motorlar nominal quvvatni saqlashi lozim, agar bu farqlarning absolyut foiz qiymatining summasi 10% dan oshmasa va bu farqlardan har biri normadan oshmasa.

Tarmoq kuchlanishi yoki chastotasining nominal qiymatlardan farq qilishida motor magnit oqimining o'zgarishi sodir bo'ladi, buni quyidagi formuladan aniqlash mumkin

$$U = 4.44\Phi_m f_1 k_{ob1}. \quad (3.120)$$

Motor oqimining o'zgarishi moment o'zgarishiga olib keladi:

$$M = k\Phi_m I_2 \cos\varphi_2. \quad (3.121)$$

Agar valdagi moment o'zgarmas bo'lib qolsa, unda F_m kamaytirilganida mashina statori va rotorida tok o'sadi. Oqimning o'zgarishi shuningdek erkin Yurish tokining o'zgarishiga olib keladi. Tarmoqning kuchlanishi va chastotalarining nominal qiymatlarida asinxron motorning magnit tizimi to'yingan ekan, kuchlanish va chastotaning kichik o'zgarishlari erkin yurish tokining katta o'zgarishlariga olib keladi.

U va f_1 ning xarakteristikalariga ta'sirini (3.120) va (3.121) bo'yicha baholash mumkin. Nominal qiymatlarga nisbatan U va f_1 ning ham oshishi, ham kamayishi mashina xarakteristikalariga salbiy ta'sir qiladi.

Asinxron motorlarining FIK va $\cos\varphi$ nominal quvvat 0,6 – 0,8 da maksimumga ega. Agar motor nominal quvvatning 0,2 – 0,4 da yetarlicha yuklanmasdan ishlatilsa, kuchlanishni pasaytirish maqsadga muvofiq. Bunda magnitlangan tok kamayadi va $\cos\varphi$ oshadi. Yaxshilangan $\cos\varphi$ FIK oshishiga olib keladi. Baz'an motorcho'lg'amlarni uchburchakdan yulduzga o'tkazish lozim. Bunday almashtirish faza kuchlanishining $\sqrt{3}$ marta kamayishiga olib keladi, bu oqimning shuningdek $\sqrt{3}$ marta kamayishini hosil qiladi.

Motor validagi momentoldingidek qolishi uchun tokni $\sqrt{3}$ marta oshirish kerak. O'zgaruvchan yo'qotishlarning nisbatan oshishi (misda yo'qotishlar) va doimiy yo'qotishlarning kamaytirilishi (po'latda yo'qotish) FIK maksimumini yuklanmagan motor uchun motordan uzoq foydalaniladigan yuklanishlar sohasiga suriladi.

Cho'lg'amlarning almashtirilishi doim ham to'g'ri va imkonli emas. Shuning uchun yuqori quvvatli motorlardan foydalanish elektroenergiyaning o'zini oqlamaydigan yo'qotishlariga olib keladi. Elektr mashinalari mashina pasportida ko'rsatilganga yaqin kuchlanishlarda ishlatilishi kerak.

Asinxron mashinalardan foydalanilganda mashina statoriga qo'yilgan uch fazali kuchlanish tizimi nosimmetrikdek tuyulishi mumkin, ya'ni faza kuchlanishlari bir-biridan farq qiladi, kuchlanishlar o'rtasidagi burchaklar esa 120° ga teng. Kuchlanishlar simmetriyasining buzilishi fazalardagi turli yuklanishlar va avariya holatlari bilan bog'liq.

Uch fazali kuchlanishlarning nosimmetrik tizimini to'g'ri va teskari ketma-ketlikdagi kuchlanishlarning simmetrikva nolli ketma-ketlik tizimlariga ajratish mumkin. Nol ketma-ketlikdagi toklar yulduzga ulanganda tor tirqishda aylanuvchi maydon yaratmaydi. Uchburchakka ulanganda toklardagi pulsatsiyalaydigan maydon nol ketma-ketligi birinchi yaqinlashishda kichik tebranish va MYUK ning to'g'ri va teskari garmonikalaridan aylanishning sinxron chastotasidan 3 marta farq qilganligi uchun e'tiborga olinmasligi mumkin.

U_{11} to'g'ri ketma-ketlik kuchlanishlar I_{11} stator to'g'ri ketma-ketligining toklarini yaratadi. Bu toklar tor tirqishda to'g'ri ketma-ketlik maydonini yaratadi. U_{12} teskari ketma-ketlik kuchlanishlari I_{12} toklar va teskari ketma-ketlik maydonini yaratadi.

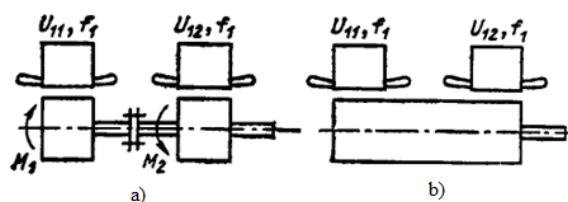
Ikki maydon bo'lganida mashinada energiyani o'zgartirish jarayonini tahlil qilish uchun 3.80 a va b rasmlardagi modellar adolatli.

To'g'ri va teskari ketma-ketlik harakatlarini alohida ko'rib chiqqan holda (3.80, a rasm sxemasi) natijalovchi moment quyidagi deb hisoblash mumkin

$$M_p = M_1 - M_2. \quad (3.122)$$

Bu yerda: $M_1 = m_1(I_{21})_{s_1}^{r_2}$ -to'g'ri ketma-ketlik momenti; $M_2 = m_1(I_{22})_{s_2}^{r_2}$ - teskari ketma-ketlikmomenti. Rotor to'g'ri ketma-ketlik maydoniga nisbatan quyidagi siljishga ega

$$s_1 = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \quad (3.123)$$



3.80- rasm. Momentni pulsatsiyalaydigan momentlarni hisobga olib (a) va olmasdan (b) aniqlash uchun model.

Rotorning teskari ketma-ketlik maydoniga nisbatan siljishi

$$s_2 = \frac{n_1 + n_2}{n_1}. \quad (3.124)$$

(3.124) ga to'g'ri ketma-ketlik siljishi orqali ifodalangan rotor aylanish chastotasini qo'ygan holda, (3.123) dan

$$n_2 = \frac{1 - s}{n_1} \quad (3.125)$$

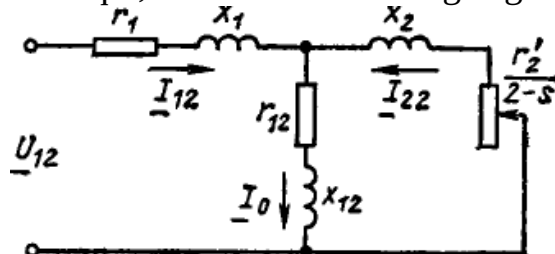
$$s_2 = 2 - s_1. \quad (3.126)$$

To'g'ri va teskari ketma-ketlik momentlarini ifodalashga I_{21} to'g'ri va I_{22} teskari ketma-ketlik rotor toklari kiradi.

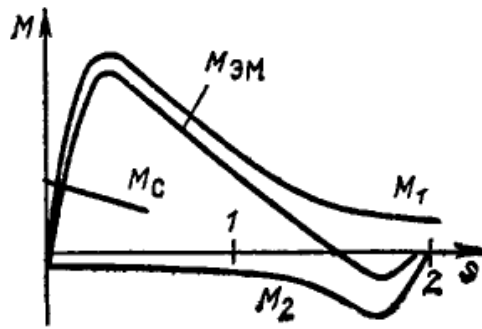
Kuchlanishlar va teskari ketma-ketlik toklari tizimi uchun to'g'ri ketma-ketlikni egallash sxemasiga o'xshash egallash sxemasi adolatli (3.81 rasm). Bu sxemada I_{12} va I_{22} – stator va rotorda teskari ketma-ketlik toklari. To'g'ri va teskari ketma-ketliklar uchun tokni chiqarishni e'tiborga olmagan holda egallash sxemalarining parametrlari bir xil olingan.

To'g'ri M_1 va teskari M_2 ketma-ketliklarning toklaridan natijalovchi elektromagnit moment M_{em} 3.82 rasmda ko'rsatilgan. Teskari ketma-ketlikdan moment to'g'ri ketma-ketlikka qarama-qarshi tomonga yo'nalgan. Odatda simmetriya buzilishi kichik va teskari ketma-ketlik momenti to'g'ri ketma-ketlik momentidan kichik. Teskari ketma-ketlik momentining maksimumi $s = 2$ siljish yonida joylashgan.

Ta'minlovchi kuchlanishlarning simmetriya buzilishi motor momenti egri chizig'ini o'zgartiradi $M=f(s)$. Bunda maksimal va chiqish momenti o'zgaradi, bu mashina xarakteristikalariga yomon ta'sir ko'rsatadi, chunki nominal moment katta siljishlarda, shundan kelib chiqib, katta toklarda o'ringa ega.



3.81- rasm. Teskari ketma-ketlik uchun egallash sxemasi.



3.82- rasm. Kuchlanishlarning nosimmetriyasida asinxron motor momenti.

O'tish jarayonlarida momenti 3.80, b sxema bo'yicha aniqlash va turli ketma-ketlikdagi toklar farqining ko'paytmasini hisobga olish kerak i_{12} , i_{22} va i_{21} , i_{11} va shunda natijalovchi momentda to'rt tashkil etuvchi bo'ladi

$$M_{EM} = M_1 - M_2 + M_{12} - M_{21}. \quad (3.127)$$

O'tish jarayonlarini o'rganishda tenglamalar tizimini kuchlanishning sakkiz tenglamasi va moment tenglamalaridan modellashirish lozim (3.127).

Mashinani tayyorlash yoki undan foydalanishda rotor fazalari qarshiligining nosimmetriyasi hosil bo'lishi mumkin. Qisqa tutashuv rotorli motorlarda rotor yamalishi bilan bog'liq, bunda alyuminiy tirqishlarni notekis to'ldiradi, fazali rotorli mashinalarda – cho'tka tuguni nosozligi bilan bog'liq. Rotor fazalarida qarshiliklar turlicha bo'lganligi tufayli rotor fazalaridagi toklar bir-biridan farq qiladi. Rotor toklarining nosimmetrik tizimini to'g'ri va teskari ketma-ketlikdagi rotor toklarining ikki simmetrik tizimiga ajratish mumkin. To'g'ri ketma-ketlikdagi rotor toklari stator to'g'ri ketma-ketlikdagi maydonlariga nisbatan qo'zg'almas maydon yaratadi. Stator toklari va rotor to'g'ri ketma-ketlik toklarining o'zaro ta'sirlashuvi natijasida natijalovchi maydon va M_1 moment yaratiladi.

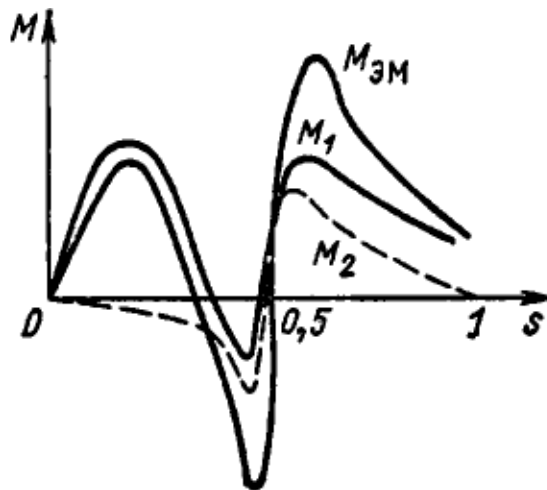
Rotor teskari ketma-ketlik toklari rotorning teskari aylanishi yo'nalishida rotorga nisbatan $n_{2p}=sn_1$ chastotada aylanadigan maydon yaratiladi. Teskari ketma-ketlikka ega rotor maydonining statorga nisbatan aylanish chastotasi

$$n_{21} = n_2 - n_{2p} = (1 - s)n_1 - sn_1 = (1 - 2s)n_1. \quad (3.128)$$

Bu maydon statorda quyidagi chastotali I_{12} toklarni olib keladi

$$f_{2c} = (1 - 2s)f_1. \quad (3.129)$$

I_{12} toklar tarmoq orqali ulanadi va mashina oralig'ida rotor teskari ketma-ketlik toklariga nisbatan qo'zg'almas maydon yaratadi. Natijalovchi moment stator va rotorning to'g'ri va teskari ketma-ketliklaridagi toklardagi momentlar summasiga teng $M_{em}=M_1 - M_2$.



3.83- rasm. Rotor cho'lg'ami fazasi uzilgandagi moment.

Teskari ketma-ketlik maydoni rotor aylanishiga qarama-qarshi tomonga aylanar ekan, f_{2c} chastota tarmoq chastotasiga yaqin va nominal siljishda 48 – 49 Gs ga teng. Ikki yaqin chastotaning qo'yilishi urilishga olib keladi – stator toklarining past chastotada tebranishi va motorning shovqini.

$S=0,5$ ga siljiganda rotor toklarida teskari maydon statorga nisbatan qo'zg'almas (3.128). Bu holatda stator cho'lg'amlarida rotorning teskari maydonidan toklar qo'yilmaydi va $M_2 = 0$. $S=0,5$ bo'lgan moment egri chizig'i "buziladi" (3.83), rotor shu holatda "qotishi" mumkin; rotorni bu holatdan chiqarish uchun energiyani sarflash lozim. Bu hodisa 1896-yilda G. Gergyos tomonidan ta'riflangan va Gergyos effekti yoki bir o'qli yoqilish effekti deb ataladi. Bu effekt rotorning bir fazasi uzilishida maksimal namoyon bo'ladi. Bunda asinxron motor, qoidaga ko'ra, hatto yuklanishsiz yoqilganda ham aylanishning nominal chastotasiga erishmaydi.

Asinxron motorlarning nosimmetrik rejimlarini o'rganishda ta'minotning nosimmetrik kuchlanishida simmetrik motor va ta'minotning simmetrik kuchlanishida nosimmetrik motor ishini farqlashadi (odatda motor stator yoki rotor bo'yicha nosimmetrik). Garchi nosimmetrik rejimlar bir-biridan farq qilsada, ikkala holatda ham energiyani o'zgartirishning matematik ta'riflangan jarayonlari bir-biriga yaqin. Ta'minotning nosimmetrik kuchlanishida nosimmetrik asinxron motorni o'rganish murakkab hisoblanadi.

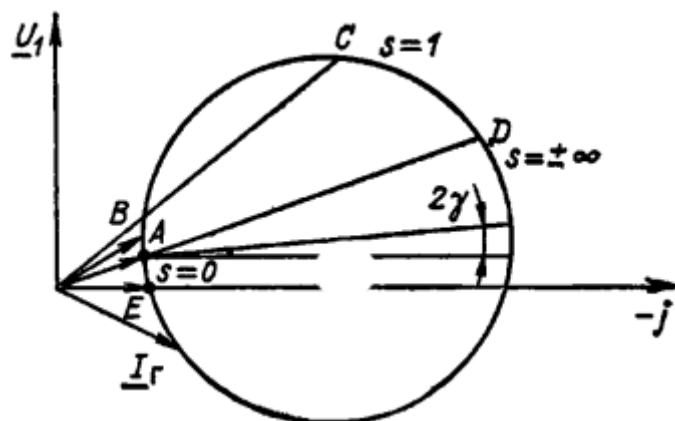
Nazorat savollari.

1. Rotor cho'lg'ami fazasi uzilgandagi momenti qanday o'zgaradi?
2. Kuchlanishlarning nosimetriyasida asinxron motor momenti qanday?
3. Teskari ketma-ketlik uchun almashtirish sxemasini tavsiflang?

3.18. Asinxron mashinalarning generator, tormozli va transformator rejimlaridagi ishlashi.

Asinxron mashinalar asosan motor sifatida ishlatiladi. Generator rejimida ular kam qo'llaniladi. buning asosiy sababi asinxron mashina reaktiv quvvat manbai

hisoblanmasligida. Asinxron mashinada magnit maydonni yaratish uchun reaktiv quvvat tarmoq yoki kondensatordan keladi.



3.84-rasm. doira diagrammada generator va tormoz rejimlari.

Asinxron motorni generator rejimiga o'tkazish uchun mashina valiga qo'yilgan moment belsini o'zgartirish zarur (3.84 rasm). Generator rejimida asinxron mashina tarmoqqa ulanadi, undan u magnit maydonni yaratish uchun reaktiv quvvatni oladi, rotor esa uzatma motor yordamida magnit maydon aylanadigan tomonga maydon aylanish sinxron chastotasidan oshuvchi chastotada aylanadi. Motor rejimdagi kabi generator rejimdagi nominal chastota bir necha foiz chegarasida yotadi, chunki katta siljishlarda elektr yo'qotishlar o'sadi va FIK kamayadi.

Doira diagrammasida generator rejim A dan D nuqttagacha qismni egallaydi, bu yerda siljish 0 dan ∞ gacha o'zgaradi. Motor rejimdan generator rejimiga o'tishda oldin motor bo'shatiladi va asinxron mashina esa erkin yurish rejimida ishlashni boshlaydi (B nuqta). Bunda tarmoqdan erkin yurish yo'qotishlarini qoplash uchun zarur faol quvvat olinadi. Ideal erkin yurish nuqtasiga kelish uchun A, dvogatel rotorini uzatma qurilma bilan aylantirish kerak. Bu rejimda mexanik yo'qotishlar motor validan keladigan mexanik quvvat hisobiga yopiladi, rotorning burchak tezligi esa ω_p maydonning sinxron burchak tezligiga teng ω_p .

Tezlikni keyinchalik oshirganda (E nuqttagacha) motor validan keladigan faol quvvat po'latda yo'qitishlarni qoplash va rotor va stator cho'lg'amlarida elektr yo'qotishlarga sarflanadi. Faqat e nuqtadan o'tgach, asinxron generator elektr quvvatini tarmoqqa beradi (doira diagrammada I_r tok). Ideal erkin yurish rejimidan boshlab rotor magnit maydondan o'tadi va $\omega_p > \omega_c$. Doira diagrammada barcha tuzilish va nuqta va chiziqlar, shuningdek siljish aniqlanishlari, $\cos\varphi$ va momentlar asinxron mashinaning boshqa rejimlaridagidek qoladi.

Generator rejimida faol quvvat tarmoqqa beriladi va doira diagrammada faol tok o'tkazilgan quvvat chizig'i orqali yurganida o'zining belgisini o'zgartiradi. Bunda yo'nalishning reaktiv quvvati o'zgarmaydi: u asinxron mashina ishining barcha rejimlarida tarmoqdan keladi. Erkin yurish toki I_0 ishning barcha rejimlarida o'zgarmas qoladi deb hisoblash mumkin.

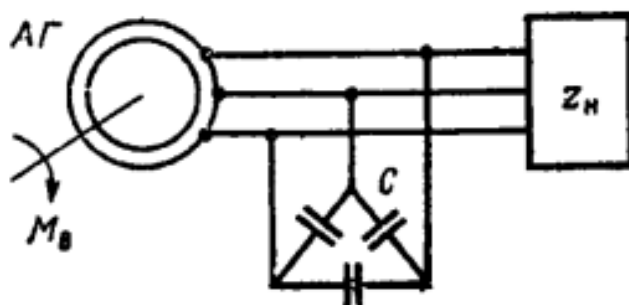
Asinxron generator o'rnatilgan rejimining tenglamasi motor tenglamasidan umuman farq qilmaydi, faqat I_2' tok ikkinchi kvadrantda joylashadi va vektor dastur 3.17, v rasmda ko'rsatilgan ko'rinishni oladi.

Vektor diagrammadan kelib chiqib, generator rejimda $U_1 < E_1$, tok vektorlari I_1 va I_2 motor rejimiga nisbatan deyarli qarama-qarshi yo'nalishga ega, $\varphi_1 > 90^\circ$. Bunda: $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 < 0$,

Bu asinxron generatorda mexanik quvvat elektrga o'zgarishi va tarmoqda qolishiga guvohlik qilmoqda.

Asinxron generator uchun asinxron motorlardagi kabi egallash sxemalari adolatli. Farq faqat shundaki, generatorda valdagi quvvat $P_2 > P_1$. Egallash va yo'qotishlar sxemasining parametrlari motor rejimidagi kabi aniqlanadi.

Tuzilishi jihatidan asinxron generatorlar motorlarnikidan farq qilmaydi. Asinxron motorlar kabi asinxron generatorlar ham o'n ming kilovatt quvvatda ishlab chiqarilishi mumkin. Lekin issiqlik va gidravlik stansiyalarida asinxron generatorlar ko'p qo'llanilmaydi, chunki ularning ishlashi uchun reaktiv quvvat manbai zarur.



3.85-rasm. Asinxron generatorli avtonom energetik tizim.

Asinxron generator rotorining tuzilishi sinxronnikidan oson. Asinxron generator rotorini cho'lg'amlarsiz massiv po'lat silindr ko'rinishida bajarilishi mumkin. Shuning uchun asinxron generatorlar aylanishning katta chastotalariga bajarilishi mumkin – 100 000 ayl/daq.

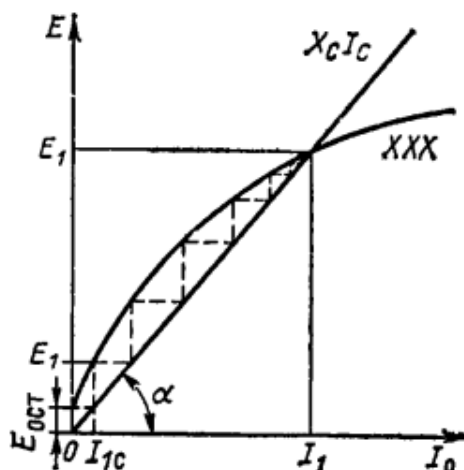
Asinxron generatorlarni avtonom energetik o'rnatmalarda reaktiv quvvat manbai sifatida qo'llashda kondensatorlardan foydalaniladi (3.85 rasm).

Agar z_H qarshilik toza faol bo'lsa, unda kondensatorlarning reaktiv quvvati mashinaning reaktiv quvvatiga tenglashadi $Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1$. z_H induktiv tashkil etuvchiga ega bo'lganida kondensatorlar mashinaning reaktiv quvvati va yuklanishlarni qoplaydi. Asinxron generatorning faol-sig'imli yuklanishga ishlashida kondensatordan foydalanmaslik mumkin. Kondensator batareyasining o'lchamlari katta va uning massasi motordagi kabi ekanligini e'tiborga olish kerak.

O'rnatilgan rejimda asinxron generator uchun asosiy munosabatlarni o'zini qo'zg'atish bilan egallash sxemasidan aniqlash mumkin (3.86 rasm). bu egallash sxemasi asinxron motorning egallash sxemasidan faqat uning chiqishlariga yuklanish qarshiligi z_H va $x_c = 1/\omega_1 C$ kondensator ulanganligi bilan farq qiladi.

Asinxron generatorning o'zini qo'zg'atish jarayonini quyidagicha tasavvur qilish mumkin. Generatorning nominalga yaqin chastotada aylanishida, rotorning qoldiq magnitlanishi hisobiga e_{qol} EYUK beriladi (3.87 rasm). Bu EYUK kondensatorlar zanjiri va mashinada I_{1C} tokni keltiradi, bu mashina maydonini kuchaytiradi va EYUK e_1 ni yaratadi. Keyin tok va MYUK lar qiymatlari generator erkin yurish xarakteristikasi kondensator zanjirining volt-amper xarakteristikasi bilan

kesishadigan nuqtaga o'rnatilmagunicha va I_1 va EYUK e_1 tokka teng bo'lmagunicha o'sadi (3.87 rasm)



3.87 -rasm. Asinxron generatorning o'zini-o'zi qo'zg'atishi.

Generatoridagi kuchlanish kondensatorlardagi sig'imga bog'liq: sig'im qancha kichik bo'lsa, a burchak shuncha katta (3.87 rasm). Sig'imning kichik qiymatlarida volt-amper xarakteristika $x_C I_C$ asinxron generator erkin yurishining xarakteristikasi bilan kesishmaydi va mashina qo'zg'almaydi. Generatoridagi kuchlanish shuningdek magnitlanish xarakteristikasi turiga bog'liq. asinxron generatorning to'yinishini o'zgartirgan holda, kondensatorlarning doimiy sig'imida generator chiqishida kuchlanishni boshqarish mumkin. Generator magnit tizimining to'yinganligini stator orqasini doimiy tok bilan magnitlash yo'li bilan o'zgartirish qulay. Kuch kondensatorlari sig'imini ravon o'zgartirish qiyin. SHuning uchun asinxron generatorning kuchlanishini ravon boshqarishda kondensatorlar zanjiriga ketma-ket reaktor ulanadi va uning induktivligini o'zgartirish hisobiga tizimda reaktiv quvvatning va generatorda kuchlanishning boshqarilishi amalga oshiriladi[5].

Tarmoq bilan parallel ishlayotgan asinxron generatorda chastota asinxron generator ish rejimi o'zgarishi bilan o'zgarmasdan, tarmoq bilan beriladi. Avtonom tizimda ishlayotgan asinxron generatorda kuchlanish chastotasi ham rotorning aylanish chastotasi, ham generator parametri va avtonom tizim elementlariga bog'liq. Bu avtonom tizim ish rejimlarini hisoblash va asinxron generatorni loyihalashtirishni qiyinlashtiradi.

Kondensatorlarning katta o'lchamlari va boshqarishning qo'pol sxemalari asinxron generatorlarning avtonom tizimlarda qo'llanilishini cheklaydi. Sinxron generatorli sxemalar keng qo'llaniladi.

Tormoz rejimida asinxron mashina rotori uzatma motor momenti tufayli magnit maydon aylanishiga qarama-qarshi tomonga aylanadi. Doira diagrammada tormoz rejimi C ($s=1$) nuqtadan D nuqttagacha doira qismini egallaydi, bu yerda $s=+\infty$ (3.84 rasm). Bu rejimda: $s = \frac{\omega_1 - \omega_p}{\omega_1} > 1$.

Ham elektr, ham mexanik quvvat mashinaga kelishi va issiqlikka aylantirilishi tormoz rejimining o'ziga xos tomoni hisoblanadi. Ishning bu rejimi mashina uchun og'ir va odatda qisqa muddatli.

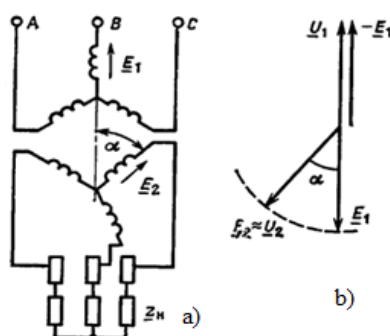
Tormozlashning o'tish rejimi asinxron mashinani tez to'xtatish uchun qo'llaniladigan yoqishga qarshi rejimi hisoblanadi.

O'rnatilgan rejimda asinxron mashinaning tormozlari ko'tarish krani bilan tushiriladigan yuk to'xtatilganida kran elektrosimlarida ishlaydi. Tormoz rejimidan gaz yoki suyuqlik oqimlaridan energiya olinganida detanderlarda foydalaniladi. Asinxron mashina bu rejimda turg'un ishlashi aylanish chastotasini boshqarish uchun mexanik xarakteristika keskin siljish $S_k \approx 4 \div 5$ ga ega bo'lishi kerak (3.40 rasmga qarang).

Transformator rejimida asinxron mashina $s=1$ da ishlaydi (3.84 rasmning doira diagrammada C nuqta). Bu rejimda mashina elektromagnit o'zgartirgich hisoblanadi va elektr energiyasini mexanikka yoki aksincha o'zgartirmaydi. Lekin rotor doira diagramma bo'yicha aniqlash mumkin bo'lgan momentda ta'sir qiladi.

Transformator rejimida fazali rotorga ega asinxron mashinalardan foydalaniladi. Bunda stator va rotor cho'lg'amlari o'rtasida transformator va avtotransformator aloqalari bo'lishi mumkin.

Statorga nisbatan 360° elektr burchakka burilishi mumkin bo'lgan tormozlangan rotorli asinxron mashina faza boshqaruvchi deb ataladi (3.88, a rasm).



3.88- rasm. Faza boshqaruvchining sxemasi va vektor diagrammasi.

Rotorning statorga nisbatan burilishida EYUK tebranishsi rotorda o'zgarmaydi, chunki rotorda EYUK aylanuvchi maydon bilan beriladi, faza esa (birlamchi va ikkilamchi kuchlanishlar o'rtasidagi siljish) o'zgaradi. Faza boshqaruvchining vektor diagrammasi 3.88, b rasmda berilgan. Faza boshqaruvchining faol va induktiv qarshiliklarini nolga teng deb olib, $U_2 = E_2$ deb hisoblash mumkin. Rotorning statorga nisbatan burilishida stator va rotor kuchlanishlari o'rtasidagi vaqt α burchak o'zgaradi.

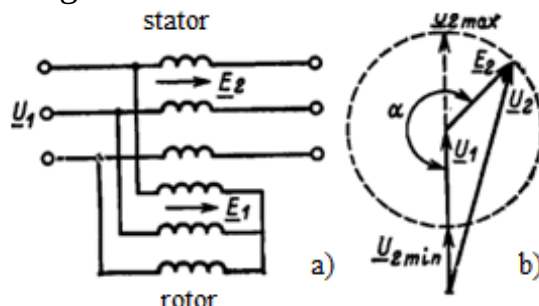
Rotor statorga nisbatan qo'lda yoki bajaruvchi motor yordamida buriladi. Faza boshqaruvchining rotoriga moment ta'sir qiladi, buni faza boshqaruvchi rotorining burilishi amalga oshirilishiga yordam beradigan reduktorni hisoblashda e'tiborga olish lozim.

Induksiya boshqaruvchi ikki, uch yoki ko'p fazali tizimlar o'zgaruvchan kuchlanishini boshqarish uchun qo'llaniladi. tuzilishli induksiya boshqaruvchi –rotor va stator cho'lg'amlari avtotransformator aloqasiga ega fazali rotorli tormozlangan asinxron mashina (3.89, a rasm).

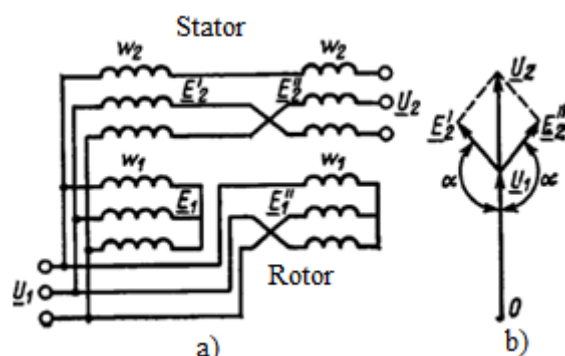
Induksiya boshqaruvchi rotorining burilishida U_2 yuklanishdagi kuchlanish 3.89, b rasmdagi vektor diagrammaga mos ravishda o'zgaradi. Yuklanishdagi kuchlanish U_2 tarmoq kuchlanishi va e_2 ni aniqlaydigan stator va rotordagi tarmoqlar soni nisbatiga bog'liq, quyidagiga teng

$$E_2 = \frac{\omega_2 k_{02}}{\omega_1 k_{01}} E_1, \quad (3.130)$$

Bu yyerda: $E_1 \approx U_1$; ω_1, ω_2 - rotor va statorning tarmoqlari soni; k_{01} va k_{02} - rotor va stator cho'lg'amlari cho'lg'am koefitsienti.



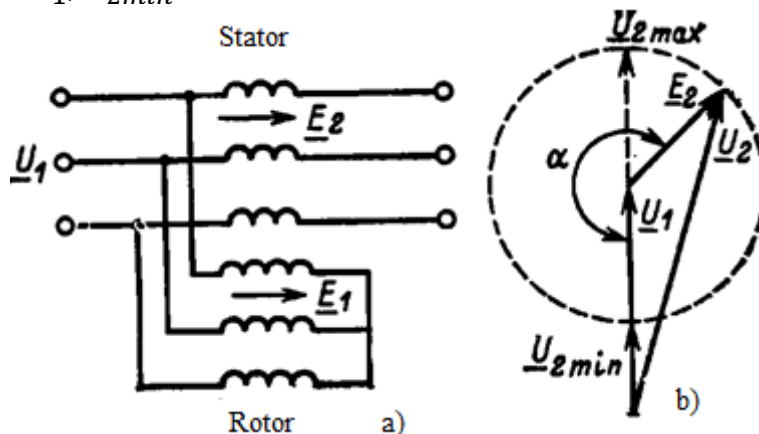
3.89 -rasm. Induksiya boshqaruvchining sxemasi va doira diagrammasi.



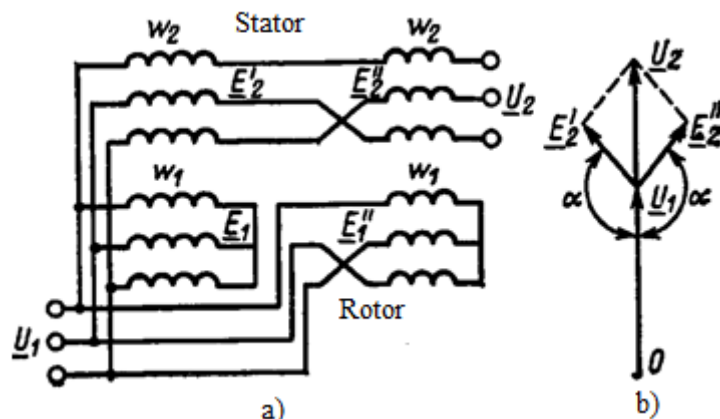
3.90 -rasm. Ikkilik induksiya boshqaruvchining sxemasi va vektor diagrammasi.

3.89, b rasm vektor diagrammasida α - stator va rotor cho'lg'amlari o'rtasidagi burchak. Rotorning statorga nisbatan burilishida U_2 vektor uchi doira bo'yicha ko'chadi va induksiya boshqaruvchining chiqishida kuchlanish U_{2min} dan U_{2max} gacha o'zgaradi.

Stator va rotor cho'lg'amlar tarmoqlarining soni teng bo'lganida $e_2 = E_1 = U_1$. Bunda $U_{2max} = 2U_1, U_{2min} = 0$.



3.89,a- rasm sxemasi bo'yicha induksiya boshqaruvchida rotorning burilishida kuchlanish tebranishi bilan birga faza ham o'zgaradi. Agar faqat kuchlanish o'zgarishiga ega bo'lish zarur bo'lsa, ikkilik induksiya boshqaruvchi qo'llaniladi



3.90, a rasm

Uzatish tizimlari uchun avtomatik boshqaruv tizimlarida ko'pincha aylanishning kichik chastotalari va katta momentlar talab qilinadi. Tarmoqning 50 yoki 400 Gs chastotasiga ega bo'lgan holda aylanishning past chastotasini motor qutblari sonini ko'paytirish yo'li bilan olish mumkin. Lekin qutblar sonining ko'paytirilishi texnologik sabablarga ko'ra cheklanadi, chunki tishlar kengligini 1,2 mm dan kichikroq qilish mumkin emas, motor o'lchami esa, qoidaga ko'ra, cheklangan. Mexanik reduktorlarning qo'llanilishi elektromexanik tizim aniqligini kamaytiradi va uni murakkablashtiradi.

Elektr mashinalari aylanish chastotasining elektromagnit reduksiyasini olish imkonini beradi. Elektromagnit reduksiya asosida dumalash va to'liq rotoriga ega, induktor tipidagi rotorli motorlarda tor tirqishning nosimmetriyasi va fazoviy garmonikalardan foydalanish yotadi.

Reduktor motorlarda asosiy garmonika sifatida aylanishning 5 – 7 marta kam sinxron chastotasiga ega 5- yoki 7-fazoviy garmonikadan foydalaniladi. Rotor va statorda tishlar sonining va qutblar jufti sonining ma'lum nisbatlarida Yuqori fazoviy garmonikalar 1-dan ko'ra katta tebranishga ega bo'ladi va motor Yuqori fazoviy garmonikada asosiysi kabi ishlaydi.

Reduktor motorlarning kamchiligi kichik FIK va motorlarning tayyorlanish texnologiyasiga bog'liq xarakteristikalarining tarqoqligi hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda sutkasiga bir aylanish va aylanish hissasida aylanishning ravon chastotasini ta'minlovchi to'ldiruvchi motorli elektromexanik tizimlar yaratilgan.

Eng katta qiyinchiliklar $\omega_p \approx 0$ bo'lganda katta momentli asinxron, shuningdek aylanish chastotasining chuqur boshqaruvini ta'minlovchi motorlarni yaratishda bo'ladi.

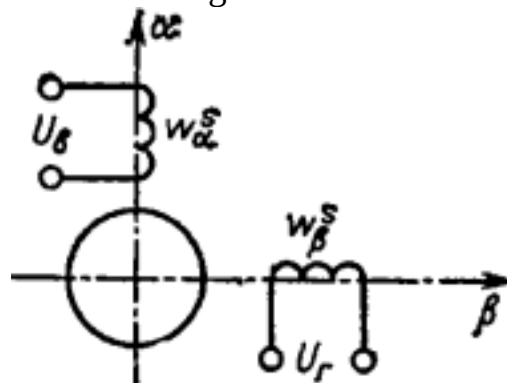
Generator rejimda avtomat boshqaruv tizimlarida asinxron mashinalar taxogeneratorlar sifatida keng ishlatiladi – aylanish chastotasi va tezlanish uzatgichlari.

O'zining tuzilishi bo'yicha asinxron taxogeneratorlar bo'sh rotorli taxogeneratorlardan hech qanday farq qilmaydi. Stator cho'lg'amlaridan biriga - ω_α^s qo'zg'atish cho'lg'amiga U_B o'zgaruvchan kuchlanish beriladi. Rotorning qo'zg'atish

cho'lg'amiga nisbatan 90° elektr burchakka surilgan statorning ikkinchi cho'lg'amidan ω_β^s aylanishida aylanish chastotasiga proporsional bo'lgan U_g yuklanish echiladi (3.109 rasm).

$\omega_p \approx 0$ bo'lganida qo'zg'almas rotorda, ω_β^s cho'lg'amda EYUK bo'lmaydi va $U_g=0$. (3.132) ga ko'ra aylanishda ω_α^s ga nisbatan 90° burchak ostida joylashgan ω_β^s stator cho'lg'amida ω_p ga proporsional sinusoidal kuchlanish bo'ladi.

Taxogenerator uchun kuchlanish ω_p ga chiziqli bog'liq bo'lishi, uning fazasi va shakli aylanish chastotasi o'zgarishida o'zgarmasligi muhim. Boshqa so'zlar bilan aytganda, asinxron taxogeneratorlarda tebranish va fazali xatoliklar minimal bo'lishi kerak emas. Xatoliklarni kamaytirish uchun yuqori qarshilikli rotor tayyorlash, U_g kuchlanishga ulanadigan yuklanish esa yuqori omli bo'lishi lozim. Bunda $U_g \approx E_g$ va chiqish cho'lg'amida tok asinxron taxogenerator xarakteristikalariga ta'sir qilmaydi.



3.93- rasm. Asinxron taxogenerator.

Taxogeneratorning muhim ko'rsatkichlaridan biri chiqish xarakteristikasining tikligi hisoblanadi.

$$k = \frac{\Delta U_g}{\Delta n}, \quad (3.149)$$

Bu yyerda: ΔU_g - chiqish kuchlanishining o'zgarishi; Δn - aylanish chastotasining o'zgarishi.

Chiqish xarakteristikasining tikligi qancha ko'p bo'lsa, avtomatik boshqaruv tizimi aniqroq ishlaydi. Lekin taxogenerator o'lchamlarini oshirmasdan chiqish xarakteristikalari tikligini oshirish tebranish va faza xatoliklari oshishiga olib keladi. SHuning uchun taxogeneratorlarni loyihalashtirishda chiqish xarakteristikasini xatoliklar bilan bog'lashga to'g'ri keladi. Aniq asinxron taxogeneratorlarda $k = 1 \div 3$ mV/(ayl/daq), kuzatuvchi tizimlar taxogeneratorlarida esa $k = 6 \div 10$ mV/(ayl/daq).

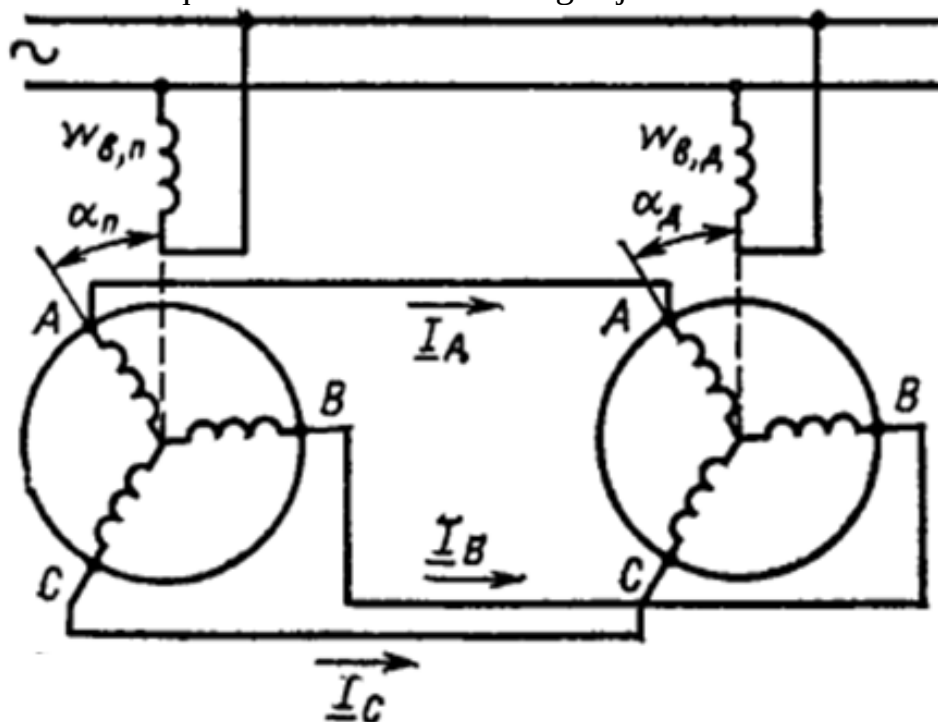
ω_α^s qo'zg'alish cho'lg'amini kuchlanish aylanishining doimiy chastotasida ta'minlanishida U_g nolga teng bo'ladi, dn/dt EYUK tezlanish bo'lganida ω_β^s cho'lg'amda (3.132) ga binoan tezlanish proporsional o'zgaradi. Bu rejimda asinxron taxogenerator tezlanish uzatgichi hisoblanadi.

Sinxron aloqa tizimlarida va burilish burchagini elektr signaliga o'zgartirishda selsin va burilish (aylanuvchi) transformatorlar qo'llaniladi.

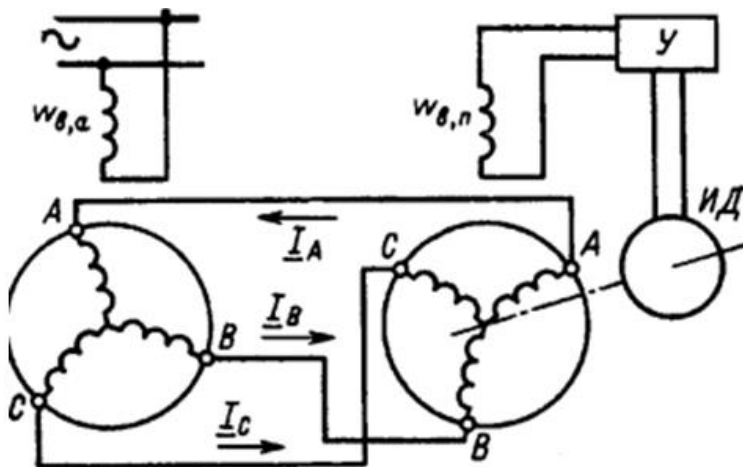
Uch fazali selsinlar tuzilishi jihatidan fazali rotorli sinxron mashinalardan farq qilmaydi. Bir fazali selsinlarda bir fazali qo'zg'atish cho'lg'ami va sinxronizatsiyaning uch fazali cho'lg'ami mavjud. Burilish transformatorlari rotorida halqaga chiqarilgan fazali cho'lg'amga ega ikki fazali asinxron motorlar. Selsin va burilish transformatorlari avtomatik boshqarish qurilmalarida uzatgich va qabul qilgichlar rolini bajarar ekan, ularni loyihalashtirishda asosiy e'tibor aniqlik va ishonchlilik masalalariga qaratilishi lozim.

Selsinlar ikki turdagi sinxron aloqa tizimlarida qo'llaniladi: sinxron burilish (burchakni berish) va sinxron aylanish (elektr vali).

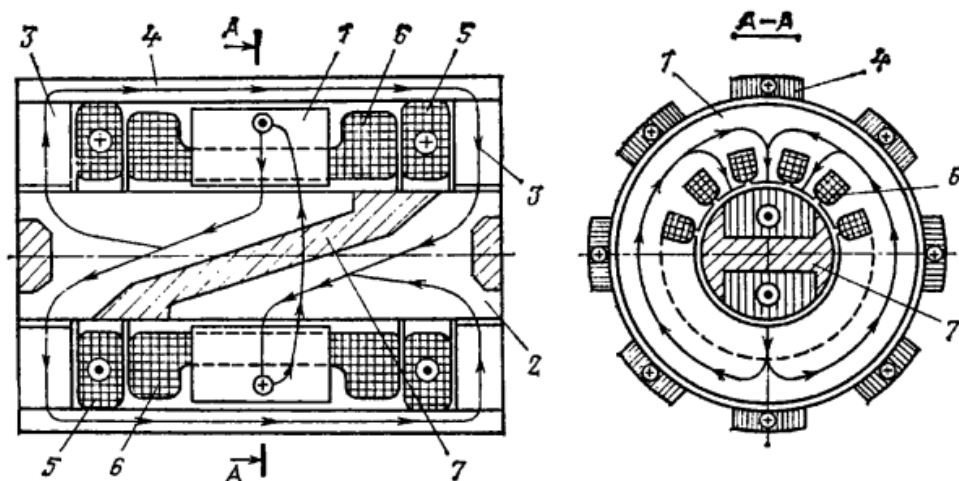
Burchak berish tizimlarini o'z navbatida o'qda qarshilik momenti kichik yoki bo'lmaydigan sinxron aloqaning indikator tizimlari va o'qda qarshilik momenti bo'ladigan sinxron aloqa transformator tizimlariga ajratish mumkin.



3.94- rasm. Indikatorli sinxron aloqa sxemasi.



3.95- rasm. Aloqaning transformator tizimi.



3.96 -rasm. Kontaktsiz selsin.

3.96- rasmda indikatorli sinxron aloqa sxemasi keltirilgan. Bu sxema ikki bir xil bir fazali selsin va aloqa chizig'ini o'z ichiga oladi. Selsin-uzatgich $\omega_{v,d}$ va selsin-qabul qilgich $\omega_{v,p}$ qo'zg'alish cho'lg'amlari bir tarmoqqa ulangan, selsin rotorlari cho'lg'amlari fazasining uchi – sinxronizatsiya cho'lg'amlari – kontaktor halqa va aloqa chiziqlari orqali o'zaro ulangan. Selsin-uzatgich rotorining α_d burchakka burilishida selsin-qabul qilgich rotor xuddi shunday burchakka burilishga intiladi. $\alpha_d \neq \alpha_p$ bo'lganida selsin-qabul qilgich va selsin-uzatgichda momentlar yaratuvchi I_A, I_B, I_S toklar hosil bo'ladi.

Sinxronizatsiya cho'lg'amlari fazalarida ravonlashtiruvchi tok quyidagicha aniqlanadi

$$I_y = \frac{\Delta E}{2Z_\phi}. \quad (3.150)$$

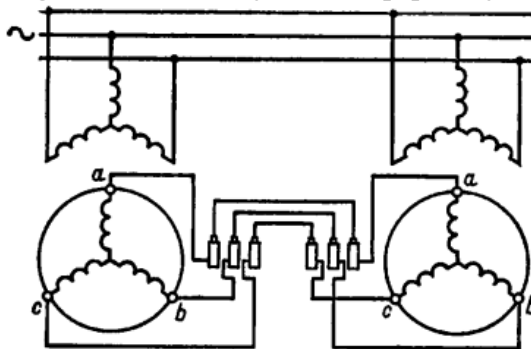
Bu yyerda: selsin uzatgichning burilish burchagi bilan aniqlanadigan $\Delta E - EDS$; Z_ϕ - selsin fazasining qarshiligi (uzatgich va qabul qilgichlar uchun bir xil).

Ravonlashtiruvchi toklarning selsinlar qo'zg'alish cho'lg'amlari pulsatsiyalaydigan maydoni bilan o'zaro ta'sirlashuvi natijasida tarqalish burchagi o'zgarganida sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi. Sinxronizatsiylovchi moment selsin-uzatgich va selsin-qabul qilgichga qo'yilgan.

Aloqaning transformator tizimi selsin-uzatgich, selsin-qabul qilgich, aloqa liniyasi, U kuchaytirgich va bajaruvchi motor ID dan tashkil topgan (3.111 rasm). bajaruvchi motor selsin-qabul qilgich bilan qayta mexanik aloqaga ega yuklash mexanizmi bilan ulangan. Selsin-uzatgichning qo'zg'alish cho'lg'ami o'zgaruvchan tokning bir fazali tarmog'iga ulangan va pulsovchi magnit maydon yaratadi. Pulsalaydigan magnit maydon EYUK uzatgichlari sinxronizatsiya cho'lg'amida bo'ladi, uning ta'siri ostida aloqa liniyasi va qabul qilgichning sinxronizatsiya cho'lg'amida doimiy toklar o'tadi. Bu toklar selsin-qabul qilgichda yo'nalishi qabul qilgich va uzatgichlar rotorining o'zaro joylashuviga bog'liq pulslaydigan magnit maydon yaratadi. Qabul qilgichni qo'zg'atish cho'lg'ami bilan ulangan holda, bu maydon EYUK ni – qabul qilgichning chiqish kuchlanishiga eltadi. So'ngisi

kuchaytirgichga beriladi, keyin bajaruvchi motorning boshqaruv cho'lg'amiga, u uzatgich bergan burchakni qayta ishlaydi va qabul qilgich rotorini chiquvchi kuchlanish nolga teng bo'ladigan holatga o'tkazadi. Selsin rotorlarining bunday holati kelishilgan deb ataladi.

Sinxron aloqa tizimlarining ish sifatini oshirish maqsadida ko'pincha selsinlar sirg'aluvchi kontaktlarsiz bajariladi (3.112 rasm). kontaktsiz selsinning statori 1 oddiy asinxron mashinaning statoridan deyarli farq qilmaydi.



3.113- rasm. Elektr val.

Stator tirqishalarida yulduzga birlashtirilgan sinxronizatsiyaning 6 uch fazali cho'lg'ami joylashadi. Kontaktsiz selsinning rotori 2 ikki qutbli va nomagnit oraliq bilan 7 ikki qismga bo'lingan. Qo'zg'alishning bir fazali cho'lg'ami 5 stator cho'lg'amlari va torondalar 3 o'rtasida joylashgan ikki qo'zg'almas halqa g'ildiraklar ko'rinishida bajarilgan. Torondalarning tashqi silindr sirtlari tashqi magnit simi 4 bilan bog'langan. Tashqi magnit simi va stator paketi o'rtasida nomagnit oraliq mavjud. Qo'zg'aluvchi cho'lg'ami bilan yaratiladigan magnit oqimning yo'li 3.112 rasmda ko'rsatilgan. U yoki bu sinxronizatsiya cho'lg'ami fazasiga ega qo'zg'alish cho'lg'ami oqim uzatmasi kontakt selsindagi kabi rotor holatiga bog'liq.

Sinxron aloqa tizimlarida ishlaydigan selsinlarga qo'yiladigan asosiy talab xatolik bilan xarakterlanadigan aniqlik hisoblanadi

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{max_1} + \theta_{max_2}}{2}. \quad (3.151)$$

Bu yerda: $\theta_{max_1}, \theta_{max_2}$ - bir aylanishga burilishda rotor qabul qilgichning rotor uzatgichdan maksimal musbat va manfiy chetlashishi.

$\Delta\theta$ ning qiymatiga qarab selsinlarni aniqlikning to'rt sinfiga bo'lishadi. Birinchi sinf uchun $\Delta\theta \pm 30 c$ dan ortiq emas, to'rtinchi sinf uchun esa - $\Delta\theta \pm 90 c$ dan ortiq emas.

Sinxron aylanish tizimlari bir yoki bir nechta sinxron ko'chuvchi mexanizmlarni almashtiradi. Elektr vali bir-biridan juda uzoqda bo'lgan, mexanik ulanish esa noto'g'ri yoki ilojsiz bo'lgan mexanizmlarning sinxron aylanishi kerak bo'lgan joyda qo'llaniladi. Elektr vali kontakt halqalari o'zaro ulangan fazali rotorli asinxron mashinalardan tashkil topgan (3.113 rasm). motor rotorlari kelishmaganida, selsinlar sxemasida bo'lgani kabi motor statorida rotorlarni kelishadigan holatga qaytaradigan tenglashtiruvchi toklar va elektromagnit momentlar hosil bo'ladi[8].

Burilish (aylanuvchi) transformatorlar avtomatik boshqaruv tizimlarida mexanik ko'chish – rotor burilish burchagini chiqish kuchlanishiga o'zgartirish uchun

qo'llaniladi. tuzilishi jihatidan ular kontakt halqaga chiqarilgan rotorning ikki fazali cho'lg'amiga ega ikki fazali motorni o'zida namoyon etadi. Ular tuzilishining o'ziga xosligi magnit tizimi va cho'lg'amlarning aniq bajarilishi hisoblanadi, buning natijasida fazoviy garmonikalar soni kamayadi, bu burilish transformatorlarining yuqori aniqligini ta'minlaydi.

Burilish transformatorlari $u = U_m \sin \alpha$; bo'lgan sinusli burilish transformatorlari; $U_A = U_m \sin \alpha$, $U_B = U_m \cos \alpha$ bo'lgan sinus-kosinus transformatorlar; $U = k\alpha$ bo'lgan chiziqli burilish transformatorlarisifatida ishlatiladi.

Burilish transformatorlari shuningdek quruvchilar va faza qaytaruvchilar sifatida ishlatiladi. Ular selsinlarning o'rnini egallashi mumkin. Burilish transformatorlari – simmetrik mashinalar bo'lganligi tufayli, ularda selsinlardagidan ko'ra yuqori aniqlikka erishiladi.

Sinus-kosinus burilish transformatorining yoqilish sxemasi 3.114 rasmda keltirilgan. Burilish transformatorining rotori burilganida A cho'lg'amda sinus qonuni, B cho'lg'amda esa – kosinus qonuni bo'yicha o'zgaradigan EYUK bo'ladi.

Agar burilish transformatorida rotordagi bir cho'lg'amdan foydalanilsa, bunday burilish transformatori sinus burilish transformatori deb ataladi.

Cho'lg'amlarning ma'lum ulanishida va cho'lg'am parametrlarining ma'lum qiymatlarida burchak o'zgarishining katta diatirqishonida $U = f(\alpha)$ o'zgarishni olish mumkin. Bunday burilish transformatorlari chiziqli burilish transformatorlari deb ataladi.

Maksimal xatolik bo'yicha (sinus va chiziqli bog'liqlik, α burchak va qator boshqa ko'rsatkichlardan chetlashuv) burilish transformatorlarini aniqlikning olti sinfga bo'lishadi. Yuqori aniq burilish transformatorlarida xatolik bir necha soniyadan oshmaydi.

Avtomatik boshqaruv tizimlarida qo'llaniladigan asinxron mashinalar o'rtasida girooskopik tizimlarning elektr mashinalari alohida o'rin egallaydi. Ular navigatsiya tizimlarining asosi hisoblanadi, ular yordamida turli kosmik obektlarning turg'unlashuvi amalga oshiriladi.

Asinxron giromotorlar qisqa yopiq rotor bilan bajariladi. Bu ulangan mashinalar. Tashqi rotor aylanish chastotasining ravonligini aniqlaydigan inersiyaning katta momentini ta'minlaydi. Daqiqasiga bir necha o'n ming aylanish chastotasiga ta'minlash kuchlanishining baland chastotasi hisobiga erishiladi – 400 dan – 2000 Gs gacha.

Nazorat savollari.

1. Kontaktsiz selsin sxemasini tushuntiring?
2. Indikatorli sinxron aloqa sxemasini tushuntiring?
3. Aloqaning transformator tizimini tushuntiring?

3.19. Rossiyada ishlab chiqariladigan asinxron motorlar turlari.

Asinxron motorlar xalq xo'jaligining barcha sohalarida elektr simlarini komplektlashda barcha asosiy ehtiyojlarni qoniqtiruvchi yagona rusum ko'rinishida

chiqariladi. Asinxron motorlar ko'p elektr simlari uchun asosiy motor hisoblanadi. Ular ishlab chiqariladigan elektr energiyasining deyarli yarmini iste'mol qiladi. Bunda elektr energiyasining katta qismini 10 kVt gacha quvvatli motorlar iste'mol qiladi. Shuning uchun quvvatlarning bu diatirqishonini egallaydigan, yagona 4A rusummotorlarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari mamlakat iqtisodi uchun muhim ahamiyatga ega.

1973 yildan buyon chiqarilayotgan 4A asinxron motorlarning yagona rusumsi 0,06 dan 400 kVt quvvatli motorlarni o'z ichiga oladi. Quvvatlarning standart shkalasi (3.1 jadval) motorlarning barcha modifikatsiyasi uchun qo'llaniladi. 0,06 dan 0,37 kVt quvvatgacha motorlar 220/380 V ga, 0,55 dan 110 kVt gacha – 220/380 va 380/660 V gacha, 132 dan 400 kVt gacha 380/660 V kuchlanishgacha bajariladi. Chiquvchi uchlar soni oltita, ulanishlar Δ/Y .

4A rusumda asosiy ijrodan tashqari qator maxsus ijrolar mavjud: tropik, kimyoviy, 60 Gs chastotaga, qishloq xo'jalik, to'qimachilik va hokazolar. yuqori ishga tushish momenti, yuqori sirg'aluvchi, kam shovqinli, ko'p tezlikli va ichki o'rnatiladigan motorlar chiqariladi.

Tuzilishi bo'yicha maxsus motorlar chiqariladi: ichki o'rnatilgan elektromagnit tormoz, harorati himoyalangan, ichki o'rnatiladigan, o'rnatish o'lchamlari bo'yicha yuqori himoyaga ega, kam shovqinli, yuqori aniq.

Asosan qisqa yopiq rotorli motorlar chiqariladi va o'zgaruchan iqlim sharoitlarida qo'llashga mo'ljallanadi. Motorlar himoyalangan (IP23) va yopiq qurilmalar (IP44) bilan bajariladi. Motor tiplarining belgilanishi quyidagicha:

4 – rusumning tartib raqami; A – asinxron; H – atrof-muhitdan himoyalangan tarzda ishlab chiqilgan (H-himoyalangan, harf bo'lmasa – yopiq shamollatiladigan); navbatdagi harf – rotor bajarilishining belgisi (K – fazali rotor, harf bo'lmasa – rotor qisqa tutash); keyin – motorning stanina va shitlar materiali bo'yicha bajarilishi (A – stan va shitlar alyuminiydan, harf bo'lmasa – stanina va shitlar chuyanli). Keyin markazlar balandligi, undan so'ng o'rnatiladigan o'lcham, qutblar soni iqlimiy bajarilishi va joylashish kategoriyasi ko'rsatiladi (GOST 15150-69 bo'yicha).

Masalan, 4AA63A6UZ – 4A rusumning asinxron motori, yopiq shamollatiladigan, stanina va shitlari alyuminiydan, aylanish o'qining balandligi 63, birinchi uzunlik magnit simi olti qutbli, mo'tadil iqlim hududlar uchun, joylashuvi uchinchi kategoriya.

4A rusumda hammasi bo'lib motorlarning yuzdan ortiq o'lchamlari bor. Rusumning ba'zi motorlari texnik ma'lumotlari 3.4 jadvalda keltiriladi, faqat ularning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari haqida umumiy tasavvurga ega bo'lish uchun.

4A rusum 1960-yildan buyon chiqarilgan A2 va AO2 asinxron mashinalar rusumsi o'rniga chiqdi. Hozirgi vaqtda bu rusummotorlari kam miqdorda chiqariladi.

Dunyo elektr mashinalar sanoatida texnik rivojlanishni hisobga olgan holda hozirgi vaqtda 4A rusummotorlarining modernizatsiyasi o'tkazilmoqda. Yuqori mustahkamlikka ega alyumin quymalardan tayyorlangan engillashtirilgan korpuslarning qo'llanilishi rejalashtirilmoqda. FIK ni oshirish uchun shtamplangandan so'ng kuydirishni talab qilimaydigan va kichik solishtirma yo'toqishlarga ega 2212 marka po'lat qo'llaniladi. Doimiy quyilgan moyli va

yaxshilangan akustik xarakteristikalarga ega podshipniklarning qo'llanilishi motorlar ishonchliligini oshiradi va shovqin darajasini pasaytiradi.

So'ngi yillarda SEV a'zosi bo'lgan mamlakatlar va yugoslaviya Interelektro xalqaro tashkilot doirasida elektrotexnik mahsulotlarning muhim turlarining yagona rusumsining yaratilishi va sanoatda ishlatilishini ko'zda tutuvchi kompleks dasturlar bo'yicha ish olib borishmoqda. Bu ishda asinxron mashinalarning yagona rusumsini yaratish muhim o'rin egallaydi. 0,2 dan 100 kVt gacha quvvatli asinxron motorlarning unifikatsiyalangan rusumsi ishlab chiqilgan.

1982-yilda 4A rusum bilan taqqoslaganda FIK, ishonchlik yuqori, material sig'imi kamaytirilgan, shovqin va vibratsiyalar pasaytirilgan asinxron motorlarning AI yangi unifikatsiyalangan rusumsining yaratilishi yakunlangan. AI rusumni yaratishda Bolgariya, Vengriya, GDR, Polsha, Ruminiya, sobiq ittifoq davrida, Chexoslovakiya va Yugoslaviya mutaxassislari ishtirok etgan.

3.4 jadval

Moto r tipi	Quvva t, kVt	Aylanish chastotas i, ayl/daq	FI K	Co s φ	$M_{\max}/M_{\text{no}}$ m	M_p/m_{no} m	$M_{\min}/M_{\text{no}}$ m	I_p/I_{no} m	Mass a, kg

3.5 jadval

Mot or tipi	Quvv at, kVt	Aylani sh chastot asi, ayl/daq	Kuchlan ish, V	FI K	C os φ	$M_{\max}/M$ nom	M_p/m nom	I_p/I_n om	Kondens ator sig'imi, mkF	Mas sa, kg
									C_p	C_p

Inter elektr ishtirokchi mamlakatlarining yagona rusumsi bu mamlakat xalq xo'jaliklarini yuqori tejamkorlikka ega va eng yaxshi xalqaro na'munalardan ustun ishonchli asinxron motorlar bilan ta'minlaydi. AI rusummotorlarining chiqarilishi 1984-yilda boshlangan.

Sobiq ittifoq davrida da ishlab chiqilgan, aylanish o'qlarining balandligi 400 va 450 mm bo'lgan 4A, AK4, DA304 rusumlar Interelektro unifikatsiyalangan rusumlarining asosiy tarkibiy qismi hisoblanadi. Rusumlar quvvati 200 dan 1000 kVt gacha, aylanish chastotasi 3000 – 500 ayl/daq, himoya darajalari IP23 va IP44 bo'lgan qisqa tutashgan va fazali rotorlar ega yuqori voltli asinxron motorlarning 62 tipini o'z ichiga oladi. Rusummotorlarida vazifasi, sovitish va himoya usullari bo'yicha motorlarning turli modifikatsiyalarini olish imkonini beradigan unifikatsiyaning yuqori darajasi ta'minlangan. Motorlar yuqori kategoriya sifatga mos keladi. AH rusum 14 – 18 gabarit motorlar aylanish chastotasi 250 – 1000 ayl/daq va kuchlanish 6 kV bo'lganida quvvatning 200 dan 2000 kVt diatirqishoniga ega. Qisqa tutashuvli (AH rusum) va faza rotorli elektr motorlar (AKH rusum) ochiq bajariladi.

Kran va metallurgiya elektr simlarida ishlash uchun MTF va MTFK va MTH va MTKH rusum uch fazali asinxron motorlar chiqariladi. MTF va MTFK rusum kran asinxron motorlar qisqa vaqtli va takroriy-qisqa vaqtli ish rejimlari va katta

yuklanishlar bilan xarakterlanadi. MTH va MTKH rusum metallurgiya motorlari Yuqori haroratlarda ishlaydigan metallurgiya ishlab chiqarish simlari uchun mo'ljallangan. MTF va MTH rusum elektr motorlarida fazali rotor, MTFK va MTKH rusumlarda – qisqa tutashuvli. Motorlar maksimal momentning 2,3 – 3,2 ga teng maksimal moment karraligiga ega. Motorlar quvvati 1,4 dan 37 kVt gacha, tarmoq kuchlanishi 380/220 V.

Ko'p miqdorda asinxron motorlar maishiy qurilmalarda ishlatiladi.

3.5 jadvalda 4A rusum bir nechta bir fazali modifikatsiyalarning texnik-iqtisodiy ma'lumotlari keltirilgan, $f=50$ Gs. AKD rusum kondensatorli bir fazali motorlar yoqiladigan va ishchi sig'implarda chiqariladi.

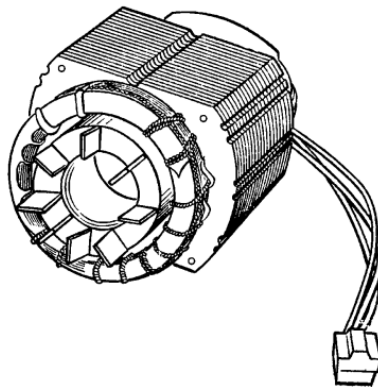
Motorlarning bajarilishi yopiq IP44 va sovitish usuli bo'yicha – shamollatiladigan ICO 141, ish rejimi davomiy, motorlar qizish sinfi B. Rusummotorlarning 64 tip o'lchamiga ega. Motorlarning to'liq nomi: 4A – asinxron motorlar rusumsining tartib raqami, keyin korpus materiali (A – alyumin quyma, X – cho'yan), motor tipi (T – ishchi kondensatorli, UT – ishchi va yoqiladigan kondensatorli, e – yoqiladigan fazali).

Maishiy qurilmalar uzatmasida (ovoz yozish apparaturasi, lentaning aylantirilishi, nazorat-kassa apparatlari, sentrifuga, freon kompressor) KD rusum asinxron kondensator motorlari qo'llaniladi. bu motorlar 220 V kuchlanish, $f=50$ Gs, quvvat 2,5 dan 50 Vt gacha, $FIK=0,15/0,6$, $\cos \varphi = 0,87/0,95$, massasi 0,75 – 2,4 kg gacha chiqariladi (3.115 rasm).

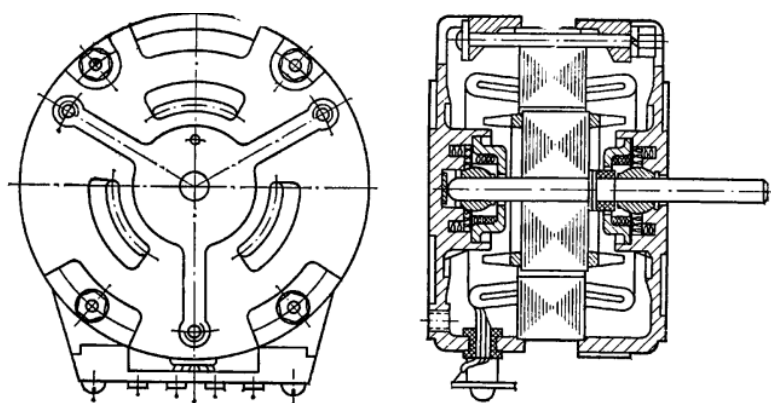
AOL, AVE rusum umumiy vazifadagi motorlar keng qo'llaniladi. AOL 30 – 400 Vt, AVE esa - 18 – 400 Vt quvvatga chiqariladi.

Yoqilish cho'lg'amida yuqori faol qarshilikka ega motorlar (3.116 rasm) maishiy muzlatgichlarning germetik kompressori uzatmasida ishlatiladi. Bu motorlar xladon-12 va freon-22 va refrijerator moyi sohasida ishlash uchun mo'ljallangan. Bu motorlar 60 dan 150 Vt gacha quvvatga va 1500 ayl/daq, $FIK=0,5/0,7$, $\cos \varphi=0,56/0,62$ ga chiqariladi. Faol materiallarning sarfi 0,027 – 0,057 kg/Vt.

UAD rusumdagi universal asinxron motorlar – statorda taqsimlovchi cho'lg'amli uch fazali asinxron motorlar. Ular uch fazali 220 V tarmoqqa stator cho'lg'amlari yulduzga va ishchi kondensatorning tarmoqning erkin fazasiga 220 V bir fazali tarmoqqa ulanganida ishlay oladi.



3.115 -rasm. Kondensatorli motor.



3.116- rasm. Asinxron mikromotor.

UAD rusummotorlari 220 V kuchlanishda va aylanishning 1500 va 3000 ayl/daq sinxron chastotasida 1 dan 70 Vt gacha quvvatga ega. Ular -60 dan +85 °C haroratda ishlash uchun mo'ljallangan. Korpusdan 1 m masofada shovqin darajasi 45 – 70 dB. Rusummotori statorning to'rt diametrda bajarilgan etti o'lcham tipiga ega. UAD rusum mikromotorlarning texnik ma'lumotlari 3.6 tasmda keltirilgan.

400 Gs chastotaga DAT rusum asinxron motorlari chiqariladi. Rusum 10 dan 10 000 Vt gacha quvvatli 220 V kuchlanishli va 10 800, 7500 va 5600 ayl/daq aylanish chastotali motorlarni o'z ichiga oladi. Motorlarning massasi 0,15 – 12,5 kg. Motorlar ishlash rejimi davomiy, atrof muhi harorati pasaygan atmosfera bosimida 60 dan 100°C gacha.

Hozirgi vaqtda 0,6 – 180 Vt quvvatli maishiy elektromotorlarning yagona unifikatsiyalangan rusumsi ishlab chiqilgan. Rusumda mashinalar tayyorlashning ko'p murakkab jarayonlarini avtomatlashtirish imkonini beruvchi progressiv texnologiyalar ko'zda tutilgan.

Asinxron motorlarni tayyorlashga elektrotexnik po'lat va sim cho'lg'amlarining katta soni ketadi. Asinxron motorlarning optimal loyihalashtirilishi va ulardan to'g'ri foydalanish xalq xo'jaligi uchun muhim ahamiyatga ega.

3.6 jadval.

Motor tipi	Quvvat , kVt	Aylanish chastotasi, ayl/daq	FI K	$\cos \varphi$	$M_{\max}/$ M_{nom}	M_p/m_{nom}	I_p/I_{no} m	Massa, kg

III-BOB XULOSASI.

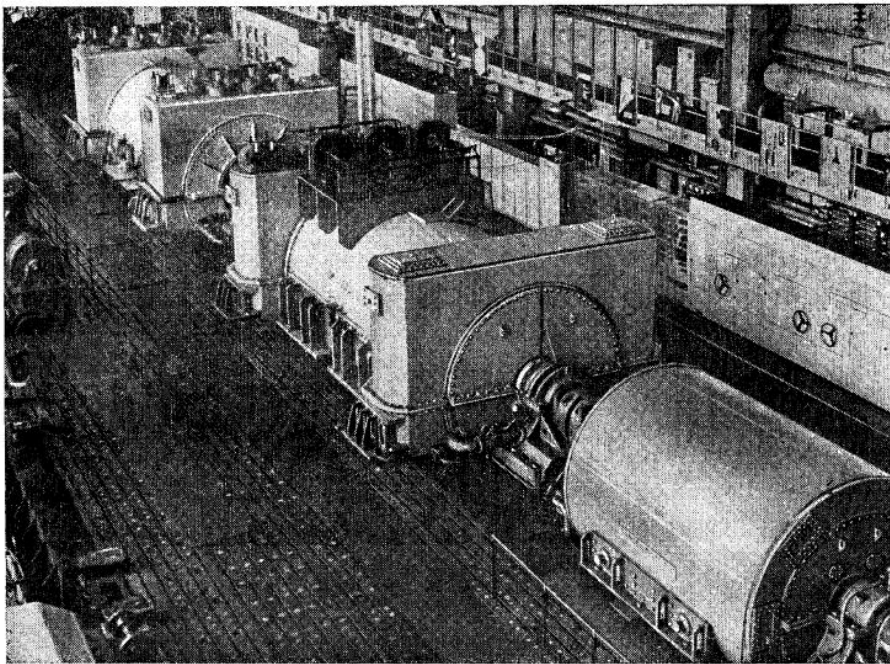
Bu bob asinxron mashinalar bobi bo'lib, bu bobda asinxron mashinalar to'liq tahlil qilingan. Asinxron mashinalarning tuzilishi, ishlash prinsipi va ishlash rejimlari o'rganilgan. Asinxron mashinalarni chulg'amlarini tuzilishi, qanday materialdan yasalishi, o'lchamlari va izolyatsiya qatlami ko'rib chiqilgan. Asinxron mashinalarni xarakterlovchi tenglamalar va almashtirish sxemalari asosida ularning vector diagrammasi, aylanma diagrammasini loyihalash masalalari tahlil qilib izohlangan. Asinxron mashinalarni elektromexanik o'zgartgich sifatida o'rganilib, undagi elektromagnit moment

IV -BOB

SINXRON MASHINALAR

4.1. Sinxron mashinalarning ishlash rejimi.

Sinxron mashinalarda rotorning burchak tezligi maydon sinxron burchak tezligiga teng $\omega_r = \omega_s$. Agar stator cho'lg'amlariga o'zgaruvchan toklar, rotor cho'lg'amiga esa – doimiy tok kelsa, umumlashtirilgan elektr mashinalari modelidan sinxron mashinalarni olish mumkin (1.28-rasmga qarang). Xuddi shunday, agar rotor cho'lg'amlarida o'zgaruvchan toklar, statorda esa doimiy tok o'tadigan cho'lg'amlar bo'lsa, energiyaning o'zgarish jarayonlari kuzatiladi. Bunday mashinalar umumlashgan mashinalar deb ataladi. Umumlashgan mashinalar kam qo'llaniladi, chunki kuch cho'lg'amlari qo'zg'almas qismda joylashtirish qulay va qo'zg'alish quvvati mashina quvvatidan kichik.



4.1-rasm. “Elektr kuch” yirik mashinalarining sinov stendi. Yuklanish
turbogeneratorlari 1000-2.

Barcha elektr mashinalarida bo'lgani kabi, sinxron mashinalarda ham stator va rotor maydonlari bir-biriga nisbatan qo'zg'almas bo'lib, rotor cho'lg'amlaridan doimiy toklar o'tadi ($f_2=0$), hamda stator va rotor maydonlari rotorga nisbatan qo'zg'almasdir.

Sinxron mashinalar uch rejimda ishlaydi: generator, motor va sinxron kompensator rejimida.

Sinxron mashinalarning eng ko'p tarqalgan ish rejimi generator rejimi hisoblanadi. Yer yuzidagi deyarli barcha elektr energiyalar sinxron mashinalarda ishlab chiqariladigan bilan deb aytish mumkin. Sinxron generatorlar – inson yaratgan eng quvvatli elektr mashinalari hisoblanadi. Issiqlik va atom elektrostansiyalarida 3000 ayl/daq ga 1200 MVt quvvatli va 1500 ayl/daq 1600 MVt quvvatli turbogeneratorlar ishlatiladi[8].

Turbogeneratorlar – ayon bo'lmagan qutbli tez yurar elektr mashinalaridir. Ularning rotor diametri 1,2 – 1,25 m va stator faol qismining uzunligi 7 m.

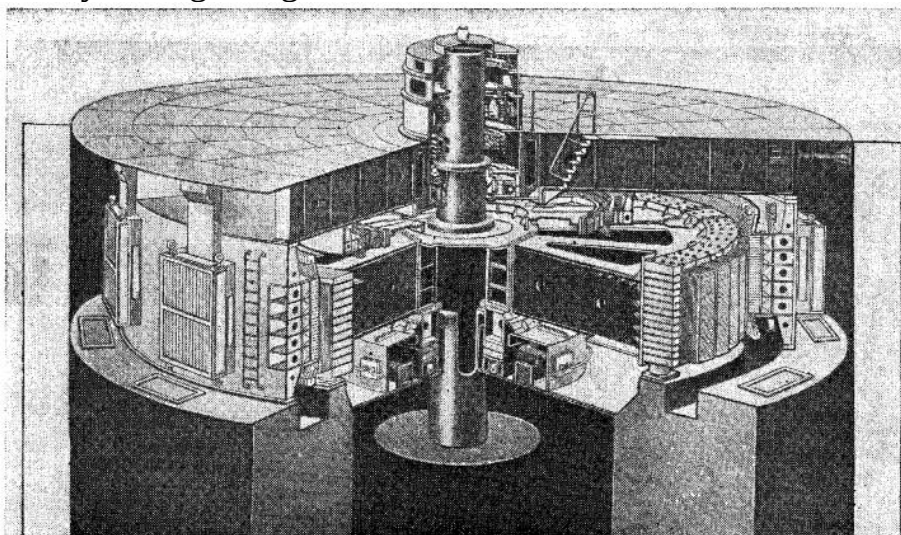
Turbogeneratorlarda taxminan 99% ga teng aylanish mashinalari uchun eng Yuqori FIK ga va $0,456 \text{ kg}/(\text{kV} \cdot \text{A})$ ga teng quvvat birligi massaga erishilgan (4.1-rasm).

Gidrogeneratorlar – ayon qutbli sekin yurar elektr mashinalari hisoblanadi. Masalan, 500 MVt quvvatli Krasnoyarsk gidrogenerator rotorining diametri 16,1 m ga teng, yurakcha balandligi – 1,75 m, FIK – 98,2%. Krasnoyarsk gidrogeneratorining massasi 1650 t (4.2-rasm).

TES dagi asosiy turbogeneratorlar 300, 500 va 800 MVt quvvatli turbogeneratorlar hisoblanadi.

Dizel-generator uskunalar uchun sinxron generatorlar yuzdan o'n ming kilovattgacha quvvatga ega. Yuz vattdan bir necha kilovattgacha quvvatga ega avtomobil va traktor generatorlarning chiqarilishi yiliga million donaga etadi.

Dvigatel rejimida sinxron mashinalar uzatmali dvigatel sifatida kuchli nasos, ventilyator, havo chiqaruvchilardan foydalanadi. Sinxron dvigatellarning dastlabki quvvati bir necha yuz megavattga etadi.



4.2-rasm. R = 500 MVt, U = 15,75 kV, n = 93,8 ayl/daq Krasnoyarsk gidrogeneratori.

Sinxron mikrodvigatellar turli elektr uzatmalarda keng qo'llaniladi. Qo'zg'atish maydonini yaratish uchun doimiy magnitlardan foydalaniladigan motorlar ko'p ishlab chiqariladi. Quvvati o'nlab kilovatt bo'lgan sinxron motorlar yoqilish xossalari yomonligi va chayqalishga ega ekanligi tufayli kam miqdorda ishlab chiqariladi.

Sinxron mashinalarning asosiy ustunliklaridan biri ular reaktiv quvvat manbai bo'la olishi hisoblanadi. Agar asinxron mashinalar maydonni yaratish uchun tarmoqdan reaktiv quvvat iste'mol qilsa, unda sinxron mashinalar qo'zg'alish darajasiga qarab reaktiv quvvatni tarmoqqa beradi yoki undan iste'mol qiladi.

Generator yoki reaktiv quvvat iste'molchilari rejimida ishlaydigan sinxron mashinalar sinxron kompensatorlar deb ataladi. Energetika tizimlarining dinamik turg'unligini oshirish va elektr energiyasining sifatini oshirish uchun sinxron kompensatorlarni sinxron generatorlar sonida chiqarish kerak. Sinxron kompensatorlar ayon va noayon qutbli sinxron mashinalar bazasida chiqariladi.

Barcha elektr mashinalari kabi, sinxron mashinalar qaytuvchandir. Hozirgi kunda gidroakkumulyatsiyalovchi stansiyalar uchun tizimda elektr energiyasi ortiqcha bo'lganida suvni dovonning pastidan yuqori qismiga chiqaradigan nasoslar, yuklanish

cho'qqisiga chiqqanida – elektr energiyasini ishlab chiqaradigan generatorni aylantiradigan gidravlik turbina sifatida ishlaydigan gidrogeneratorlar chiqarilmoqda. Bu holatda bir sinxron mashinadan generator va dvigatel rejimida foydalaniladi.

Qoidaga ko'ra, sinxron generator va dvigatellar $\cos\varphi = 0.8 \div 0.9$ bilan ishlatiladi. Bunda agar sinxron mashina qayta qo'zg'alishda ishlasa, reaktiv energiya tarmoqqa keladi.

Turbogeneratorlar 3000 va 1500 ayl/daq aylanish chastotasida gorizontal val bilan ishlatiladi. Gidrogeneratorlar – qoidaga ko'ra, aylanishning vertikal o'qiga ega sekin yuruvchi mashinalardir. Gidravlik turbina gidrogenerator ostida joylashadi va u bilan flanets yordamida ulanadi. Gidrogeneratorlar o'lchamlari bo'yicha turbogeneratorlardan ancha katta. Gidrogeneratorlarning tuzilish qismi katta hajm egallaydi. Tayanch podshipnik rotor, gidravlik turbina va suv ustuni bosimi massasini qabul qiladi. Shunday qilib, 225 MVt quvvatga ega gidrogeneratorda bosim kuchi $3,5 \cdot 10^7$ N ni tashkil etadi. Gidravlik turbina bilan birga agregat balandligi 25 – 30 m ni tashkil qiladi.

Birinchi shahar va tuman elektrostansiyalari asr boshida paydo bo'lgan. 1899-yilda bug' trubinasi turbogenerator bilan ulangan.

Keyingi yillarda elektr energiyasini ishlab chiqish 1000 marta oshdi va 1985-yilda 1545 mlrd kVt*soatga etdi. Elektr energiyasini ishlab chiqarilishining bunday o'sishi turbo va gidrogeneratorlarning yagona quvvatining o'sish hisobiga ta'minlandi.

So'ngi 30–40-yillarda deyarli bir xil o'lchamdagi turbogeneratorlarning quvvati 10 marta o'sdi. Bu XX asr ikkinchi yarmining eng yirik ilmiy kashfiyotlaridan biri. Quvvatning bunday oshishiga mashinalarning belgilangan sovitilishi hisobiga erishildi. Stator va rotor cho'lg'amlari ichki suvda sovitilishining qo'llanilishi turbogeneratorlarning quvvatini 2000 MVt gacha chiqarish imkonini beradi.

1923-yilda "Elektr kuch" zavodi Volxovsk GES i uchun quvvati 7 MVt va aylanish chastotasi 75 ayl/daq bo'lgan gidrogenerator chiqardi. Dneprogas da 1934-yilda quvvati 63 MVt va aylanish chastotasi 88,2 ayl/daq bo'lgan gidrogeneratorlar o'rnatildi. Urushdan so'ng Volj GES lari uchun quvvati 125 MVt va aylanish chastotasi 68,2 ayl/daq bo'lgan gidrogeneratorlar qurildi. 50-yillarda chiqarilgan gidrogeneratorlar 225 MVt quvvat va 125 ayl/daq aylanish chastotasiga ega. 60-yillarda chiqarilgan Krasnoyarsk mashinasi 500 MVt quvvat va $n=93,8$ ayl/daq ga ega. Sayano-Shushen GES i uchun gidrogeneratorlar – dunyodagi eng quvvatliilaridan biri – aylanish chastotasi 142,8 ayl/daq bo'lganida 640 MVt (720 MV*A).

Yaqin yillarda yanada quvvatli gidrogeneratorlar chiqariladi. Gidrogeneratorlarning chegara quvvati gidroelektr stansiyasining quvvati bilan limitlanadi.

Sinxron mashinalar asinxronlari oldidagi ustunlik tufayli yangi qo'llanilish sohalariga ega bo'lmoqda va ularning ishlab chiqarilishi kundan-kun ko'paymoqda.

GOST 183-74 ga turbo- gidrogenerator va sinxron to'ldiruvchilar standartlariga ko'ra (GOST 533-76, GOST 609-75, GOST 5616-84) mashina korpusiga mahkamlangan taxtachada yoziladigan nominal ma'lumotlarga quyidagilar kiradi:

- Nominal quvvat (generator va to'ldiruvchilar uchun – kilovolt-amparlarda to'liq quvvat, motorlar uchun – valdagi quvvat kilovatlarda);
- Quvvatning nominal koeffitsienti (qayta qo'zg'alishda);
- Nominal FIK (motorlar uchun);
- Cho'lg'amlar ulanish sxemasi;
- Nominal (chiziqli) kuchlanish, V;
- Aylanish chastotasi, ayl/daq (gidrogeneratorlar uchun aylanishning burchak chastotasi ham ko'rsatiladi);
- Yakor tokining chastotasi, Gs;
- Yakorning chiziqli nominal toki, A;
- Qo'zg'alish cho'lg'amida nominal kuchlanish va tok.

Shuningdek shitokda – mashinani ishlab chiqaruvchi va chiqqan yili ko'rsatiladi.

Nazorat savollari.

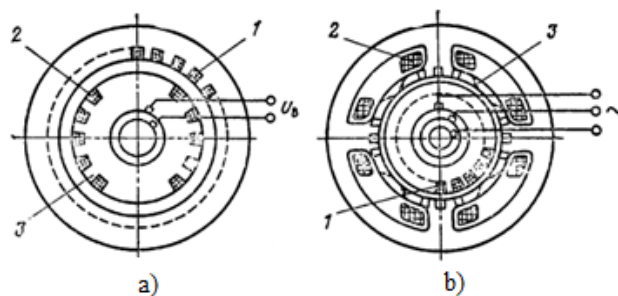
1. Sinxron motor boshqa motorlardan qaysi asosiy parametric bilan farq qiladi?
2. Sinxron motor va generatorni tavsiflovchi kattaliklarni ayting?
3. GOST standartlari sinxron generatorlar uchun qaysilar?

4.2. Sinxron mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayonlari.

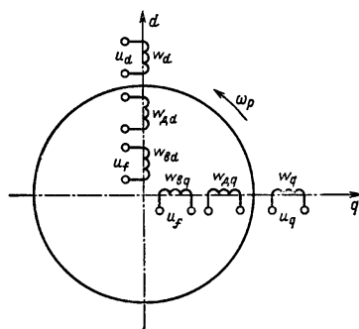
Asosiy chiqariladigan noayon sinxron mashinaning sxemasi 4.3a-rasmda keltirilgan. Yakor cho'lg'ami stator 1 pazlarida qo'zg'alish cho'lg'ami esa 2 - rotor da joylashgan,

Tirqishli ilmoq va po'lat massiv rotor dempfer 3 cho'lg'am hisoblanadi. Qo'zg'alish quvvati mashina quvvatining bir necha foizini tashkil qiladi, shuning uchun bunday chiqarilishda cho'tkali apparat ishonchli ishlaydi, qo'zg'alish cho'lg'amida doimiy tok o'tar ekan, uning keltirilishi uchun ikki halqa va ikki cho'tka talab qilinadi.

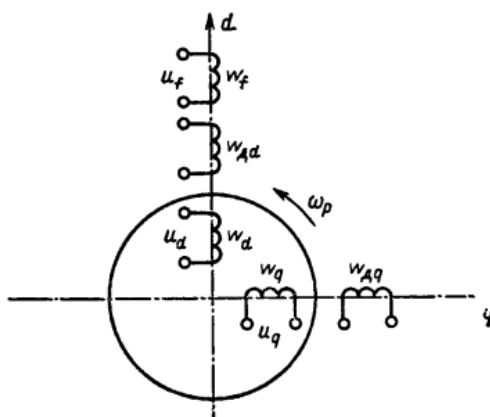
Ulangan tuzilishda (4.3,b-rasm) yakor cho'lg'ami 1 aylanadigan qismda, qo'zg'alish cho'lg'ami esa 2 – statorda joylashgan. Misli payvand shinalarni o'zida namoyon etuvchi dempfer cho'lg'am 3 qutbli uchlar paziga qo'yiladi va mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qlarida qisqa tutashuvchi konturlar yaratadi. Tushunarli bo'lishi uchun ayon qutbli tuzilishga keltirilgan tuzilmaning bunday ishlab chiqarilishi keng tarqalgan. Ulangan tuzilmaning kamchiligi mashinaning to'liq quvvatiga qaratilgan cho'tka qurilmasining borligi hisoblanadi. Yirik sinxron generatorlarda ulangan tuzilma tokni o'lchash imkoniyati bo'lmaganligi tufayli qo'llanmaydi.



4.3-rasm. Sinxron mashinalar bajarilishining asosiy tuzilmali sxemalari.



4.4-rasm. Sinxron mashina modeli.



4.5 rasm. Ulangan sinxron mashina modeli.

Agar $\omega_R = \omega_{S1}$ bo'lsa, umumlashtirilgan mashina modelidan sinxron mashinaning sodda modelini olish mumkin. Sinxron mashinalar rotorida dempfer cho'lg'am va qo'zg'alish cho'lg'amiga ega. Shuning uchun sinxron mashinani uyurmali toklarni hisobga olmasdan statorda bir cho'lg'amli va rotorda ikki cho'lg'amli mashina sifatida ko'rib chiqish lozim. 4.4-rasmda quyidagi belgilar qabul qilingan: W_d va W_q – d va q o'q bo'yicha yakor cho'lg'amlari, U_d va U_q – bu cho'lg'amlarga qo'yilgan kuchlanishlar; W_{dd} , W_{dq} – d va q o'qlar bo'yicha dempfer cho'lg'amlar (odatda bu qisqa tutash cho'lg'amlar va ulardagi kuchlanish nolga teng); W_{bd} va W_{bq} – qo'zg'alish cho'lg'amlari; U_f – qo'zg'alish cho'lg'amlarining kuchlanishi.

Sinxron mashinalarda qo'zg'alish cho'lg'ami bir o'q bo'yicha, qoidaga ko'ra, bo'ylama o'q bo'yicha bajariladi (1.30-rasmga qarang). Tarmoqlar bir o'qda joylashganida misning tejalishiga erishiladi, bunda mashinada energiyaning o'zgarish jarayonlari o'zgarmaydi.

Tenglamada EYUK ga ega hadlar kam bo'lishi uchun yakori aylanuvchi cho'lg'amli mashinani ko'rib chiqish qulayroq (4.5-rasm). Energiyaning elektromexanik o'zgarish jarayonlari tor tirqishda sodir bo'ladi, shuning uchun ular cho'lg'amlar aylanishi yoki qo'zg'almasligiga qarab o'zgaradi. Cho'lg'amlarning nisbatan ko'chishi muhim.

Sinxron mashina tenglamalarini tuzishda ularni rotor cho'lg'amlari bilan bog'liq d, q koordinatalar tizimida yozish qulay. Kuzatuvchi mashina rotorida turgan holda, tor tirqishda rotorga nisbatan stator cho'lg'aming o'zgaruvchi toklari bilan yaratilgan qo'zg'almas magnit maydonni "ko'radi". Agar rotorda magnit maydonni to'xtatilsa, qo'zg'almas magnit maydonni o'zgarmaydi. Mashinaning yakor

chulg'amiga aylanuvchi EYUK berib, tok chastotasi nolga tenglashtirilganda mashina tormozlanishi jarayonidagi tok bilan aylanuvchi mashinadagi toklar o'zgarmasdan qoladi.

Sinxron mashinaning keltirilgan cho'lg'amlari uchun kuchlanishning tenglamalar sistemasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} u_d &= \frac{d\psi_d}{dt} - \Psi_q \omega_p + r_a i_d; \\ u_q &= \frac{d\psi_q}{dt} - \Psi_d \omega_p + r_a i_q; \\ u_f &= \frac{d\psi_f}{dt} + r_f i_f; \\ 0 &= \frac{d\psi_{dd}}{dt} + r_{dd} i_{dd}; \\ 0 &= \frac{d\psi_{dq}}{dt} + r_{dq} i_{dq}, \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Bu yerda:

r_a - yakor cho'lg'aming aktiv qarshiligi;

r_f - qo'zg'atuvchi cho'lg'aming aktiv qarshiligi;

r_{dd}, r_{dq} - dempfer cho'lg'aming d va q o'qlari bo'yicha aktiv qarshiligi; va

i_d va i_q - bo'ylama va kundalang o'q bo'yicha, yakorning cho'lg'aming toki,

i_f - qo'zg'atuvchi cho'lg'amidagi tok;

i_{dd} va i_{dq} - mashinaning bo'ylama va kundalang o'q bo'yicha dempfer cho'lg'amidagi toki;

$\omega_p = \omega_c$ - rotorning burchak tezligi.

(4.1) formula ko'rinishida chulg'amning oqim bog'lanishi aniqlanadi

$$\left. \begin{aligned} \psi_d &= L_d i_d + M_{ad} i_f + M_{ad} i_{dd}; \\ \psi_q &= L_q i_q + M_{aq} i_{dd}; \\ \psi_f &= L_f i_f + M_{ad} i_d + M_{ad} i_{dd}; \\ \psi_{dd} &= L_{dd} i_{dd} + M_{ad} i_d + M_{ad} i_f; \\ \psi_{dq} &= L_{dq} i_{dq} + M_{aq} i_q. \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Bu yerda

L_d, L_q - mashinaning bo'ylama va kundalang o'q bo'yicha, yakor cho'lg'aming induktivligi;

L_f - uyg'otuvchi cho'lg'aming induktivligi;

L_{dd} va L_{dq} - mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'q bo'yicha, dempfer cho'lg'aming induktivligi;

M_{ad}, M_{aq} - bo'ylama va ko'ndalang o'q bo'yicha, cho'lg'amlar orasidagi o'zaro induktivlik.

Barcha mashinalar uchun to'la induktivlik o'zaro induktivlik va induksiya yig'indisiga teng; $L = M + L_\delta$

Bundan ko'rinadiki, mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'q bo'yicha umumiy oqim mavjud va barcha cho'lg'amlarda tarqoq to'lqin va maydon mavjud.

Elektromagnit momenti tok orqali aniqlanadi

$$M_{em} = M(i_f i_q + i_q i_{dd} - i_d i_{dq}), (4.3)$$

Bu yerda M noaniq qutbli mashina uchun o'rinli. Keyin magnit momenti va tokning elektromagnit momenti orqali quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M_{em} = \psi_d i_q - \psi_q i_d (4.4)$$

Ayon qutbli mashinaning momentini aniqlash uchun ko'ndalang va bo'ylama o'q buyicha magnit o'tkazuvchanligini, reaktiv momentini aniqlash lozim.

Kuchlanish va moment tenglamalarning yig'indisi sinxron mashinalarda energiya almashtirishning elektromexanik jarayon ko'rinishidir.

Sinxron mashinalarning tenglamalarini almashtirib, quyidagi ifodaga qo'yamiz.

$$\left. \begin{aligned} u_d &= L_d \frac{d}{dt} i_d + M_{ad} \frac{d}{dt} i_f + M_{ad} i_{dd} - L_q i_q \omega_p - M_{aq} i_{dd} \omega_p + r_a i_d; \\ u_q &= L_q \frac{d}{dt} i_q + M_{aq} \frac{d}{dt} i_{dq} + L_d i_d \omega_p + M_{ad} i_f \omega_p + M_{ad} i_{dd} \omega_p + r_a i_q; \\ u_f &= L_f \frac{d}{dt} i_{dd} + M_{ad} \frac{d}{dt} i_d + M_{ad} \frac{d}{dt} i_{dd} + r_f i_f; \\ 0 &= L_{dd} \frac{d}{dt} i_{dd} + M_{ad} \frac{d}{dt} i_d + M_{ad} \frac{d}{dt} i_f + r_{dd} i_{dd}; \\ 0 &= L_{dq} \frac{d}{dt} i_{dq} + M_{aq} \frac{d}{dt} i_q + r_{dq} i_{dq}. \end{aligned} \right\} (4.5)$$

Sinxron mashinaning (4.5) tenglamasi asinxron mashinaning tenglamasidan murakkab. Agar sinxron mashinani dempfer cho'lg'amsiz qarasak, ularni qo'yidagicha solishtirish mumkin. Dempfer chulg'am o'rnatilgan rejimda rotor tebranishiga dempferlab ta'sir qiladi. Dempfer cho'lg'amsiz quyidagi ko'rinishga ega.

$$\left. \begin{aligned} u_d &= L_d \frac{d}{dt} i_d + M_{ad} \frac{d}{dt} i_f - L_q i_q \omega_p + r_a i_d; \\ u_q &= L_q \frac{d}{dt} i_q + L_d i_d \omega_p + M_{ad} i_f \omega_p + r_a i_q; \\ u_f &= L_f \frac{d}{dt} i_f + M_{ad} \frac{d}{dt} i_d + r_f i_f; \end{aligned} \right\} (4.6)$$

(4.6) tenglamadan

$$L_d = M_{ad} + L_{\delta d}; L_q = M_{aq} + L_{\delta q}; L_f = M_{ad} + L_{\delta f}. (4.7)$$

Bu yerda $L_{\delta d}$, $L_{\delta q}$ va $L_{\delta f}$ - mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'q buyicha yakor cho'lg'amining induktivligi va uyg'otuvchi cho'lg'amining induktivligi.

(4.7) va (4.6) tenglamalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} u_d &= L_{\sigma d} \frac{d}{dt} i_d + M_{ad} \frac{d}{dt} i_f + M_{ad} \frac{d}{dt} i_d - L_q i_q \omega_p + r_a i_d; \\ u_q &= L_{\sigma d} \frac{d}{dt} i_q + M_{aq} \frac{d}{dt} i_q + L_d i_d \omega_p + M_{ad} i_f \omega_p + r_a i_q; \\ u_f &= L_{\sigma f} \frac{d}{dt} i_f + M_{ad} \frac{d}{dt} (i_d + i_f) + r_f i_f; \end{aligned} \right\}$$

Bo'ylama va ko'ndalang o'q bo'yicha EYUK o'sishi

$$E_d = L_d i_d \omega_p; E_q = L_d i_d \omega_p + M_{ad} i_f \omega_p$$

quyidagini hosil qilamiz

$$\left. \begin{aligned} u_d &= L_{\sigma d} \frac{d}{dt} i_d + M_{ad} \frac{d}{dt} (i_f + i_d) - E_q + r_a i_d; \\ u_q &= L_{\sigma d} \frac{d}{dt} i_q + M_{aq} \frac{d}{dt} i_q + E_d + r_a i_q; \\ u_f &= L_{\sigma f} \frac{d}{dt} i_f + M_{ad} \frac{d}{dt} (i_d + i_f) + r_f i_f; \end{aligned} \right\} (4.8)$$

Olingan tenglama sinxron mashinaning dempfer cho'lg'amsiz o'tkinchi va doimiy jarayonlar uchun yozilgandir. (4.8) o'rniga $i_d + i_d = i$ o'zgartirish kiritishda ma'no yo'q, sinxron mashinalarda o'rnatilgan rejimda uyg'otuvchi tok yuklamaga bog'liq holda qonunda ifodalangan tartibda o'zgaradi. (4.8) tenglama dinamika izlanishlari natijasida (4.5) yoki (4.8) ishlashi kuzatilgan. O'rnatilgan rejimda sinxron mashinaning defferensial tenglamsini olish uchun (4.8) ni defferensiyalovchi transformator yoki asinxron mashinaga almashtirish lozim $\frac{d}{dt} = j\omega$.

Dempfer cho'lg'amsiz va uyg'otuvchi tokda, o'rnatilgan rejimda (4.5) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned} U_d &= j\omega L_{\sigma d} I_d + j\omega M_{ad} I_d - E_q + r_a I_d; \\ U_q &= j\omega L_{\sigma q} I_q + j\omega M_{aq} I_q - E_d + r_a I_q. \end{aligned}$$

Bo'ylama o'q bo'yicha qarshilik

$$x_d = \omega L_{\sigma d} + \omega M_{ad},$$

Ko'ndalang o'q bo'yicha qarshilik

$$x_q = \omega L_{\sigma q} + \omega M_{aq},$$

Unda quyidagini olamiz

$$\left. \begin{aligned} U_d &= jx_d I_d - E_q + r_a I_d; \\ U_q &= jx_q I_q + E_d + r_a I_q; \end{aligned} \right\} (4.9)$$

Uyg'otuvchi kontur tenglamasi o'zgarmas tok va aktiv qarshilik orqali aniqlanadi

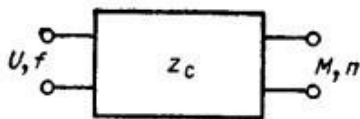
$$u_f = I_f r_f \quad (4.10)$$

(4.9) va (4.10) tenglamalar sinxron mashinada energiya almashishining elektromexanik jarayon uchun yozilgan.

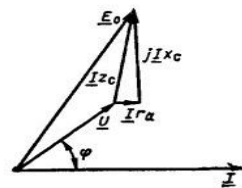
Ikkita (4.9) tenglamalar sistemasini bitta ko'rinishga olib kelish mumkin, kuchlanish, tok, MYUK va tulqin haqidagi tushunchalarni qayta ishlash lozim.

Eng sodda vektor diagramma noaniq qutbli sinxron mashinaning diagrammasidir.

Mashinada ikkita mexanik va ikkita elektrik kirish bo'ladigan to'rt qutbli ko'rinishda bo'ladi.



4.6-rasm. To'rtqutb ko'rinishdagi sinxron mashina.



4.7-rasm. Noayon qutbli sinxron mashina vektor diagrammasi.

Sinxron mashinaning ichki qarshiligi

$$z_c = r_a + jx_c$$

Aktiv qarshilik va induktiv qarshilikdan iborat.

$$x_c = x_{\delta a} + x_{ad}$$

bu yerda:

$x_{\delta a}$ -yakor cho'lg'aming induktiv qarshilik hisoblanadi.

x_{ad} - yakor cho'lg'aming reaksiya qarshilik hisoblanadi. Unda sinxron mashina cho'lg'amlari fazalarining vektor diagrammasi E_0 4.7-rasmdagidek ko'rinishda bo'ladi. Vektor diagrammadagi E_0 (E_d (4.9)) - salt ishlashdagi faza kuchlanishi, U -Yuklama ostidagi kuchlanish, I - aniqlangandagi tok kuchi. Kuchlanishning tushuvidagi I_z ichki qarshiligi yakor cho'lg'aming aktiv qarshiligi va induktiv qarshiligi, yakor reaksiyasi orqali aniqlanadi I .

Sinxron mashinalarda energiya almashinishdek murakkab jarayonlari oddiy matematik ifodalarda x_{ad} koeffitsienti va tok I o'zaro bog'lanishi orqali yoziladi. Qarshilik x_{ad} mashina geometriyasiga, yakor reaksiyasiga va yuklama xarakteriga bog'liq. Bu murakkab bog'lanishlarga sinxron mashinaning tuzilishini o'rgangandan so'ng ko'rib chiqamiz.

Nazorat savollari.

1. Sinxron mashinalar bajarilishining asosiy tuzilmali sxemalarini tushuntiring va tenglamalarini yozing?
2. Sinxron mashina modelini tavsiflang?
3. Ulangan sinxron mashina modelini tavsiflang?

4.3. Sinxron mashinalarning tuzilishi.

Katta sinxron generator, motor va kompensatorlarni ko'rib chiqamiz.

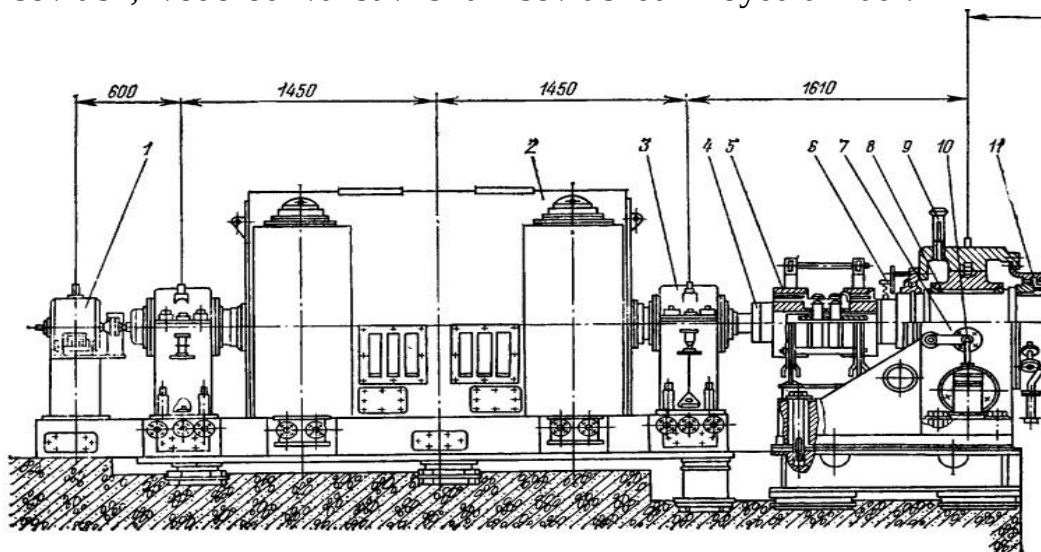
Sinxron mashina konstruksiyasi birinchi navbatta aylanishlar chastotasi bilan aniqlanadi. Ayonmas qutbli sinxron mashinalar - 3000 ayl/daq, ikkiqutbli ($n=1$) va to'rtqutbli ($n=2$) 1500 ayl/daq qilib tayyorlanadi. Ko'p qutbli sinxron mashinalar - gidrogeneratorlarda aniq ayon qutbli rotor tuzilishii qo'llaniladi.

4.8-rasmda TVV-200-2 LPEO "Elektr kuch" S. M. Kirova, quvvati 200 000 kVt, kuchlanishi 20 kV, $\cos\phi=0,85$ bo'lgan turbogeneratorning kesimi

berilgan. Turboagregat bir nechta mashinalardan tashkil topgan bo'lib, muftalar orqali bog'lanadi. Turbogeneratorning rotori mufta orqali par turbinasiga bog'lanadi. Bunday ko'rinish yagona par turbinasi-turbogeneratordir.

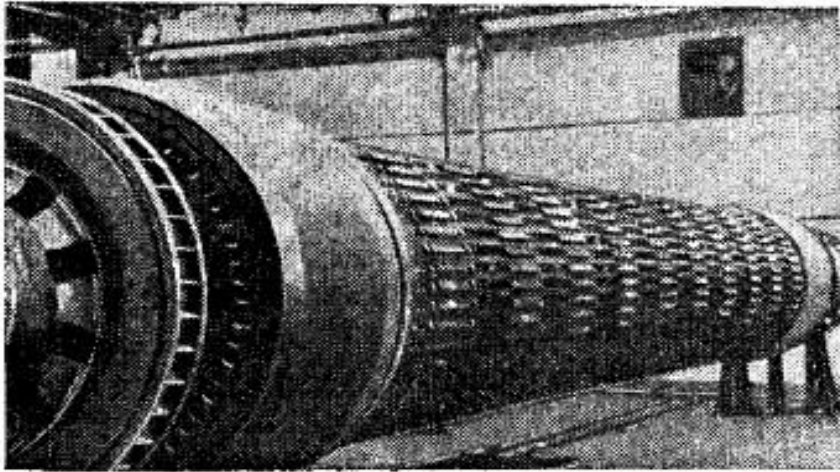
Turbogeneratorning rotori maxsus pazlardan, yaxshi magnit xarakteristikasi bilan taminlangan va turbogeneratorning barcha ish rejimlarda mexanik mustahkam qilib tayyorlanadi. Bunday mashina rotorinig konstruksiyasi bo'rtib chiqmagan qutb sifatida, ya'ni uyg'otish cho'lg'ami joylashtiriladigan fazli silindr shaklida yasaladi. Rotorda markaziy ventilyator mavjud bo'lib qo'zg'atuvchi cho'lg'amlarini sovitish mumkin. Rotorning barcha qo'zg'atuvchi cho'lg'amlar qismi mustahkam po'latli bandaj bilan ta'minlangan. Rotorning faza frezeri uchburchak yoki trapetsiya ko'rinishida bo'lib, qo'zg'aluvchi cho'g'amlariga mahkamlanadi. Cho'lg'am rotor aylanasing 2/3 qismini egallaydi. qolgan qismi magnit o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi. Rotorning cho'lg'ami turli uzunlikka va kenglikka ega bo'lgan katushkalar guruhidan iborat. Ko'pgina turbogeneratorlarda mexanik mustahkamligi yuqori bo'lgan mis va legerlangan kumushdan foydalaniladi. Rotor katushkalarining bog'lanish sxemasi 4.11-rasmda berilgan.

Rotor cho'lg'amlari bajarish sovitish tizimiga bog'liq. Turbogeneratorlarda konusli sovitish, vodorod va suv bilan sovitishdan foydalaniladi.



4.8-rasmda TurbogeneratorTVV-200-2.

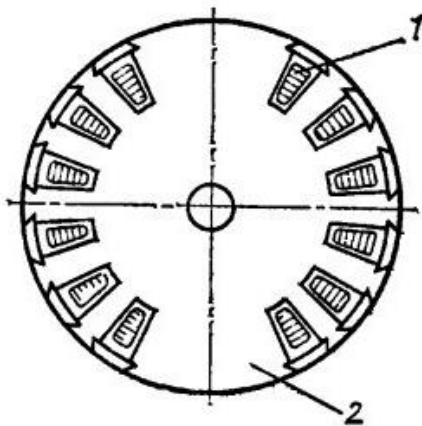
Ichki sovitishda ichki kanallardan suv yoki vodorod oqib o'tadi. Misning issiqligi suv yoki vodorod orqali mashinaning aktiv qismidan chiqib ketadi. Konusli sovitishda issiqlik energiyasi cho'lg'amning izolyasiyasi orqali o'tadi va turbogeneratorning ichki qismi suv bilan to'ldiriladi.



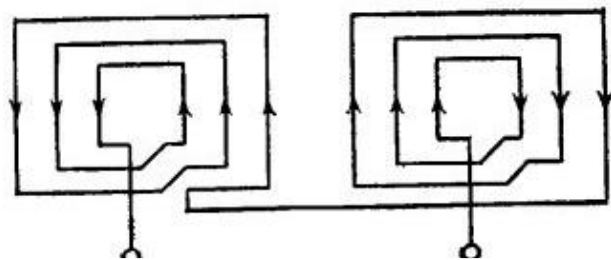
4.9-rasm. Turbogeneratorning yig'ilgan rotori TVV-800-2.

Xozirgi vaqtda bunday sovitish tizimi 100 MVt quvvatli turbogeneratorlarda qo'llaniladi.

Sobiq ittifoq davrida ishlab chiqilgan turbogeneratorlarda stator cho'lg'amlari ichini suv bilan, rotor cho'lg'amlarini ichini vodorod bilan sovitishdan foydalanishga ruxsat berilgan. Bunday sovitish sxemasidan foydalanishga TBB rusumli va quvvati 1200 MVt turbogeneratorlarga ruxsat berilgan. Tayyor turbogeneratoridan foydalanishda stator va rotor cho'lg'amlari suv yordamida sovitiladi.

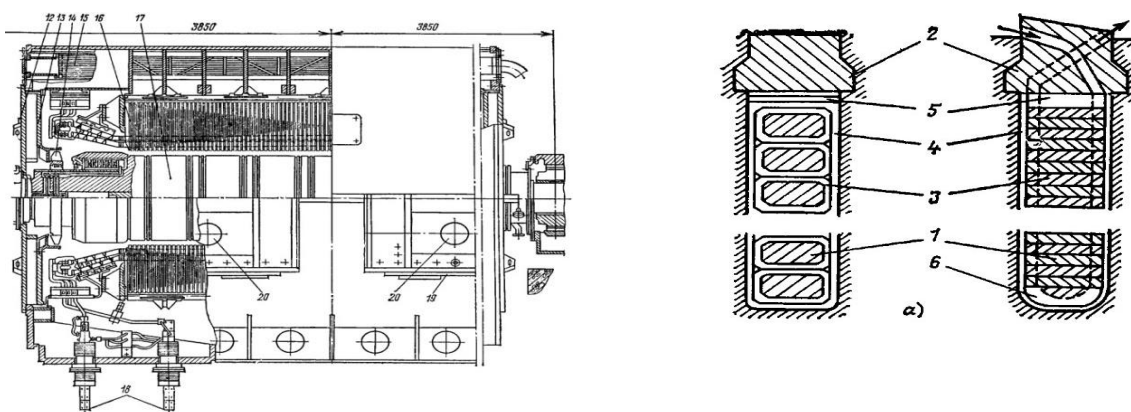


4.10-rasm. Turbogenerator rotori pazlarining joylashishi.



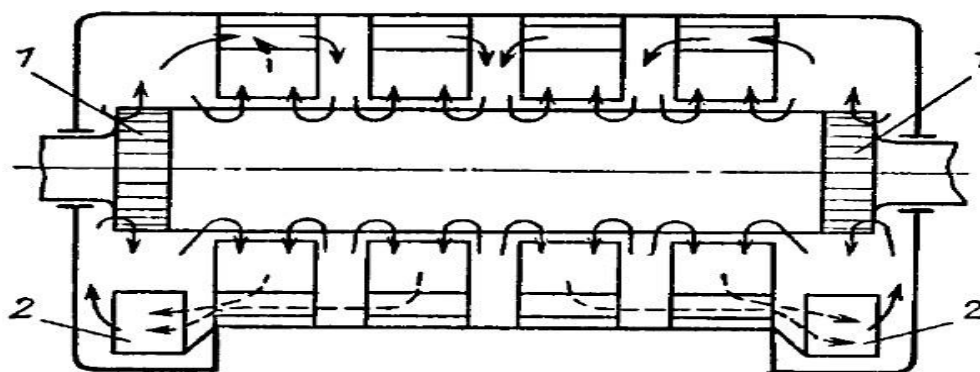
4.11-rasm. Qo'zg'atish chulg'aming sxemasi.

Konusli suvitishda rotor cho'lg'amlari orasiga duralyuminiy, po'lat yoki bronzadan yasalgan klimmalar biriktiriladi. Chulg'amlar ustiga shisha izolyasiya qoplangan. Vodorod bilan sovitishda cho'lg'am kanallari orqali vodorod quyib yuboriladi.



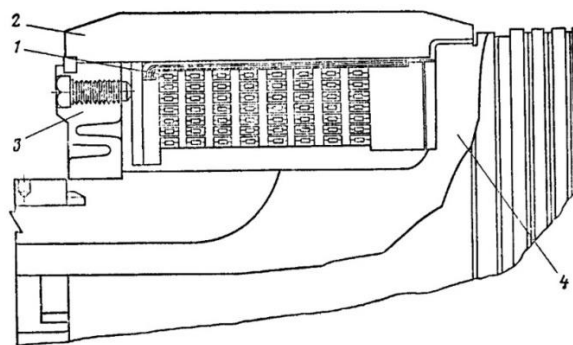
4.12-rasm. Rotor chulg‘amini sovutish a) bilvosita va
b) bevosita ichkaridan bajariladi.

Vodorod mashina ichida aylangandan so‘ng issiq gaz tashqariga qo‘yib Yuboriladi. Ko‘p qirrali turbogeneratorni satator va rotor cho‘lg‘amlarini sovitish uning nominal quvvatda ishlashini ta‘minlaydi.



4.13-rasm. Ko‘p pog‘onali radial sovutish tizimining
sxemasi.

Bundan tashqari rotor cho‘lg‘amlari shamollatish yordamida ham sovitiladi. Issiq gaz havoda sovitiladi. Rotorning barcha qismi yuqori kuchlanish ostida foydalaniladi. Shuning uchun uni sovitish turbogeneratorning ishonchli ishlashini ta‘minlaydi. Turbogeneratorning old qismi rasmda ko‘rsatilgan. Rotorning magnitsiz halqali ushlagich 2 qisilgan polielastik halqali qismi mazkaziy qismi rotorda bo‘ladi. Ushlagichlar va neytral nuqtalar orasida izolyasiya qilinadi, chunki nosimmetrik rejimda ishlashda yordam beradi. Rotorning old qismi gidravli xususiyatli qilib tayyorlanadi. Qo‘zg‘atuvchi tok cho‘tkalar yordamida beriladi. Cho‘kalar o‘rama ko‘rinishida joylashtirilgan bo‘ladi. Kontaktli va cho‘tkali turbogeneratorni quvvati 300000 kVt bo‘lib, sovitish sodda tuzilgan. Kontaktli cho‘tkalarni sovitish ventilyator yordamida amalga oshiriladi.



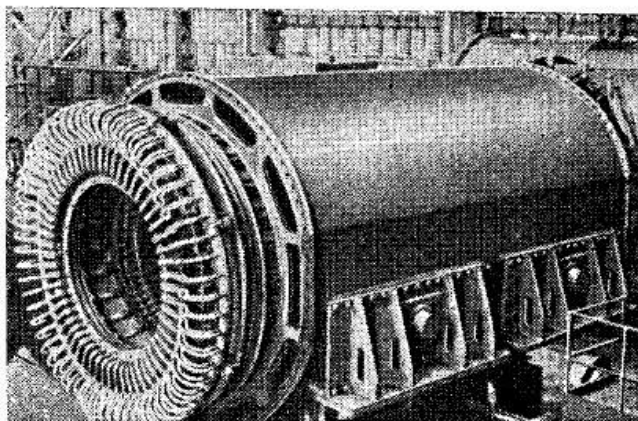
4.14-rasm. Rotor chulg'aming yuz qismi.

Rotor yig'ilgandan so'ng dinamik muvozanatsizligi tekshiriladi. Rotor yuqori aylanuvchi chastotali tezlatib-muvozanatlovchi maxsus qurilmada sinovdan o'tkaziladi.

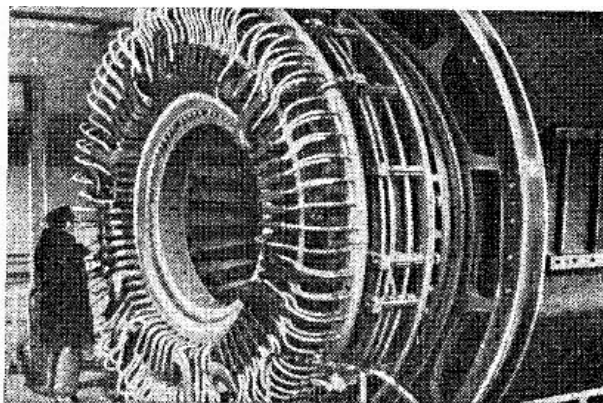
Turbogenerator statori to'g'ri burchak ko'rinishidagi pazli magnit o'tkazgich ikki qatlamli cho'lg'am va g'ilofi ichida o'zak cho'lg'ami bilan joylashadi (4.15-rasm). Stator o'zag'i elektrotexnik po'latdan yig'iladi. Stator o'q bo'ylab shamollatish kanallariga bo'linadi. Stator o'zagi quyi qoplamasiga mustahkamlanadi.

Stator cho'lg'amlari uch fazali ikki qatlamli almashlanib boruvchi o'tkazgichdan iborat. 500 MVt va undan yuqori quvvatli turbogeneratorlarda 6 fazali chug'amlardan foydalaniladi. Stator sterjenli cho'lg'aming izolyasiyasi lak va kopaumntdan tayyorlanadi. Izolyasiya turiga ko'ra epoksidli shisha tolali bo'lishi mumkin. Butun izolyasiya jarayoni mashinaning ishonchili ishlashini ta'minlaydi. 800-1200 MVt li turbogeneratorning stator cho'lg'amlaridagi kuchlanishi 20-24 Vt bo'ladi.

200 MVt li turbogeneratorning stator kurpusi katta hajmni egallamaydi. 300 MVtli turbogeneratorning ko'ndalang kesim yuzasi katta hajmni egallaydi. 150 MVt li turbogeneratorning statori va korpus mustahkam mahkamlanadi. 200 MVtli turbogeneratorning stator cho'lg'amlari ichida ichki sovitish tizimi mavjud. Sterjenli cho'lg'ami kanallarga ega bo'lib, bu kanallardan distillangan suv yuboriladi[6].



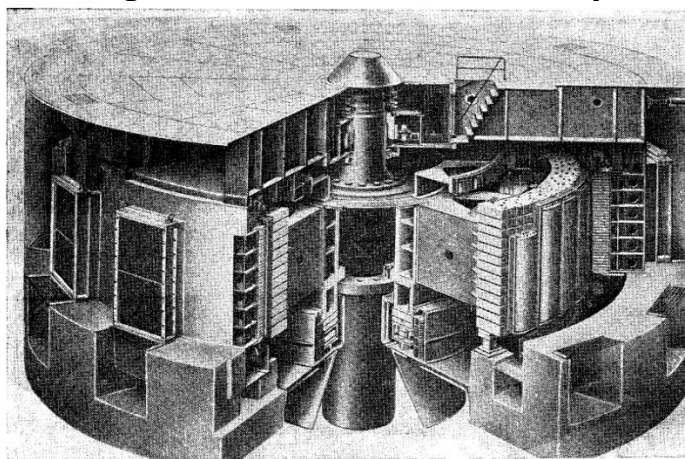
4.15-rasm. Turbogenerator statori TVV-1000-4.



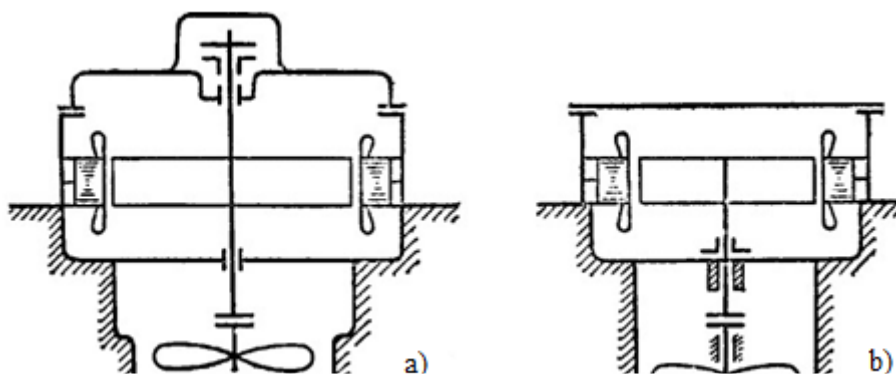
4.16-rasmda 300 MVtli turbogeneratorning old qismi o'rsatilgan.

Suv vakuumli qayta ishlashdan o'tkaziladi va maxsus nasoslar yordamida Yuboriladi. Suvning harorati va elektr o'tkazuvchanligi tinimsiz nazorat qilinadi. Suv bilan sovitish sistemani nazorat qilish imkonini beradi.

Moy bilan ta'minlash tizimi doimiy may uzatish orqali valning mustahkamligini oshiradi. Moy bilan sovitish va tozalash uchun shuningdek avtomatik ravishda turbogenerator moy va gazining bosimini berilgan qiymatda ushlab turadi. Moy ushlovchi qoplamalar vodorodni bosimi $5 \cdot 10^5$ Pa gacha bo'lganda turbogeneratorning ishonchli ishlashini ta'minlaydi.

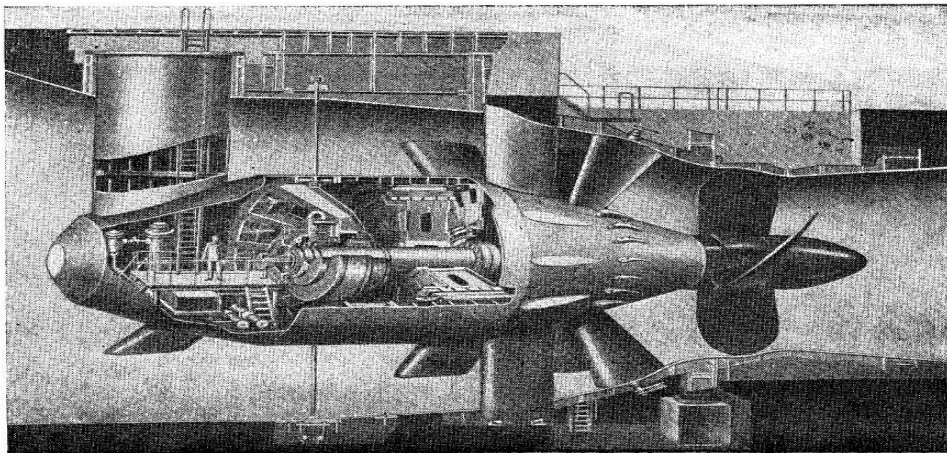


4.17-rasmda Hidrogenerator Sayana-Shushinskiy GES quvvati 640 MVt, $U=15,75$ KV, $n=142,5$ ayl/min.



4.18-rasm. Vertikal gidrogenerator a) osma b) mustahkamlangan.

Turbogeneratorda cho'lg'am suv va moyning haroratini nazorat qilib turiladi. Uskunalar timinsiz ravishda turbogeneratorning haroratini kuzatib yozib boradilar. Ayon qutbli rotor konstruksiyasidan ko'p qutbli sinxron mashinalar-gidrogeneratorlarda qo'llaniladi. Bugungi kunda ayon qutbli gidrogeneratorlardan Krasnayarskiy GES quvvati 500 MVt, $U=15,75$ kV, $n=93,8$ ayl/daq, $\cos\varphi=0,85$ va Sayana-Shushinskiy GES quvvati 640 MVt, $U=15,75$ KV, $n=142,5$ ayl/min, $\cos\varphi=0,85$ foydalanilmoqda. Gidrogenaratorlar murakkab tuzilishga ega bo'lgan konstruktiv uskuna hisoblanadi. Gidrogeneratorlarning ikki turi mavjud vertikal va gorizontal. Vertikal gidrogeneratorlar tez ishlovchi moslama hisoblanadi. Bunday moslamalar juda yuqori darajadagi mustahkamlikni talab etadilar. Gidrogeneratorlar osilgan holatda bo'ladi va bir tomonga harakatlanadi. Ikki tomonga harakatlanadigan ham bo'lishi mumkin.



4.19-rasm. Juda qulay bo'lgan gidrogenerator Bratskoy GES quvvati 225 MVt $U=15,7$ kV, $n=125$ ayl/min, $\cos\varphi=0,85$ hisoblanadi. Uning og'irligi $1,4 \cdot 10^7$ N.

Vertikal ko'rinishdagi gidrogenerator odatda tinch ishlaydigan gidroagregat hisoblanadi. Bunday agregat arzon va montaj ishlari oson bo'ladi. Bu inshootning qurulishida harakatni o'zgartiradigan podshimniklar bo'lmaydi. Krasnoyarskiy va Sayano-Shushinskiy GES xuddi shunday tip hisoblanadi.

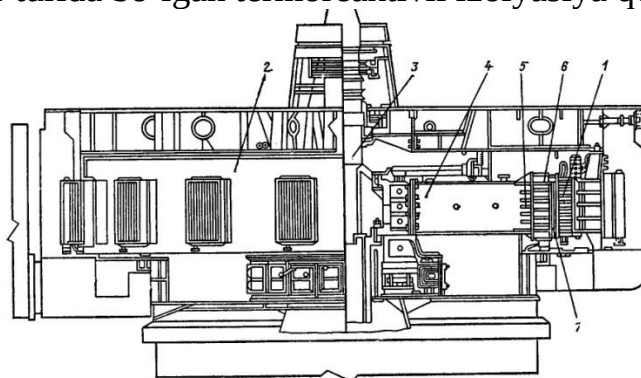
Bu gidroagregatda suvli sovitishdan foydalaniladi. Saratovskiy GES quvvati 45 MVt $U=6,3$ kV, $n=75$ ayl/min, $\cos\varphi=0,98$ og'irligi $0,75 \cdot 10^7$ N. Cherpovskoy GES quvvati 20 MVt, $U=3,15$ Kv, $\cos\varphi=0,95$, og'irligi $0,3 \cdot 10^7$ N. Gidrogenerator quyidagi rusum asosida ishlab chiqariladi: SV-sinxron vertikal stator va rotor havo yordamida sovitiladi. SVF-sinxron vertikal stator va rotor havo purkaladigan suv yordamida majburiy sovitiladi. SGKB-sinxron gorizontal tomizuvchi gidroagregat stator va rotor cho'lg'amlari suv yordamida sovitiladi.

Statorning kengligi bir necha metr ga etadi. Shuning uchun qismlar yig'iladi. Bo'laklar Yuqori sifatli po'latdan iborat bo'lib, o'lchami $0,38 \cdot 0,5$ mm.

Maxsus legirlangan po'latdan o'zak uchun zarur bosim hosil qilinadi. Tashqi tomondan stator korpusiga kirishi uchun moslab tayyorlanadi. Reaktiv quvvatni kamaytirish uchun listlar bir-biridan ajratib, ular orasiga boshqa

modda bilan to'ldiriladi. Tinch holatda ishlaydigan korpus silindr ko'rinishida bo'lib, tez harakatlanuvchi korpus ko'p qirrali bo'ladi. Tashish oson bo'lishi uchun 2-4; 6-8 qismdan iborat qilib tayyorlanadi. Magnit o'tkazuvchanlik uchlari ochiq qilib tayyorlanadi. Hidrogeneratorning asosan uch fazali ikki cho'lg'amli qilib tayyorlanadi. Suv bilan sovitiladigan ba'zi hidrogeneratorlar bitta cho'lg'amli qilib tayyorlanadi. Suvning kirish va chiqish joylarida maxsus teshiklar mavjud. G'altakdagi Yuqotishlarni kamaytirish uchun ular birlashtiriladi. Sterjen juda kichik o'tkazuvchanlikka ega. Stator cho'lg'amlari yoqish va qisqa tutashish vaqtida zaiflashadi. Fazalar sterjen cho'lg'ami izolyasiyalangan material bilan qoplanadi.

Oxirgi vaqtda hidrogeneratorlarning sterjenli cho'lg'amlari uchun sl Yudoterm, monolit va hakozolar turida bo'lgan termoreaktivli izolyasiya qo'llanilmoqda.



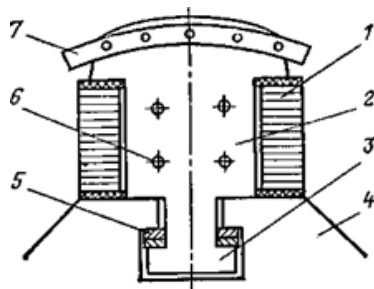
4.20-rasmda LPO “Elektr kuch” GES “Jyerdan temirli” (Ruminiya) quvvati 171 MVt, $n=71.5$ ayl/daq, og'irligi $3.5 \cdot 10^7$ N.

Gidrogenerator rotorini quyidagi asosiy qismlardan tashkil topgan: 3 valdan, 4 rotor ostovi (qobirg'asi), 5 rotor to'g'ini, 6 qutb o'zagi, 7 qo'zg'atish cho'lg'aminin g'altagi va dempferli cho'lg'amlar (4.20 rasm). Qo'zg'atishning o'zgarmas oqimi rotor to'g'ini va qutblari bo'yicha rotorda tutashadi. Qutblar, qalinligi 1,5 – 3 mm bo'lishi mumkin bo'lgan va bu ishlab chiqarish texnologiyasida aniqlanadigan yirik yoki shixtalangan po'lat tunukalaridan amalga oshirilishi mumkin. Katta bo'lmagan diametrli hidrogeneratorlarning to'g'ini (rotor bo'yinturug'i) odatda yirik po'latli bolg'alanish orqali, katta diametrlarda esa – taxtali prokatdan amalga oshiriladi. Qo'zg'atish g'altagi 1 (4.21-rasm), rotor to'g'inida 4 T – shaklli ortiqcha qismlar 3 yordamida mahkamlanadigan, qutb o'zagiga 2 kiydiriladi. Ikki juft mo'qobil po'latli ponalar 5 da amalga oshiriladi. Qutb o'zagi taxtalari shpilkalarda 6 tortiladi. Qutb uchliklarida, dempferli cho'lg'am sterjenlari joylashgan 7, ariqchasimon o'yiqli joylari bor. O'ramlarga ega o'zaklar qisqa tutashuv cho'lg'amida o'zaklari payvandlanadigan bo'g'imlarda mustahkamlanadi[8].

Bilvosita havo bilan sovutishda qo'zg'atish cho'lg'aminin sovutish Yuzasi rivojlangan maxsus kesimga ega mis lentalaridan o'raladi. Kuchaytirilgan havo bilan sovutishda qo'zg'atish cho'lg'ami ko'ndalang kanallarga ega bo'lgan maxsus kesimga ega misdan tayyorlanadi. Suvli sovutishda qo'zg'atish cho'lg'am g'altagi bir nechta qatorga o'ralgan kovak misdan tayyorlanadi.

Yirik gidrogeneratorlarning rotorlar qutblarining izolyasiyasi qatlamli plastika yuqori qizishga chidamli va mexanik mustahkam shisha asbotekstolit asosida alohida elementlardan bajariladi.

Tez yurar mashinalarda shakl o'zgarishining oldini olish uchun qutblar orasiga tirgaklar o'rnatiladi. Qo'zg'atish cho'lg'aming tikka qismlaridagi markazdan qochma kuchlar qutb o'zagi g'altigidan mahkamlanadigan qutbning siquvchi yassi qismi dastagi kabi qabul qilinadi va qutbning oxirgi qatlami hisoblanadi.



4.21-rasm. Gidrogeneratorning stator qutbi.

Rotor to'g'ini rotor qobirg'asiga mahkamlanadi. Rotorning diametri katta bo'lganda qo'shtavrli yoki karobkasimon kesimlarga ega bo'lgan hajmli kegaylar bilan radial o'q qobirg'asilari qo'llaniladi. Tez yurar gidrogeneratorlarda rotorlar o'qi qobirg'asilari bolg'alangan tunuka qoplangan disklardan bajariladi, ular valga tarang qoqilib, aylanma momentni uzatilishini ta'minlaydi. Payvandlangan baraban ko'rinishidagi qobirg'asi konstruksiyasi disklar va tiqinlardan tarkib topgan bo'lib, odatda rotor 5 m dan oshmaydigan diametrlarida qo'llaniladi.

Gidrogeneratorlarning rotor vallari yuqori mexanik xususiyatlar bilan Yuqori legirlangan po'latdan tayyorlanadi. Vallarga ishlov berish uchun stanokli qurilmalar qo'llaniladi, bu uzunligi 20 m gacha va diametri 4 m gacha bo'lgan vallarga ishlov berishda yuqori aniqlikda tayyorlashga imkon yaratadi.

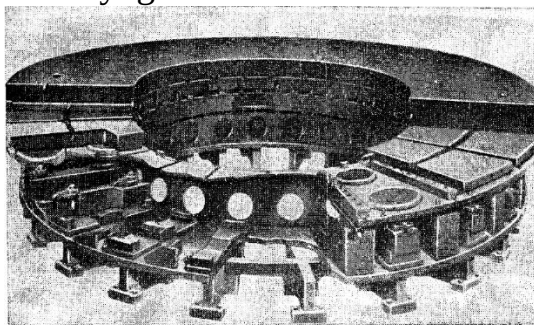
Rotorda kontaktli halqalar joylashgan. Qo'zg'atuvchi cho'tkasi va halqalar yordamida rotorga o'zgarmas tok yuboriladi. Qo'zg'atuvchi chulg'am gidrogeneratorning yuqori qismida bo'ladi. Yuklama tashlab yuborilganda gidrogenerator rotori haydash darajasigacha tezlik oshiriladi. Rotorning mexanik mustahkamligi haydash tezligi bo'yicha hisoblanadi.

Gidrogeneratorning muhim tugunlaridan biri tirgak osti tuguni hisoblanadi. Tirgak osti rotor valiga ta'sir etuvchi, quvvatli sekin yuradigan gidrogeneratorlarida $3,5 \cdot 10^7$ N ga etadigan vertikal kuchlanishlarni qabul qiladi. Tirgak ostining eng tarqalgan turi o'zi o'rnatiluvchi bo'g'imli tirgak ostidagilar hisoblanadi. Tirgak ostidagilar yakka qatorli va qo'shqatorli chulg'amga ega bo'lishadi. Quvvatli gidrogeneratorlar tirgak ostilari bo'g'implar orasidagi qo'shqatorli muvozanatli o'ram bilan tayyorlanadi (4.22-rasm).

Tirgak ostidagilar suyuqlikka oid ishqalanishda ishlashi zarur. Ishqalanayotgan Yuzalar orasida qalinligi 0,04 – 0,08 mm bo'lgan yog'li yupqa qatlam shakllanadi. Suyuqli ishqalanishning hosil bo'lishining zaruriy sharti bo'g'implarning aylanuvchi diskning ishqalanish yuzasiga qaysidir burchak ostida o'zi

o'rnatilishi hisoblanadi. Aylanuvchi diskning ko'zguga oid yuzasi va ishqalanish bo'g'imining babbritdan qilingan yuzalari orasidagi ponasimon bo'shliq suyuqlikka oid bo'lgan ishqalanishda tirkak ostining ishlab turishini ta'minlaydi.

Tirkak ostining diski va bo'g'implari maxsus yog'li idishda bo'ladi. Yog' tirkak ostidagi faqatgina suyuqlikka oid ishqalanishni ta'minlab qolmay balki, sovituvchi muhit bo'lib xizmat qiladi. Tirkak ostining sovutishini kuchaytirish uchun yog'ning aylanib turishi va uni yog' sovutkichlarda sovutishi nazarga olingan.



4.22.-rasm. Bo'g'implari o'rnatiladigan tirkak osti.

Radius bo'ylab tarqaladigan rotor kuchlanishi yo'naltiruvchi podshipniklarga qabul qilinadi. Gidrogeneratorlarda bir yoki ikki yo'naltiruvchi podshipnik o'rtiladi. Turbina va gidrogenerator vallarining birkardishli ulanishi tufayli bitta yo'naltiruvchi podshipnikni o'rnatib bo'ladi. Ikkinchi yo'naltiruvchi podshipnik esa gidravlik turbinaning yo'naltiruvchi podshipnigi hisoblanadi. Podshipnikli tuzilmalar agregatlarni markazlashda bo'g'implarning rostdlashni amalga oshirishga imkon beradi.

Sinxron kompensatorlar va quvvatli sinxron motorlarning tuzilishi prinsipial tarzda noayon qutbli va ayon qutbli sinxronli generatorlardan farq qilmaydi. Quvvati katta bo'lmagan motorlarning tuzilishlari 4.15 va 4.23 § larda ko'rib chiqiladi.

Nazorat savollari.

1. TurbogeneratorTVV-200-2 qanday qismlardan tashkil topgan?
2. Turbogenerator rotori pazlarining joylashishi qanday?
3. Gidrogeneratorning stator qutbi qismlarini sanang?

4.4. Sinxron mashinaning salt yurishidagi magnit maydoni.

Salt yurishda yakor cho'lg'amidagi tok nolga teng. Havo bo'shlig'idagi maydon, qo'zg'atish cho'lg'amida oqib o'tadigan qo'zg'atish toki hisobidan yuzaga keladi, bunda rotor aylanishi natijasida yakor cho'lg'amida EYUK hosil bo'ladi.

Sinxron motorlarning tuzilishini tayyorlashda sinusoidaga maksimal yaqinlashadigan EYUK ni olishga harakat qilinadi. Egri kuchlanishning sinusoida bo'lmasligi GOST 183-74 ga muvofiq o'zgargan sinusoidallik koefitsientida baholanadi, bu esa berilgan egri chiziqning uning asosiy tebranishi Yuqori tebranishlarining kvadratlar yig'indisidan kvadratli ildizi foizlari nisbatida aniqlanadi:

$$k = \frac{\sqrt{A_3^2 + A_5^2 + \dots + A_n^2}}{A_1}, \quad (4.11)$$

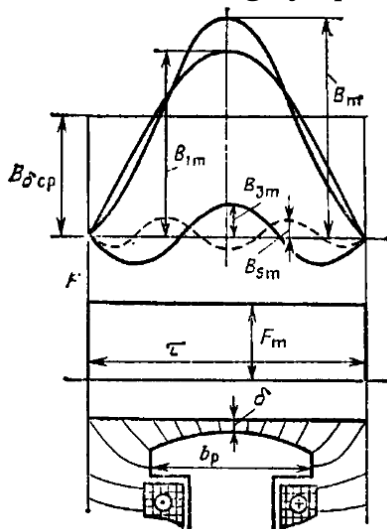
bu yerda $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n - 1, 3$ - va n -chi garmonikalar tebranishlari.

Quvvati 100 kV·A dan Yuqori generatorlar uchun GOST 183-74 bo'yicha o'zgarish koefitsienti 5% dan oshmasligi kerak, 1 kV·A dan 100 kV·A gacha bo'lgan

generatorlar uchun esa – 10% dan oshmaydi. Kuchlanishning sinusoidadan chetlanishini kamaytirish uchun qo'zg'atish maydoni induksiya shaklini sinusoidaga maksimal yaqinlashtirish zarur.

Ayon qutbli mashinalarda qo'zg'atish maydoni to'plangan g'altakli cho'g'amda hosil bo'ladi va MYUK $F = I\omega_k$ (bu yerda I – qo'zg'atish cho'lg'amidagi tok, ω_k – esa qo'zg'atish cho'lg'amidagi cho'lg'amlar soni) to'g'ri burchak qonuni bo'yicha o'zgarishi qabul qilishi mumkin (4.23-rasm).

Havo bo'shlig'idagi maydon cho'lg'am MYUK da va bo'shliqning o'tkazuvchanligida aniqlanadi. Ayon qutbli sinxronli mashinalarda bo'shliq bir maromda emas. Qutb uchi ostidagi bo'shliq $\delta_m \approx 1.6 \delta$ ga teng. Qutbli uchlikning kengligi esa $b_r = (0,65 \div 0,75)\tau$. Bunday sharoitda tarqatma bo'shliqda maydon sinusoidaga yaqinlashadi va EYUK sinusoidaga yaqin bo'lib qoladi (4.23).



4.23-rasm. Salt yurishdagi ayon qutbli sinxron mashinaning maydoni.

Tishlar va tirqishlar borligida statorda induksiya egriligi sinusoidadan og'adi. Biroq egri EYUK da g'altak cho'lg'amining qadami qisqarishi qutbda aniqlangan tirqishlar sonini va q fazasi, cho'lg'amlar fazalarining yulduz va uchburchak ulanishi evaziga yuqori tebranishlarning kamayishiga erishiladi va EYUK egri chizig'i sinusoidal bo'lib qoladi. Qo'zg'atish maydonidagi yuqori tebranishlarning mavjudligi qo'shimcha magnitli yo'qotishlarni chaqiradi.

Salt yurishdagi maydon tavsifi uchun qo'zg'atish maydonining shakl koeffitsientini k_f va qo'zg'atish oqim koeffitsienti k_F kiritiladi.

Qo'zg'atish maydonining shakl koeffitsienti

$$k_f = B_{\delta 1m} / B_{\delta}, \quad (4.12)$$

bu yerda $B_{\delta 1m}$ – havo bo'shlig'idagi induksiya 1 – chi tebranma garmonikasi; B_{δ} – qutb o'qi bo'shlig'idagi induksiya.

Agar maydon sinusoidal bo'lsa, $k_f = 1$. Odatda maydon shaklining koeffitsienti 1,05 – 1,2 teng.

Qo'zg'atish oqim koeffitsienti $k_F = F_{fm} / F_{f1m}, \quad (4.13)$

bu yerda F_{fm} – qo'zg'atish to'liq oqimi; F_{f1m} – induksiyaning 1 – chi tebranishi bo'yicha topilgan, qo'zg'atish oqimi: $F_{fm} = \tau l_{\delta} B_{\delta sr} = \alpha_{\delta} \tau l_{\delta} B_{\delta}, \quad (4.14)$

bu yerda α_δ – qutbli to'sishning hisoblash koeffitsienti:

$$\alpha_\delta = F_{fm}/\tau l_\delta B_\delta = B_{\delta sr}/B_\delta; \quad (4.15)$$

bu yerda $B_{\delta sr}$ – havo bo'shlig'idagi o'rtacha induksiya (4.23 rasm):

$$B_{\delta sr} = F_{fm}/\tau l_\delta. \quad (4.16)$$

EYUK koeffitsient shakli induksiya munosabati orqali aniqlanishi mumkin

$$k_B = B_{\delta D1}/B_{\delta sr}, \quad (4.17)$$

bu yerda $B_{\delta D1}$ – 1- chi tebranmaning magnitli induksiyasi ta'sir ko'rsatayotgan qiymati:

$$B_{\delta D1} = B_{\delta 1m}/\sqrt{2} = \pi F_{fm}/2\sqrt{2}k_F\tau l_\delta, \quad (4.18)$$

Sinusoidal maydonda EYUK k_B shakli koeffitsienti umumiy holatda teng:

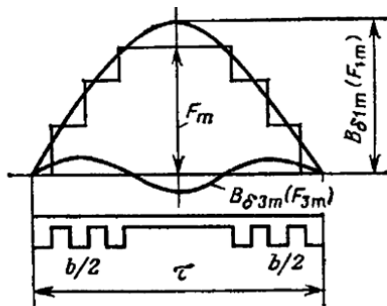
$$k = \pi/2\sqrt{2}k_F, \quad k_B = \pi/2\sqrt{2} = 1.11 \text{ bo'ladi.}$$

Sinxron mashinalarning klassik nazariyasi qo'zg'atish cho'lg'ami va yakorning MYUK 1 – chi tebranmasi bilan tayanadi. Yuqorida keltirilgan hisoblashlar ayonqutbli mashinalarda qo'zg'atish maydonining 1-chi garmonikasini ajratishga va u bo'yicha energiyaning elektromexanik o'zgarish jarayonini tahlil qilishga imkon beradi.

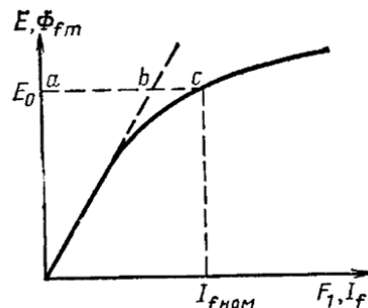
Ayonmas qutbli sinxronli mashinalardagi havo bo'shlig'i bir maromda bo'ladi, MYUK tarqalishi evaziga qo'zg'atish cho'lg'am maydonining sinusoidalli tarqalishiga erishiladi.

Turbogeneratorlarda qo'zg'atish cho'lg'amlari tuynuklarda joylashgan, va katta tishning borligi hisobiga MYUK tarqalishi trapetsiyaliga yaqinlashadi (4.24-rasm). Pog'onali MYUK egri chizig'ini tebranma qatoriga taqsimlash va 1-chi, 3-chi va boshqa yuqori garmonikalar F_{1m} MYUK ining qiymatini aniqlash mumkin.

ν -chi garmonika tebranishlari



4.24-rasm. Salt yurishdagi ochiqmas qutbli sinxron mashinaning maydoni uchun.



4.25-rasm. Salt yurish tavsifi.

$$F_\nu = \frac{2qk_{pv}}{\pi\nu} i\omega_k = \frac{4k_{pv}}{\pi\nu} i\omega, \quad (4.19)$$

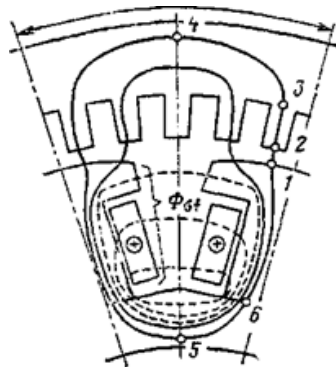
bu yerda $\omega = \omega_k q/2$ – qutbdagi qo'zg'atish cho'lg'amlarining halqalar soni; k_{pv} – ν -chi garmonikaning tarqalish koeffitsienti; q – g'altak soni; ω_k – g'altakdagi halqalar soni.

Bir maromdagi bo'shliqda induksiya egri chizig'i MYUK egri chizig'ini takrorlaydi deb hisoblash mumkin

$$B_\nu = \mu_0 F_\nu \lambda_0; \quad (4.20)$$

$$\lambda_0 = 1/\delta. \quad (4.21)$$

Ayonmas qutbli mashinada k_F , k_f , k_B koefitsientlarini to'yinishini hisobga olmaslik cho'lg'amlar egallagan, rotor aylana qismining uzunligining qutbli bo'linmasiga τ nisbatiga bog'liq:



4.26 -rasm. Sinxron mashinaning magnitli zanjirini hisoblash.

$$k_f = \frac{B_{\delta 1m}}{B_{\delta}} = \frac{F_{f1m}}{F_{fm}} = \frac{4}{\pi} k_{rf}, \quad (4.22)$$

bu yerda k_{rf} - MYUK 1-chi tebranmasi uchun tarqalish koefitsienti:

$$k_{rf} \approx \frac{\sin(\rho\pi/2)}{\rho\pi/2}, \quad (4.23)$$

bu yerda $\rho = b/\tau$ - qutbning o'ralgan qismining nisbiy uzunligi (4.24. rasm).

Statorda pazlarning borligi va pazli zonaning to'yinishi havo bo'shlig'ida maydonning Yuqori garmonikali tebranishlarining oshib ketishiga olib keladi. Loyihalashda kerak bo'ladigan tishlarning va to'yinishning mashina maydoniga ta'siri tuzatish koefitsienti bo'yicha olib boriladi, bunda mashinaning geometriyasi va to'yinish darajasi hisobga olinadi [8].

Φ_{fm} magnit maydon bo'yicha havo bo'shlig'ida stator cho'lg'amidagi EYUK ni aniqlash mumkin:

$$E_0 = 4k_B \Phi_{fm} f_1 w_1 k_{01}. \quad (4.24)$$

Bu ifodada Yuqori garmonikalar hisobga olinmagan. k_B koefitsienti bo'shliq shakli va to'yinishni hisobga olish bilan qo'llaniladi.

Doimiy aylanish chastotasida qo'zg'atish tok funksiyasida salt yurish tavsiflarini olinadi (4.25 rasm). Qo'zg'atish tokining noldan o'zgarishida EYUK va oqim oldin chiziqli qoydasi bo'yicha o'zgarib, keyin EYUK va qo'zg'atish toki nominal qiymatlarida magnitli zanjirning to'yinishi tufayli salt yurish tavsifi chiziqli qonundan og'adi. To'yinish katta bo'lganda salt yurish tavsifi yana chiziqli bo'lib qoladi (4.25 rasm).

Salt yurish tavsifi bo'yicha to'yinish koefitsientini aniqlash mumkin.

$$k_H = ac/ab. \quad (4.25)$$

Bu bc qirqim magnitli tizimning «po'latli» sohasiga to'g'ri kelib, MYUKni ifodalaydi. Agar mashina to'yinmagan bo'lsa, un holda salt yurish tavsifi chiziqli bo'ladi. Loyihalashda materiallarni yaxshi ishlatishni ta'minlash uchun egilish ish no'qtasi tanlanadi (4.25-rasm).

Salt yurish tavsiflari standartlashtirilgan bo'lib, 4.1 jadvalda turbo va gidrogeneratorlar uchun nisbiy birliklarda salt yurishning standart tavsiflari keltirilgan. Salt uyurishning tavsiflarini standartlashtirish generatorlarni parallel ishga muvaffaqiyatli ulashni ta'minlash uchun kerak.

Salt yurishda yakor cho'lg'amida sodir bo'ladigan EYUK, havo bo'shlig'idagi oqimdan tashqari sinxronli mashinada qo'zg'atish cho'lg'aming $\Phi_{\delta f}$ sochish oqimi bo'lib, faqat qo'zg'atish cho'lg'ami bilan tirgaklangan (4.26 rasm). Qo'zg'atish cho'lg'amning sochish oqimi qutblararo fazasida qo'zg'atish cho'lg'ami atrofida va qutblar g'o'lasi bo'yicha o'raladi va yakor cho'lg'amida EYUK bo'lmaydi. Sochish oqimi mashinaning konstruksiyasiga bog'liq va to'yinish sochish koeffitsientida aniqlanadi

$$\sigma_f = (\Phi_{fm} + \Phi_{of}) / \Phi_{fm} \quad (4.26)$$

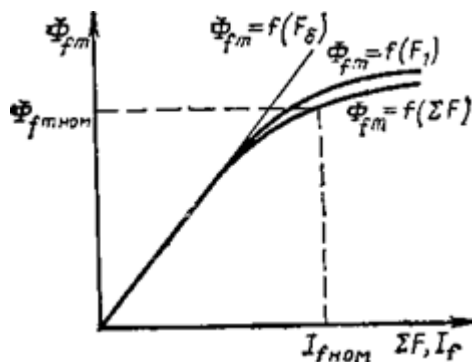
Turbo va gidrogeneratorlar uchun qo'zg'atish cho'lg'ami sochish oqimi har xil. Gidrogeneratorlar uchun u katta va 30 - 40% ishchi oqimgacha etib borishi mumkin. Turbogeneratorlarda sochish oqimi bilinarli kam va 4 - 8 % ishchi oqimiga teng.

Nazorat savollari.

1. Salt yurishdagi ayon qutbli sinxron mashinaning maydonini tavsiflab bering?
2. Salt yurish tavsifi xarakteri qanday?
3. Sinxron mashinaning magnitli zanjirini qanday hisoblanadi?

4.5. Sinxron mashinalarning magnit zanjirlarini hisoblash.

Mashinaning magnitli zanjiri salt yurishda hisoblanadi. Hisoblash vaqtida stator cho'lg'amlarida EYUK hosil qilish uchun kerak bo'ladigan magnitli oqim bo'shlig'ida hosil qilinadigan MYUK F_{fm} va qo'zg'atish toki I_f aniqlanadi.



4.27-rasm. Magnitlanish tavsifi va o'tish tavsifi.

Magnitli zanjirni hisoblash o'rtacha magnitli chiziqli uchun to'la tok qonuni asosida amalga oshiriladi, ayon va ayonmas qutbli mashinalar uchun beshta sohadan tashkil topgan (4.26 rasm):

$$\Sigma F = F_{\delta} + F_z + F_{\alpha 1} + F_{\alpha 2} + F_m, \quad (4.27)$$

bu yerda F_{δ} - havo bo'shlig'ining magnitli kuchlanishi (1 - 2 soha); F_z - stator tishlarining magnitli kuchlanishi (2 - 3 soha); $F_{\alpha 1}$ - yakor bo'yinturug'ining magnitli

kuchlanishi (3 – 4 soha); $F_{\alpha 2}$ - rotor bo'yinturug'ining magnitli kuchlanishi (5 – 6 soha); F_m - qutblarning magnitli kuchlanishi (6 – 1 soha).

4.1. -jadval. Salt yurishning standartli tavsiflari

4.1. -jadval.

I_f		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
E_f		0,58	1	1,21	1,33	1,4	1,46	1,51
	G	0,53	1	1,23	1,3	1,4	1,46	1,51

Izoh. T – turbogenerator, G – gidrogenerator.

Ayon qutbli mashina uchun magnitli zanjir hisobini qarab chiqamiz.

Havo bo'shlig'ining magnitli kuchlanishi

$$F_{\delta} = \frac{1}{\mu_0} B_{\delta} k_{\delta} \delta, \quad (4.28)$$

bu yerda $B_{\delta} = F_{fm} / \alpha_{\delta} \tau l_{\delta}$; $k_{\delta} = k_{\delta 1} k_{\delta 2}$ - havo bo'shlig'idagi koeffitsienti, stator tishlilikini va rotorda dempferli cho'lg'amlarning teshiklari borligini hisobga oladi. Bunda

$$k_{\delta 1} = t_{z1} / (t_{z1} - \gamma_1 \delta), \quad (4.29)$$

bu yerda t_{z1} - yakorning tishli bo'linmasi;

$$\gamma_1 = \frac{(b_{p1}/\delta)^2}{5 + b_{p1}/\delta}; \quad (4.30)$$

bu yerda b_{p1} - yakor ochiq teshikning kengligi.

Havo bo'shlig'ining koeffitsienti

$$k_{\delta 2} = t_{z2} / (t_{z2} - \gamma_2 \delta), \quad (4.31)$$

bu yerda

$$\gamma_2 = \frac{(b_{p2}/\delta)^2}{5 + b_{p2}/\delta};$$

Bu yerda t_{z2} - dempferli cho'lg'amning tishli bo'linmasi; b_{p2} - dempferli cho'lg'am teshigining ochilishi.

Havo bo'shlig'ida induksiya jadval bo'yicha tanlanadi [8]. Tishli zonada havo bo'shliq oqimi asosan tishlar bo'yicha o'tib, tish kesimi esa taqriban tishli bo'linmaning yarmini tashkil etadi. Shuning uchun B_{δ} qutblarning soni va quvvatiga bog'langan holda 0,8 – 1 Tl oralig'ida tanlanadi.

Yakor tishlarining magnitli kuchlanishlari xuddi asinxron mashinalar uchun qanday bo'lsa, xuddi shunday hisoblanadi. Odatda sinxronli mashinalarda teshik to'g'ri burchakli kesimiga ega, tishi esa trapetsiya shaklida, shuning uchun tishning uchta kesimida induksiya topiladi va uchta kuchlanganlik qiymati hisoblanadi, so'ng H_{srz} kuchlanganlik o'rtacha qiymati aniqlanadi. Bunda

$$F_{z1} = H_{srz} l_{z1}, \quad (4.32)$$

bu yerda l_{z1} - tishning balandligi.

Yakor ortidagi magnitli kuchlanishi (1.39) bo'yicha asinxron mashinalardagi kabi hisoblanadi.

Qo'zg'atish cho'lg'amining sochish koeffitsientini σ_f va havo bo'shlig'idagi oqimni olinadi va rotor yarmosi dagi oqim aniqlanadi. Rotor yarmosi kesimi bo'yicha

rotor yarmosi induksiyaning va jadval bo'yicha berilgan po'lat turi – kuchlanishi $H_{\alpha 2}$, so'ng esa MYUK topiladi

$$F_{\alpha 2} = H_{\alpha 2} l_{\alpha 2}, \quad (4.33)$$

bu yerda $l_{\alpha 2}$ – o'rtacha kuchga oid chizig'ining uzunligi (4.26-rasm 5 – 6 sohalar).

Qutb magnitli kuchlanishini hisoblash jarayonida qutbdagi induksiya so'ng esa boshqa sohalar uchun ham aniqlanadi hamda jadval bo'yicha kuchlanganlik topiladi. Uni o'rtacha kuch chizig'ining uzunligiga ko'paytirib, F_m aniqlanadi. B_δ bir nechta qiymati uchun magnitli zanjiri hisoblanib, magnitlanish tavsifi quriladi $F_{fm} = f(\sum F)$ (4.27-rasm).

Salt yurish tavsifi magnitlanish tavsifini takrorlaydi, shuningdek EYUK oqimga proporsional.

Sinxron mashinalar nazariyasida magnitlanishning qisman yoki o'tish tavsifi ko'rib chiqiladi. $F_{fm} = f(F_1)$, bu yerda $F_1 = F_\delta + F_{z1} + F_{\alpha 1}$ – statorning magnitli kuchlanishi. Oqimning $F_\delta F_{fm} = f(F_\delta)$ - ga chiziqli bog'liq (4.27-rasm).

Noayon qutbli mashinaning magnitli zanjirini hisoblash ayon qutbli mashinaning hisoblashdan faqatgina rotorning magnitli kuchlanishni hisoblashda farqlanadi. Havo bo'shlig'ining magnitli kuchlanishi F_δ , stator tishlari F_{z1} va stator yarmosi $F_{\alpha 1}$ ochiq qutbli mashinalar uchun hisoblash kabi amalga oshiriladi.

Ayon qutbli mashinaning rotorda magnitli oqim asosan katta tishi doirasi chegarasidan o'tadi. Qo'zg'atish cho'lg'ami joylashgan teshiklardagi kichik tishlar chegarasida to'yinish kamroq, chunki salt yurishda ko'ndalang o'q bo'yicha qo'zg'atish oqimi o'tmaydi.

Rotor tishlarining F_{z2} magnitli kuchlanishi hisoblashda induksiyaning katta va kichik tishlarda o'rtacha qiymati olinadi. O'rtacha kuchlanishni topib va uni tishning balandligiga ko'paytirilsa magnitli kuchlanish aniqlanadi F_{z2} .

Mashinaning rotor yarmosida ishchi oqim va yoyilish oqimi tutashadi. Yarmosining kesimi yuzasi rotor uzunligi va rotor teshiklari tublari orasidagi masofasi va val uchun teshiklarda aniqlanadi. Rotor yarmosi magnitli kuchlanishi (1.40 rasmga qarang)

$$F_{\alpha 2} = \xi H_{\alpha 2} l_{\alpha 2}, \quad (4.34)$$

bu yerda ξ - rotor yarmosidagi o'rtacha kuchga oid chiziqning uzunligining kamayishini hisobga oluvchi koeffitsient, $\xi = 0,65 + 0,85 [8]$.

E ning nominal qiymati uchun $\sum F$ ni aniqlab, qo'zg'atish cho'lg'amlarining toki va halqalar sonini topamiz:

$$\sum F = I_f \omega_f. \quad (4.35)$$

MYUK ni hisoblash qutblarda yoki juft qutblarda o'tkaziladi. Bundan kelib chiqib, qo'zg'atish cho'lg'amlarining halqalari soni aniqlanadi.

Nazorat savollari.

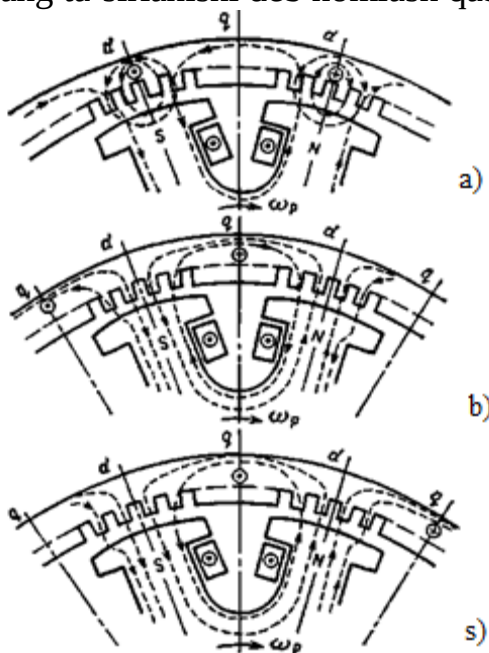
1. Mashinaning magnitli zanjiri qaysi rejimda hisoblanadi?
2. Magnitlanish tavsifi va o'tish tavsifidan qanday xulosa chiqarish mumkin?
3. MYuK qanday hisoblanadi?

4.6. Yuklamadagi sinxron mashinalarning magnit maydoni. **yakor reaksiyasi.**

Yakor cho'lg'amida yuklama bo'lganda simmetrik toklar oqadi, bu esa havo bo'shlig'ida qo'zg'atish cho'lg'aming magnit maydoniga nisbatan qo'zg'almas, aylanuvchi magnitli maydon hosil qiladi. Yakor maydonini qo'zg'atish maydoniga qo'yish yo'li bilan natijaviy maydonni olish mumkin. Yuklamada maydon o'zgarishi bilan bog'liq va mashinaning tavsifiga ta'sir qiluvchi hodisa, yakorning ta'sirlanishi deyiladi. Sinxron mashinada yakor ta'sirlanishi Yuklama va $\cos \varphi$ yuklamasiga bog'liq.

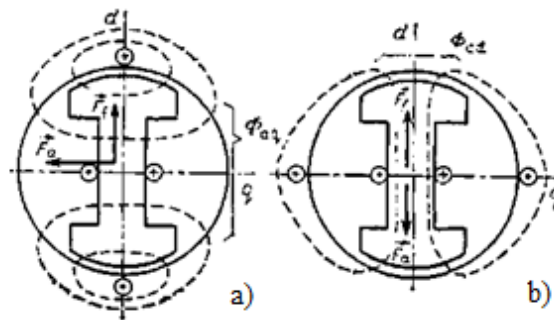
Harakatdagi yuklamadagi generatorli rejimda yakor ta'sirlanishini qarab chiqamiz. Salt yurishda stator cho'lg'amlari alohida simlaridagi maksimal egri chiziqli EYUK qutbning o'rtasi bilan muvofiq tushadi (4.28 rasm). Yuklama va kuchlanish o'rta qutb ostida maksimum bo'lishini etarlicha aniqlik bilan hisoblash mumkin, shuningdek $\underline{U} \approx \underline{E}$. harakatlanayotgan yuklamada $\cos \varphi = 1$ va tok maksimumi kuchlanish maksimumi bilan mos tushadi. Yakorning ta'sirlanish maydoni qutbli uchlari va stator magnitsimlari bo'yicha tutashadi, 4.28, a rasmda ko'rsatilgan.

Yakor ta'sirlanish maydoni magnit yurituvchi kuch harakatlanuvchi yuklamada mashinalar bo'ylama o'qi bo'yicha harakatlanuvchi qo'zg'atish cho'lg'ami MYUK Yunalishiga perpendikulyar yo'naltirilgan. Shuning uchun yuklama harakatida yakor ta'sirlanishi yakorning ko'ndalang ta'sirlanishi deb nomlash qabul qilingan.



4.28.- rasm. Sinxron mashinadagi yakor ta'sirlanishi.

a – yuklama ta'siridagi yakorning ko'ndalang ta'sirlanishi; *b* – induktiv yuklamadagi yakorning bo'ylama magnitsizlanish ta'sirlanishi; *s* – sig'imli yuklamadagi yakorning bo'ylama magnitlanish ta'sirlanishi



4.29-rasm. Yakor ta'sirlanishining ko'ndalang maydon (a) va bo'ylama (b).

Aktiv yuklamada yakor maydoni qo'zg'atish cho'lg'amlar maydoniga qoplanib, qarshi bo'lib ishlaydigan qutb yarmida maydonni kuchsizlantiradi va uni tez ishlaydigan qutb yarmida kuchaytiradi. Qutbning qarshi bo'lib ishlaydigan va tez ishlaydigan qismlarini aniqlashda rotor qo'zg'almas, stator esa – aylanuvchi hisoblanadi (rotor aylanish yo'nalishi strelkalarda ko'rsatilgan) (4.28, a – v rasm).

To'yinmagan mashinada ko'ndalang yakor ta'sirlanish maydoni havo bo'shlig'idagi maydon shaklini o'zgartiradi, ammo natijaviy oqimni o'zgartirmaydi. To'yingan mashinada qutbning tez ishlaydigan uchlari ostida maydonning oshishi natijaviy oqimga qutbning qarshi bo'lib ishlaydigan qismi ostida maydon kamayishiga qaraganda kamroq ta'sir qiladi. Shuning uchun to'yingan mashinada yakorning ko'ndalang ta'sirlanishi faqatgina havo bo'shlig'idagi maydonni o'zgartirib qolmasdan, balki natijaviy oqimni kamaytiradi (4.29, a rasm).

Sinxronli generatorning aniq induktivli yuklamada, tok kuchlanishdan 90° elektrik burchakka qolganda, yakor ta'sirlanishi magnitsizlanadigan (4.28, b rasm). Yakor ta'sirlanishining magnit yurituvchi kuchi induktiv yuklamada MYUK qo'zg'atish cho'lg'amiga qarama – qarshi yo'naltirilgan. Sinxron generatorning induktiv yuklamada ishlaganda bo'shliqdagi maydon qisqaradi[4].

Aniq induktivli yuklamada yakor ta'sirlanishi bo'ylamasiga – yakor ta'sirlanish maydoni qo'zg'atish oqimi kabi, xuddi shu yo'llardek tutashadi. Bu vaziyatda yakor ta'sirlanishning magnitsizlanish harakatlari, yakorning bo'ylama ta'sirlanishidagiga qaraganda miqdoran kuchli namoyon bo'ladi (4.29, b rasm).

Aniq sig'imli yuklamada ta'sirlanish magnitlanish ostida bo'ladi. Tok kuchlanishdan 90° elektrik burchakka oldinlanib ketadi va yakor MYUK ta'sirlanishi va MYUK qo'zg'atish cho'lg'amlari qo'shib, natijaviy maydonni hosil qiladi. Bu holatda yakor bo'ylama ta'sirlanishi – magnitlanish ostida bo'ladi (4.28, v rasm).

Aralash yuklamada umumiy holatda $\underline{z}_y = R_n + jx_n$ yakor ta'sirlanishi $\vec{F}_a$ ikkita tarkib etuvchiga ega bo'ladi: bo'ylama $\vec{F}_d$ va ko'ndalang $\vec{F}_q$ (4.30 rasm). Bo'ylama tarkib etuvchisi mashinaning bo'ylama d o'qi bilan mos keladi, ko'ndalangi esa – ko'ndalang o'q q bilan. Aralash Yuklamada – yakorning aktiv sig'imli bo'ylama ta'sirlanishi MYUK qo'zg'atish cho'lg'ami bilan mos keladi, aktiv induktivli Yuklamada esa $\vec{F}_d$ qarama – qarshi $\vec{F}_f$ tomonga yo'naltirilgan (4.30 rasm).

Ochiqmas qutbli mashinada vektor burilishida yakor ta'sirlanishi $\vec{F}_a$ mashinaning o'qlariga nisbatan bo'ylama va ko'ndalang tarkib etuvchilari havo

bo'shlig'ining o'lchamlariga bog'liq bo'lmaydi, chunki bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha mashinalar amalda bir xil bo'lishadi.

Ochiq qutbli mashinada bo'ylama va ko'ndalang tarkib etuvchilari faqatgina yuklama tokidan emas, balki mashina o'qiga nisbatan vektor holatiga bog'liq, chunki bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha har xil.

Mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha havo bo'shlig'ining magnitli qarshiligini hisobga olish uchun yakor ta'sirlanishining bo'ylama k_{ad} va ko'ndalang k_{aq} o'qlar bo'yicha koefitsientlarni kirgizadi.

Koefitsientlar k_{ad} va k_{aq} birdan kichik bo'ladi. Bunda $k_{aq} < k_{ad}$ va k_{aq} koefitsientni taqriban 0,5 ga teng deb olishimiz mumkin, $k_{ad} \approx 0,85 \div 0,95$ ga teng. k_{ad} va k_{aq} qiymatlari zona tishlari geometriyasi, qutb va fazada teshiklar soni, qutbli bo'linish va to'yinishga bog'liq. k_{ad} va k_{aq} yordamida mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha MYUK yakorni keltirish amalga oshiriladi. Yakor ta'sirlanishning keltirilgan bo'ylama tarkib etuvchisi

$$F_{ad} = k_{ad}F_d. \quad (4.36)$$

Yakor ta'sirlanishning keltirilgan ko'ndalang tarkib etuvchisi

$$F_{aq} = k_{aq}F_q. \quad (4.37)$$

Sinxron mashinalarida energiyani o'zgartirish jarayonlarini tadqiqotini o'tkazishda yakor ta'sirlanishning keltirilgan bo'ylama va ko'ndalang tarkib etuvchilarini yakor toki I_a bo'ylama I_d va ko'ndalang I_q tarkib etuvchisidan tashkil etgan deb tasavvur qilish mumkin:

$$I_d = I_a \sin \psi; \quad I_q = I_a \cos \psi. \quad (4.38)$$

I_d tokiga $F_d = F_a \sin \psi$ ga mos keladi, I_q toki esa $F_q = F_a \cos \psi$ mos keladi.

Bo'ylama o'qdagi yakor toki bo'ylama yakor ta'sirlanishini hosil qiladi, ko'ndalang o'q bo'yicha yakor toki esa ko'ndalang yakor ta'sirlanishini hosil qiladi.

Aktiv induktivli yuklamada kuchlanishdan ortda qoluvchi reaktiv toki yakor ta'sirlanishining magnitsizlanishini hosil qiladi.

Reaktiv tokdan ilgarilab ketadigan aktiv sig'imli yuklamada yakor ta'sirlanish magnitlanish ostini hosil qiladi.

Nazorat savollari.

1. Sinxron mashinani yakor reaksiyasi nima?
2. Sinxron mashinadagi yakor ta'sirlanishining xossalari?
3. Yakor ta'sirlanishining ko'ndalang maydon va bo'ylama maydonni tavsifi qanday?

4.7. O'rnatilgan rejimdagi sinxronli mashinalarning kattaliklari.

Sinxronli mashinalarning kattaliklari bu tenglamadagi o'zgaruvchilardan oldin turadigan koefitsientlar, ular sinxron mashinalardagi energiyaning o'zgarish jarayonlarini tavsiflaydi (4.5). Simmetrik yuklamadagi o'rnatiladigan rejim parametrlari bu stator va rotorning aktiv va induktivli qarshiligi.

Yakor cho'lg'ami fazalar aktiv qarshiligi r_a , qo'zg'atish cho'lg'ami r_f va dempferli cho'lg'am r_D – mos ravishda yakor cho'lg'amlarida, dempferli va qo'zg'atish cho'lg'amdagi elektrlik yo'qotishlar bo'yicha aniqlanadigan qarshiligi.

Masalan, yakor cho'lg'amidagi elektrik yo'qotishlarni $P_e = m_1 r_a I_a^2$ bilib, r_a ni aniqlash mumkin va h.k. Bu qarshilik tokning almashinishi tufayli doimiy tok uchun ancha katta. O'zgaruvchan tokda qarshilikning oshishi tok chastotasi va elementar sim o'lchamlariga bog'liq. Tokning almashinishini kamaytirish uchun simlarning transjoylanishi qo'llaniladi va kam balandli simlar tanlanadi.

Ochiq qutbli mashinalarda dempferli cho'lg'am aktiv qarshiligi mashina o'qining bo'ylama r_{Dd} bo'yicha va ko'ndalang r_{dq} bo'yicha farqlanadi.

O'rnatiladigan rejimda sinxronli mashinalar induktivli qarshiligiga bo'ylama x_d va ko'ndalang x_q o'qlar bo'yicha induktivli qarshiliklar, shuningdek yakor cho'lg'amining fazalar indukti sochish qarshiliklari kiradi. Dempferli cho'lg'amlarning va qo'zg'atish cho'lg'amining induktiv sochish qarshiligi o'tish rejimlarida hisobga olinadi.

Induktiv qarshiliklarni aniqlashda yakor cho'lg'amlari va qo'zg'atish cho'lg'ami Φ_m bilan tiralgan va faqat yakor cho'lg'ami bilan tiralgan sochish oqimi $\Phi_{\sigma 1}$ bo'lgan ishchi oqim mavjud deb tasavvur qilinadi.

Ochiq emas qutbli mashinada yakorning asosiy induktiv qarshiligi yoki yakorning o'zaro induksiya qarshiligi x_a formula bo'yicha aniqlanadi:

$$x_a = 2\pi f L_1 = \frac{4\mu_0 m_1 f_1 (\omega_1 k_{o1})^2}{\pi \rho} \lambda_\delta, \quad (4.39)$$

bu yerda L_1 - yakorning cho'lg'am induktivligi; $\lambda_\delta = \tau l_\delta / k_\delta$ δ - bir qutbga to'g'ri keladigan mundazam bo'shliqning o'tkazuvchanlik koeffitsienti.

Yakor o'zaro induksiya maydonidan yakor cho'lg'amining elektr yurituvchi kuchi

$$\underline{E}_a = -j x_a \underline{I}_a = -j \frac{\omega \Psi_{am}}{\sqrt{2}}, \quad (4.40)$$

bu yerda $\Psi_{am} = L_{11}(\sqrt{2} I_a)$ - yakor tokidan I_a fazalarning o'zaro induksiya oqimtirgagi.

Ochiq emas qutbli mashinalarda bo'ylama va ko'ndalang o'qlardagi qarshilik bir xil bo'ladi, shuning uchun $x_a = x_d = x_q$. Yakor cho'lg'amining fazalar induktiv sochish qarshiligi yakor fazalar $L_{\sigma a}$ sochma induktivligiga bog'liqdir:

$$x_{\sigma a} = 2\pi f L_{\sigma a} = 4\pi \mu_0 f \omega_1^2 \frac{L_\sigma}{p q_1} \lambda_{\sigma a}. \quad (4.41)$$

Yakor cho'lg'amining sochma magnitli o'tkazuvchanligi $\lambda_{\sigma a} = \lambda_{pa} + \lambda_{la} + \lambda_{da}$, bu yerda λ_{pa} - teshiksimon sochuvchanlikning magnitli o'tkazuvchanligi, λ_{la} - yakor cho'lg'amining yon qismlarining sochuvchanligi, λ_{da} - esa differensial sochuvchanlikning magnitli o'tkazuvchanligi. Sochuvchanlikning magnitli o'tkazuvchanlikning tarkib etuvchilari mashina geometriyasi va to'yinganligiga bog'liq (§1.12 ga qarang). Magnitli o'tkazuvchanlikning shu kabi hisoblashlarda elektr mashinalarini loyihalash bo'yicha kitoblarda keltirilgan [8].

Sochuvchanlikning induktiv qarshiligi sochish maydonining magnitli qarshiliklarida aniqlanadi. Sochuv oqimi cho'lg'amning yon qismlari va teshikli qismlarida tutashadi. Sochuv oqimiga baland tebranmalarda yuzaga keladigan differensial sochuvchanlik ta'sir ko'rsatadi. Sochuvchanlikning yon tomon qismlarining induktiv qarshiliklari to'yinishga bog'liq emas, differensial sochuvchanlik esa to'yinishga bog'liq bo'ladi.

Sochuvchanlik oqimi sochuvchanlik EYUKsi bilan quyidagi munosabatda keltirilgani kabi bog'liq:

$$\underline{E}_{\sigma a} = -j x_{\sigma a} \underline{I}_a = -j \frac{\omega \Psi_{\sigma}}{\sqrt{2}}, \quad (4.42)$$

bu yerda $\Psi_{\sigma} = L_{\sigma a}(\sqrt{2}I_a)$ - yakor fazalarining sochuvchanlik oqimtirgagi.

Ochiq emas qutbli sinxron mashinalarning to'liq induktiv qarshiligi

$$x_a = x_{\sigma a} + x_a. \quad (4.43)$$

Ochiq qutbli mashinalarda mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha induktiv qarshiligi bir biridan farq qiladi, chunki mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha induktiv qarshiligi bo'shliqlar farqlanishi tufayli har xildir (4.29 rasmga qarang).

Bo'ylama o'q bo'yicha induktiv qarshilik

$$x_d = x_{\sigma a} + x_{ad}. \quad (4.44)$$

bu yerda x_{ad} - yakor ta'sirlanishining mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha induktiv qarshiligi.

Ko'ndalang o'q bo'yicha induktiv qarshilik

$$x_q = x_{\sigma a} + x_{aq}. \quad (4.45)$$

bu yerda x_{aq} - yakor ta'sirlanishining mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha induktiv qarshiligi.

Bo'ylama o'q bo'yicha yakor ta'sirlanishining induktiv qarshiligi

$$x_{ad} = 2\pi f L_{ad} = 2\pi f \frac{\Psi_{ad}}{\sqrt{2}I_d} = \frac{4\mu_0}{\pi p} m_1 f_1 (\omega_1 k_{o1})^2 \lambda_{ad}. \quad (4.46)$$

bu yerda $\lambda_{ad} = k_d \tau l_{\delta} / k_{\delta} \delta$ - bo'ylama o'q bo'yicha bo'shliq o'tkazuvchanligining koeffitsienti; k_d - bo'ylama bo'yicha maydon shaklining koeffitsienti.

Ko'ndalang o'q bo'yicha yakor ta'sirlanishining induktiv qarshiligi

$$x_{aq} = 2\pi f L_{aq} = 2\pi f \frac{\Psi_{aq}}{\sqrt{2}I_q} = \frac{4\mu_0}{\pi p} m_1 f_1 (\omega_1 k_{o1})^2 \lambda_{aq}, \quad (4.47)$$

bu yerda $\lambda_{aq} = k_q \tau l_{\delta} / k_{\delta} \delta = k_q \lambda_{\delta}$ - ko'ndalang o'q bo'yicha bo'shliq o'tkazuvchanligining koeffitsienti; k_q - ko'ndalang bo'yicha maydon shaklining koeffitsienti.

Bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha maydonning shakl koeffitsientlari rotor ochiq qutbli konstruksiyasining asosiy tebranma induksiyasiga ta'sirini hisobga oladi. Maydon shakl koeffitsientlari rotor va bo'shliqlarning konfiguratsiyasining qutb uchlarining nisbiy o'lchamlarining funksiyalari bo'lib xizmat qiladi (teshiklar soni, teshikning ochilishi va havo bo'shlig'i).

Bo'ylama o'q bo'yicha maydon shakl koeffitsienti to'yinganlikga bog'liq, ko'ndalang o'q bo'yicha maydon shakl koeffitsienti to'yinganlikga bog'liq emas, chunki mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha bo'shlig'i bo'ylama o'qnikiga qaraganda miqdoran katta bo'lib, shuning uchun $x_{ad} > x_{aq}$.

x_{ad}, k_d va k_q larni bilib, x_{aq} ni quyidagi munosabat bilan aniqlash mumkin

$$x_{aq} = x_{ad} \frac{k_q}{k_d}. \quad (4.48)$$

Bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha induktivlanadigan toklarning elektr Yurituvchi kuchlari teng:

$$\underline{E}_{ad} = -j \frac{\omega \Psi_{ad}}{\sqrt{2}} = -j x_{ad} \underline{I}_d, \quad (4.49)$$

$$\underline{E}_{aq} = -j \frac{\omega \Psi_{aq}}{\sqrt{2}} = -j x_{aq} \underline{I}_q, \quad (4.50)$$

bu yerda $\Psi_{ad} = L_{ad}(\sqrt{2}I_d)$, $\Psi_{aq} = L_{aq}(\sqrt{2} \times I_q)$ - yakor ta'sirlanishining bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha oqimtirgagi.

Salt yurishda havo bo'shlig'idagi oqim F_{fm} qo'zg'atish cho'lg'amida yuzaga keladi. Qo'zg'atish cho'lg'aming induktivligi

$$L_{f\delta} = \Psi_{\delta}/i_f = \omega_f F_{fm}/i_f. \quad (4.51)$$

Havo bo'shlig'ining maydonidan tashqari yana qo'zg'atish cho'lg'aming sochuvchanlik maydoni mavjuddir. Qo'zg'atish cho'lg'aming to'liq induktivligi

$$L_f = L_{f\delta} + L_{\delta f}, \quad (4.52)$$

bu yerda $L_{\delta f}$ - qo'zg'atish cho'lg'aming sochuvchanlik induktivligi.

O'tish rejimlarila

$$e_f = -L_f \frac{di_f}{dt}, \quad (4.53)$$

va L_f boshqa mashinalarning ochiq konturlarida qo'zg'atish cho'lg'amida tok tebranishlarning so'nish vaqtini aniqlaydi.

Qo'zg'atish cho'lg'amidagi aktiv qarshilik § 1.13 da keltirilgan usul bo'yicha aniqlanadi va topiladi.

Sinxron mashinalarning parametrlari mashinalarning ishlatish ko'rsatkichlarini aniqlash uchun muhim ahamiyat kasb etadi. Agar parametrlar nisbiy birliklarda ifodalangan bo'lsa, mashinalarni o'zaro taqqoslash maqsadga muvofiqdir:

$$r_{a*} = \frac{r_a I_{F,nom}}{U_{F,nom}}; \quad x_* = \frac{x I_{F,nom}}{U_{F,nom}}; \quad z_* = \frac{z I_{F,nom}}{U_{F,nom}}. \quad (4.54)$$

So'ngida hamma qiymatlarning belgilanishini soddalashtirish uchun indeks * yozuvini tushirib qoldiramiz.

4.2 jadvalda turbo- va gidrogeneratorlarning simmetrik yuklamada o'rnatiladigan rejim uchun parametrlar qiymati keltirilgan.

4.2 jadval. Turbo- va gidrogeneratorlarning

parametrlari

Nomlanishi	r_a	x_d	x_q	x_{ad}	x_{aq}	$x_{\sigma a}$
Turbogenera torlar	0,002 – 0,008	1,6 – 2,2	1,6 – 2,2	1,5 – 2,1	1,5 – 2,1	0,08 – 0,25
Gidrogena torlar	0,002 – 0,02	0,6 – 1,8	0,4 – 1,2	0,5 – 1,5	0,3 – 0,9	0,1 – 0,3

Bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasining induktiv qarshiligi

$$x_{ad} = 2\pi f L_{ad} = 2\pi f \frac{\Psi_{ad}}{\sqrt{2}I_d} = \frac{4\mu_0}{\pi\rho} m_1 f_1 (\omega_1 k_{01})^2 \lambda_{ad}, \quad (4.46)$$

Bu yerda: $\lambda_{ad} = k_d \tau l_{\delta} / k_{\delta} \delta$ - bo'ylama o'q bo'yicha orasidan o'tkazuvchanlik koeffitsienti;

R_q - bo'ylama o'q bo'yicha maydon shakli koeffitsienti.

Bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasi induktiv qarshiligi

$$x_{aq} = 2\pi f L_{aq} = 2\pi f \frac{\Psi_{aq}}{\sqrt{2}I_q} = \frac{4\mu_0}{\pi\rho} m_1 f_1 (\omega_1 k_{01})^2 \lambda_{aq}, \quad (4.47)$$

Bu yerda: $\lambda_{aq} = k_q \tau l_\delta / k_\delta \delta = k_q \lambda_\delta$ -ko'ndalang o'q bo'yicha oradan o'tkazuvchanlik ko'effitsienti; R_d ko'ndalang o'q bo'yicha maydon shakli ko'effitsienti.

R_d bo'ylama va ko'ndalang R_q o'q bo'yicha maydon shakli garmonikaning asosiy induksiyasi ko'effitsienti rotorning ayonqutbli maydon shakli ko'effitsienti to'yinganligiga bog'liq bo'ladi va konstruksiyadagi ta'sirini ham hisobga oladi. Maydon shakli ko'effitsienti rotorning qutbli uchligi va konfiguratsiya oralig'ining nisbiy o'lchami funksiyasi hisoblanadi. (paz soni, pazlarning ochish va havo oralig'i)

Bo'ylama o'q bo'yicha maydon shakli ko'effitsienti to'yinishga bog'liq bo'ladi, ko'ndalang o'q bo'yicha esa maydon shakli ko'effitsienti to'yinishga bog'liq bo'lmaydi, chunki ko'ndalang o'q bo'yicha oraliq mashinaning bo'ylama o'qiga nisbatan sezilarli darajada ko'p, shuning uchun $x_{ad} > x_{aq}$.

X_{ad}, R_d va R_q larni bila turib, X_{aq} dan qo'yidagi o'zaro nisbatni aniqlash mumkin

$$x_{aq} = x_{ad} \frac{k_q}{k_d} \quad (4.48)$$

Ko'ndalang va bo'ylama o'q bo'yicha induksiyalangan tok bilan elektr harakatlanuvchi kuch quyidagiga teng:

$$E_{ad} = -j \frac{\omega \Psi_{ad}}{\sqrt{2}} = -j x_{ad} I_d \quad (4.49)$$

4.2.-jadval. Turbo va gidrogeneratorlar parametrlari

4.2.-jadval.

Nomlanishi	r_a	x_d	x_q	x_{ad}	x_{aq}	$x_{\sigma a}$
Turbogeneratorlar	0,002—0,008	1,6—2,2	1,6—2,2	1,5—2,1	1,5—2,1	0,08—0,25
Gidrogeneratorlar	0,002—0,02	0,6—1,8	0,4—1,2	0,5—1,5	0,3—0,9	0,1—0,3

Bu yerda: $\Psi_{ad} = L_{ad}(\sqrt{2}I_d)$, $\Psi_{aq} = L_{aq}(\sqrt{2}I_q)$

ko'ndalang va bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasining oqimni ulash.

F_{fm} salt yurishda tor tirqish oqimida cho'lg'amli qo'zg'atish hosil bo'ladi. Qo'zg'atish cho'lg'ami induktivligi

$$L_{f\delta} = \frac{\Psi_\delta}{i_f} = \frac{\omega_f k_{fm}}{i_f} \quad (4.51)$$

Tor tirqishda maydondan tashqari qo'zg'atish cho'lg'ami sochilishi oqimi ham mavjud bo'ladi. Cho'lg'amni qo'zg'atishning to'liq induktivligi

$$L_f = L_{f\delta} + L_{\delta f}, \quad (4.52)$$

Bu yerda L_{qf} cho'lg'amni qo'zg'atish sochilishi induktivligini bildiradi. O'tish rejimida

$$e_f = -L_f \frac{di_f}{dt}. \quad (4.53)$$

L_f mashinaning boshqa konturlarida uzilgan qo'zg'atish cho'lg'amida tokning so'nish vaqtini belgilaydi.

§1.13. da keltirilgan metodika bo'yicha qo'zg'atish cho'lg'amida aktiv qarshilik hisoblanadi va uni aniqlanishi bayon etilgan. Sinxron mashinalarning parametrlari mashinalarning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini aniqlash uchun muhim ahamiyatga ega. Mashinalarni o'zaro taqqoslash maqsadga muvofiq bo'ladi, qachonki, nisbiy birlik uning parametrlari ifodalangan bo'lsa:

Barcha miqdorlarni soddalashtirish uchun indekslar *yozuvi pasayadi.

4.2-jadvalda belgilangan rejim uchun simmetrik yuklanish turbo va gidrogeneratorlarning parametrlarini ahamiyati keltirilgan.

Tor tirqish qanchalik kam bo'lsa induktiv qarshilik shuncha ko'p bo'ladi. Oraliqning kamayishi mashinaning o'ta yuklanganligi qobiliyatini kamaytiradi, ammo bunday mashina aktiv materiallarni kam qo'yishni talab qiladi. Yakorning reaksiyasi ta'siri induktiv qarshilikdagi yirik cho'lchamdagi mashinalarga kuchliligini bildiradi.

$$r_{a*} = \frac{r_a I_{f.nom}}{U_{f.nom}}; \quad x_* = \frac{x I_{f.nom}}{U_{f.nom}}; \quad z_* = \frac{z I_{f.nom}}{U_{f.nom}}. \quad (4.54)$$

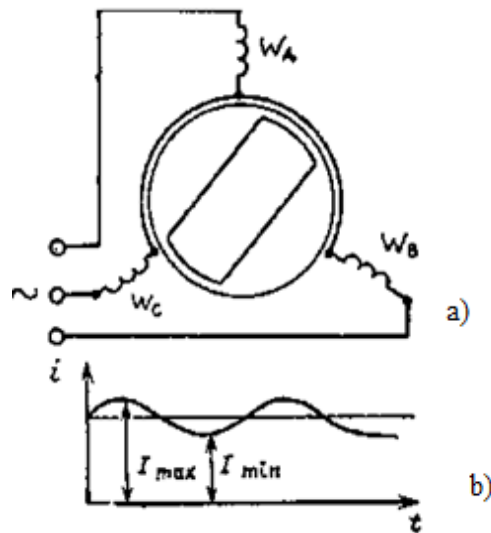
Boshqa elektr mashinalardagi kabi sinxron mashinalarning tor tirqishda magnit maydonida energiya konsentratsiyasi hosil bo'ladi, shuning uchun ham oraliq gabarit massali ko'rsatkich va tavsiyani aniqlab beradi. Sinxron mashinalarda tor tirqish shunday usulda tanlanadiki, bunda x_{ad} va x_{aq} muayyan nisbat hosil bo'lmasligi kerak. Tor tirqishni oshirish qo'zg'atish cho'lg'ami hajmini, o'lchamlarini oshishiga va qimmatlashiga olib keladi. Pasaytirilgan oraliq barqarorlikni pasayishiga olib keladi va mashinaning yuklanishini sezilarli ta'siri xususiyatiga olib keladi.

Ichki va suvli sovutish natijasida ana shunday o'lchamda quvvatning oshishi eng ko'p ishlatilayotgan zamonaviy mashinalarda liniyaviy Yuklanishni oshishiga olib keldi. Ana shunday mashinalarda yakor reaksiyasini ta'siri pasaytirish uchun tor tirqishni oshirishga to'g'ri keladi.

x_{ad} va x_{aq} mashina parametrlari tajriba yo'li bilan aniqlanishi mumkin. Ana shunday usullardan biri sinxronli mashinalarni tadqiq qilishda eng ko'p qo'llaniladigan sirpanish tajribasi hisoblanadi. Sirpanuvchi tajribada qo'zg'atilmagan mashina rotorini yurituvchi elektr motor aylanayotgan maydon tomon sinxronli aylanish chastotasi birga aylanadi. Shu bilan stator cho'lg'ami hosil qiladigan tok maydonda navbatlashib rotorning bo'ylama va ko'ndalang o'qiga mos tushadi (4.31-rasm) bu stator cho'lg'amidagi tok $\omega_s - \omega_r$ har xilligigi bog'liq holda chastota bilan o'zgarishga olib keladi. Ampermetr ko'rsatkichi bo'yicha tok, u bo'yicha esa qarshilik aniqlanadi:

$$x_d = \frac{U}{\sqrt{3} I_{min}}; \quad x_q = \frac{U}{\sqrt{3} I_{max}};$$

bu yerda U elektr liniyadagi kuchlanish; I_{min} va I_{max} sirpanish tajribasi orqali olingan statordagi cho'lg'amdagi tokning miqdori.



4.31-rasm. Sirpanishning tajriba sxemasi a); b), yakor tokining o'zgarishi.

Katta quvvatdagi sinxron mashinalarni sinashda sirpanish tajribasini o'tkazish juda qiyin, negaki maxsus yuritmalı motorga ega bo'lish kerak va mashinani quvvatlanishi uchun tegishli toklar bilan ta'minlash kerak.

Nazorat savollari.

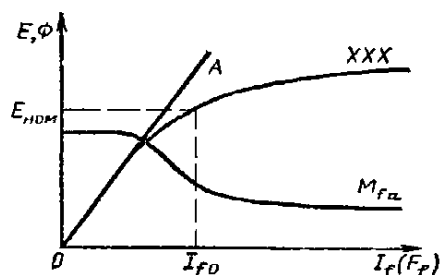
1. O'rnatilgan rejimda sinxron mashinalarni induktiv kattaligi qanday topiladi?
2. O'rnatilgan rejimda sinxron mashinalarni aktiv qarshilik kattaligi qanday topiladi?
3. O'rnatilgan rejimda sinxron mashinalarni nisbiy kattaligi qanday topiladi?

4.8. Sinxron generatorlarning tavsifi.

Avtonom yuklanishda ishlovchi sinxron generatorning asosiy tavsifi salt yurish, tashqi, roslama va qisqa tutashuv tavsifi hisoblanadi.

Salt yurishning tavsifi (XXX) 4.32-rasmda ko'rsatilgan. U 4.4.§ da batafsil ko'rsatilgan. Salt yurishning tavsifi boshlang'ich to'g'ridan to'g'ri qism OA ga ega, qachonki, magnitli zanjir to'yingan bo'lmasa. Mashina o'z yaqinidagi nominal miqdordagi EYUK dan to'yinadi. XXX cho'qur to'yinishda yana chiziqligga aylanadi. XXX bo'yicha yakor cho'lg'ami va qo'zg'atish cho'lg'ami oralig'ida o'zaro induktivlikni aniqlash mumkin.

O'zaro induktivlik to'yingan va to'yinmagan miqdorga ega va EYUK ning qo'zg'atish tokiga bo'lgan munosabati kabi aniqlanishi mumkin.



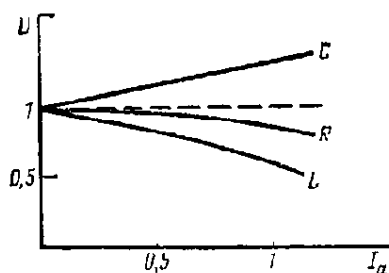
4.32-rasm. Sinxron generatorning salt yurish tavsifi.

Tajriba usuli bilan salt yurish tavsifi aylanishning doimiy nominal chastotasida I_f o'zgarishida va uzilgan yakor cho'lg'ami ($I_a=0$). Salt yurishning tavsifini tadqiq qilishda dastlab ko'tariluvchi tarmoqni keyin esa I_f kamayishida pasayuvchini qurishadi. Hisoblashda o'rta egri chiziqdan foydalaniladi.

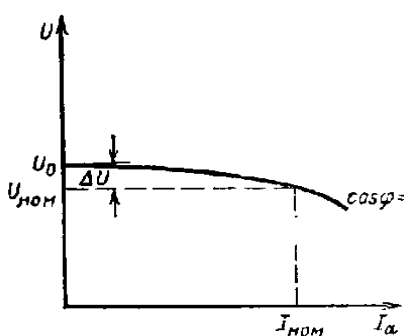
Sinxron mashinalarda gisterezis (kechikish) o'z o'rniga ega bo'lib, bunda rotorning magnitsizlanishi tufayli va rotor po'lati bo'yicha o'zgarmas qo'zg'alish oqimi qisqa tutashadi.

Sinxron generatorning tashqi tavsifi $U=f(I_a)$ va bog'liqligi bilan aytilib, $n=const$ holatida $\cos\varphi=const$, o'zgarmas tokda qo'zg'atishni olib tashlash $I_f=const$ 4.33.-rasm sinxron generatorning bir nisbiy bo'lgan R aktiv, L induktiv va S sig'im Yuklamadagi tashqi tavsifi ko'rsatilgan. Mashinaning ichki qarshiligi va $z_a=r_a+ix_{qa}$ yakorning ko'ndalang reaksiyasi ta'siri oqibatida aktiv Yuklanish Yuklanish I_a tokining oshishi bilan generatorning chiqish kuchlanish kamayadi.

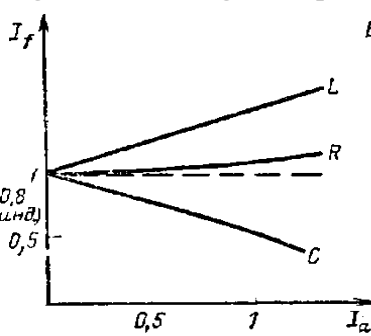
Induktiv yuklamada kuchli magnitsizlantirish harakatida yakorning bo'ylama reaksiyasining tashqi tavsifi toza induktiv yuklanishda aktiv yuklanishda tashqi tavsifiga nisbatan past bo'ladi. Sig'imli yuklanishda magnitsizlantirilgan yakorning reaksiyasi generator chiqishidagi kuchlanish yuklanish oshishi bilan u ham oshib boradi.



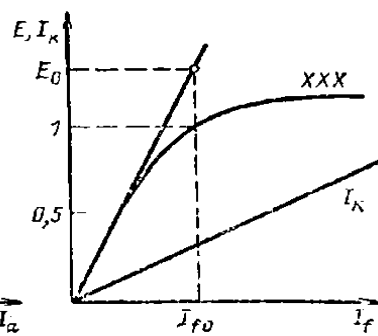
4.33-rasm. Sinxron generatorning tashqi tavsifi.



4.34-rasm. $\Delta U\%$ ni aniqlash tavsifi.



4.35-rasm Sinxron generatorlarni naorat qilish.



4.36-rasm. Qisqa tutashuv tavsifi.

Mashinaning ichki qarshiligini protsentda ifodalash yuklanish qarshiligiga nisbati bo'yicha odatda uncha katta bo'lmagan nisbat tuziladi, shuning uchun yakorning reaksiyasi aktiv yuklanishda induktiv qarshlikni hisobga olmagan holda yakor cho'lg'aming tarqalishi ham deb hisoblash mumkin. Uncha katta bo'lmagan

mashinalarda yakorning ko'ndalang reaksiyasi(toza aktiv tok) uncha katta bo'lmagan sig'imdagi yuklanish mavjud bo'ladi, mashinaning yakori cho'lg'amida kompensatsiyalangan induktiv qarshilik tarqalishi. ΔU_{nom} sinxron generatorning kuchlanishini nominal o'zgarishi qo'zg'atish toki noldan nominalgacha o'zgarmaganda hosil bo'ladigan kuchlanishdagi o'zgarishga aytiladi. (4.34 rasm)

$$\Delta U_{nom} = \frac{U_c - U_{nom}}{U_{nom}} 100\%. \quad (4.55)$$

Qoida bo'yicha generatorlar $\cos\varphi = 0.8$ bo'lganda kechikuvchi tokda ishlaydi. ΔU_{nom} odatda 20-30 % ga teng bo'lib, ΔU_{nom} qancha katta bo'lsa x_d shuncha katta bo'ladi. ΔU_{nom} ni GOST hech qachon cheklamaydi.

Rostlanma tavsif – o'zgarmas kuchlanishda yakor tokidan qo'zg'atish tokiga bog'liqligi $I_f=f(I_a)$, aylanishning o'zgarmas chastotasida va $\cos\varphi$ o'zgarmagan Yuklanmada ham.

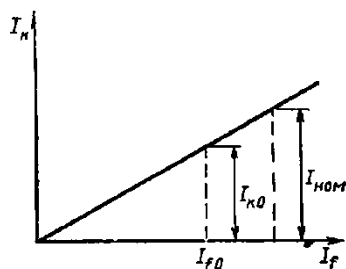
Rostlanma tavsif shuni ko'rsatdiki, yuklanma o'zgarishida qo'zg'atish tokini shunday o'zgartirish kerakki, generator chiqarmasidagi kuchlanish o'zgarmasdan qolishi lozim.(4.35-rasm)

Rostlanma tavsif agar uning tashqi tavsifi ma'lum bo'lsa qurilgan bo'lishi mumkin. Induktiv yuklanishda yuklanish oshishi bilan kuchlanish kamayadi (4.33-rasm) . Kuchlanish o'zgarmasdan qolishi uchun qo'zg'atish tokini oshirish kerak. Sig'imli yuklanishda mashina yakorida tokning oshishida generator chiqarmasida kuchlanish oshadi (4.33-rasm). U o'zgarishsiz qolishi uchun qo'zg'atish tokini kamaytirish kerak bo'ladi.(4.35-rasm)

Tashqi tavsifdagi kabiuncha katta bo'lmagan yuklanishda rostlanma tavsifga to'g'ri mutanosibdir. Nominal nisbatga yaqin yuklanishda rostlanma tavsifning to'yinishida to'g'ri mutanosib bo'lmaydi.(4.35-rasm)

Sinxron generatorning sig'imli yuklanishda ishlashida mashinadagi magnit maydoni yakordan o'tuvchi qo'zg'atish va reaktiv tokda hosil qilinadi. Sig'imli yuklanishda ishlovchi sinxron mashinadagi uncha katta bo'lmagan oraliqda o'zini-o'zi qo'zg'atish hosil bo'lishi mumkin, ($I_f=0$) o'chirilgan qo'zg'atish cho'lg'amida generator chiqarmasi kuchlanish paydo bo'ladi. Bu holat sinxron mashinada o'zini o'zi qo'zg'atish deyiladi. O'zini o'zi qo'zg'atish yana ham mukammal 4.16 § da ko'rib chiqilgan.

Sinxron mashinaning eng asosiy tavsifi qisqa tutashuv tavsifi hisoblanadi *nominal aylanish chastotasida yakor chiqarmasidagi simmetrik qisqa tutashuvda* $I_k=f(I_f)$ yakordagi tokning qo'zg'atish tokiga bog'liqligi.(4.36 rasm) bu bog'liqlik chiziqli bo'ladi.



4.37-rasm. Qisqa tutashuvli tokning karraliligini aniqlash.

Shunday qilib generator to'yinmagan(yakor reaksiyasida magnitsiz-lantirishda ishlashida). Qisqa tutashuvda tokning induktiv xususiyati yakor cho'lg'aming induktiv qarshiligi bilan aniqlanadi, u cho'lg'amning aktiv qarshiligi sezilarli darajada ko'p (nisbiy birlikda)

$$R = 0.01 \div 0.001, x_d = 1.0 \div 2.5$$

Qisqa tutashuv tokini quyidagicha belgilash mumkin

$$I_k = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + x_d^2}} \quad (4.56)$$

Qayerda E_0 - EYUK bo'lsa, u qo'zg'atish tokiga mos keluvchi I_{fo} salt yurish to'g'ri-langani tavsifi bo'yicha aniqlanadi.

Foydali qarshilikka e'tibor qilmay, qisqa tutashuv tokini aniqlash mumkin

$$I_k = \frac{E_0}{x_d} \quad (4.57)$$

Nisbiy birlikda qisqa tutashuv toki x_d ga teskari proporsionaldir. Shunday qilib, salt yurish tavsifi bo'yicha va qisqa tutashuv tavsifida x_d ni tajriba yo'li bilan aniqlash mumkin.

Salt yurish kuchlanishida qisqa tutashuv tokining karraliligi muhim ahamiyatga ega, nominalga teng (4.37-rasm)

$$f_{ko} = \frac{I_{ko}}{I_{nom}} \quad (4.58)$$

Qo'zg'atishning nominal tokida va qisqa tutashuv toki I_{nom} ga teng.

$$f_{k.nom} = \frac{I_{k.nom}}{I_{nom}} \quad (4.59)$$

Nominal tokka qisqa tutashuv tokini munosabati qo'zg'atish toki nisbiy birligida I_{io} , qaysiki $E_0 = U_{nom}$ qisqa tutashuv nisbati (QTN) deb aytiladi va ayonqutbli to'yinmagan mashinalar uchun

$$OKZ = \frac{U_{nom}}{x_d I_{nom}} = \frac{1}{x_d}. \quad (4.60)$$

Agar QTN salt yurishning to'yingan tavsifi bo'yicha aniqlansa, unda

$$OKZ = \frac{1.1 \div 1.2}{x_d} \quad (4.60a)$$

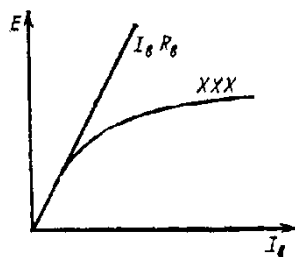
bo'ladi.

Qisqa tutashuv nisbati x_d kabi xuddi shunday va sinxron mashina o'ta yuklanish qobiliyatini belgilaydi. QTN qancha ko'p bo'lsa chegaraviy yuklanish shuncha ko'p bo'ladi; QTN ko'p bo'lsa, tor tirqish shuncha kam bo'ladi, ya'ni o'sha kuchlanishda magnit maydonida energiyaning konsentratsiyasi kam bo'ladi. Bunday mashinalar uchun juda ko'p materiallar sarflanadi, bu uning narxini ham oshishiga olib keladi. QTN trubogeneratorida QTN= 0,4÷1,0, gidrogeneratorida esa 0,8-1,8 bo'ladi.

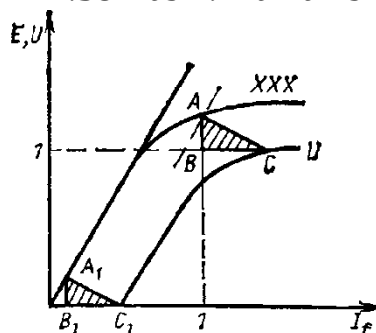
Yuklanishli tavsif – qo'zg'atish tokidan yakordagi o'zgarish tokda generatorga bog'liq bo'lgan kuchlanish $U=f(i_p)$, yuklanish $\cos\varphi$ va aylanish chastotasi (4.38-rasm) yakordagi tok kuchlanishi o'zgarishida yuklanish qarshiligini rostlash yo'li

bilan o'zgarishsiz ushlash. Yuklanishli tavsif faqatgina induktiv yuklanishda olib tashlandi. Shuning uchun ham bog'liqlikni $U=f(i_f)$ induksion yuklanish tavsifida $\cos\varphi=\text{const}$ deb aytiladi.

Induksion yuklanishli tavsif yordamchi tavsif hisoblanib, induktiv sochilish qarshiligini aniqlash uchun foydalaniladi. Buning uchun salt yurish tavsifi va tajriba usuli bilan olingan induksion yuklanish tavsifizarur bo'ladi (4.39-rasm). Ana shu tavsiflarga ega bo'la turib, AVS reaktiv uchburchakni qurish mumkin.



4.38 -rasm. Yuklanish tavsifi.



4.39 -rasm. Reaktiv uchburchakning tuzilishi.

AVS uchburchak AV katet yakorning sochilish qarshiligi kuchlanishini tushishiga teng $I_a x \sigma_a$, gorizontal katet VS esa yuklamali tavsif va salt yurish tavsifi tizilishida qo'zg'atish toki masshtabida yakor reaksiyasi MYUK ga teng (4.39-rasm).

Reaktiv uchburchak shuni ko'rsatadiki, yuklamali tavsif oqibatida sochilma induktiv qarshilikda kuchlanishini kamayishida $x\sigma_a$ (AV katet) va yakor reaksiyasi magnitsizlantirishga ta'siri (VS kateti).

Agar reaktiv uchburchakning katetlari ma'lum bo'lsa, unda salt yurish tavsifi bo'yicha yuklamali tavsifni, o'zini o'ziga reaktiv uchburchakni parallel ravishda surgan holdaqurish mumkin (uchburchak $A_1 V_1 S_1$). Agar tajriba yo'li bilan olish imkoni bo'lsa, $x\sigma_a$ yakor bo'ylama reaksiyasini bilgan holda (tokni qo'zg'atish masshtabida VS kateti). Reaktiv uchburchakni katetga yaqinlashuvi to'g'rilangan bo'yicha aniqlanadi, bu 4.39-rasmda ko'rsatilgan.

Ko'rib chiqilgan tavsiflar mashinaning asosiy elektrmagnitli ko'rsatkichlari haqida fikr yuritish imkonini beradi. Biroq FIK va issiqlik maydonlarini bu bilan muhokama qilish mumkin emas. Sinxron mashinalardagi isroflarni aniqlash sinxron mashinalar rotori cho'lg'amida o'zgarimas tok o'tishini hisobga olgan holdaasinxron

mashinalardagi kabi aniqlanadi. Qo'shimcha isroflarga rotordagi yuzaki yo'qotishga tegishli. Misning asosiy yo'qotishi o'z ichiga yakor cho'lg'amidagi va qo'zg'atish cho'lg'amidagi isrofni oladi.

Qo'g'otish cho'lg'amidagi isrofni qo'zg'atuvchidagi isroflarni hisobga olgan holda hisoblashadi:

bu yerda ΔU_{sh} - cho'tkali kontaktda o'tkinchi kuchlanishni tushishi ($\Delta U_{sh}=1V$). Agar qo'zg'atish kontakt siz bo'lsa bunda tarkibiy isroflar bo'lmaydi; qo'zg'atuv-chining η_f -FIK ($\eta_f=0,8 \div 0,85$).

Qo'zg'atish cho'lg'ami qarshiligi bu (1.118) formula bo'yicha tokni hisobsiz siqib chiqarishni belgilab beradi va $75^{\circ}C$ mo'ljallangan haroratga olib keladi.

$$P_f = \frac{I_{fnom}^2 R_f + 2\Delta U_{sh} I_{fnom}}{\eta_f} \quad (4.61)$$

Turli xildagi sinxron mashinalar uchun mo'ljallangan mexanik va qo'shimcha o'ziga xosligi sinxron mashinalarni loyihalashtirish kursida ko'rib chiqiladi (8).

Generatorning foydali ta'siri koeffitsienti

$$\eta = 1 - \frac{\sum P}{P_{nom} + \sum P'} \quad (4.62)$$

$$\sum P = P_{E1} + P_f + P_{st} + P_{mex} + P_{pov} + P_{dob} \quad (4.63)$$

Bu yerda: P_e - yakor cho'lg'amidagi elektrdagi isroflar; P_f - qo'zg'atish cho'lg'amidagi elektr isroflari; P_{st} - po'latdagi isroflar; P_{mex} -mexanik isroflar; P_{pov} -yuzaki isroflar; P_{dob} - qo'shimcha isroflar.

($\eta = f(P_{nom})$) 1.91 rasmda o'xshash tavsif ko'rsatilgan. FIK yirik sinxron mashinalarda 98-99 foizga etadi.

Nazorat savollari.

1. Sinxron generatorning salt yurish tavsifini izohlang?
2. Qisqa tutashuvli tokning karraliligini qanday aniqlash mumkin?
3. Reaktiv uchburchakning tuzilishini tushuntiring?

4.9. Ayonmas qutbli sinxron generatorlarning vektor diagrammasi.

Sinxron noayon qutbli mashinalarda energiyaning elektr mexanikli o'zgartirishlar jarayonida (4.9), (4.10) tenglamalarda o'rnatilgan rejimda yoki to'rt-qutbli ko'rinishdagi mashinani taqdim qilinganda olingan o'ta oddiy tenglamada tavsiflab berilgan (4.6-rasmga qarang).

Ayonmas qutbli sinxron mashinalarda bo'ylama va ko'ndalang o'qi bo'yicha oraliq mashinalarda bir xil va shuning uchun ham $x_d=x_q=x_c$ ga teng. To'yinmagan ayonmas qutbli sinxron mashinalarda (4.9) tenglama quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$U_a = E_0 - jx_c I_a - r_a I_a, \quad (4.64)$$

Bu yerda salt yurishda E_0 -EYUK.

Ayonmas qutbli sinxron mashina-larni (4.64) quyidagicha tasavvur qilish mumkin:

$$U_a = E_0 - jx_{ad}I_a - jx_{\sigma d}I_a - r_a I_a, \quad (4.65)$$

Bu yerda x_{ad} - yakor reaksiyasi induktiv qarshiligi ($x_d = x_{ad} + x_{\sigma d}$); $E_0 - jx_{ad}I_a = E_\sigma$ - EYUK tor tirqish ham xuddi shunday $U_a + jx_{\sigma a}I_a + r_a I_a$ ga teng.

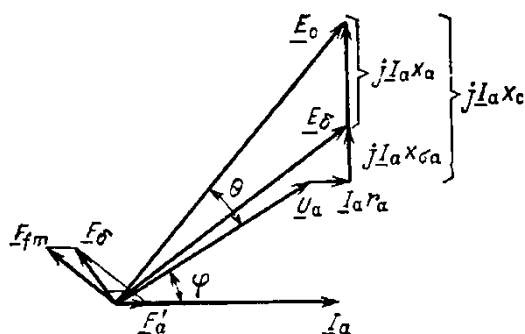
E_σ o'lchash mumkin emas, mashinaning tashqi qarshiligida kuchlanishni tushib ketishi plyus mashinani chiqishida kuchlanish sifatida tasavvur qilish qiyin emas $z_a = r_a + jx_{\sigma a}$, foydali r_a va sochilma induktiv qarshilik x_σ yakor cho'lg'amida. (4.65)da aytilganlarni hisobga olgan holda

$$U_a = E_\sigma - jx_{\sigma a}I_a - r_a I_a, \quad (4.65a)$$

4.40-rasmda (4.64) va (4.65) uchun ko'rsatilgan vektorli diagramma qurilgan bo'lishi mumkin.

Generatorning pasportida salt yurishda E_0 kuchlanish o'rin tutadi. yakorning reaksiyasi tufayli Yuklamadagi kuchlanish o'zgaradi, bu $jI_a x_a$ vektor bilan xarakterlanadi. Generator chiqarmasida U_a kuchlanish olinadi, agarki yakor z_a cho'lg'amida qarshilik kuchlanishini tushib ketishini hisobga olsagina, yakor cho'lg'amida kuchlanishni tushib ketishi aktiv qarshilikda kuchlanishni tushishidan iborat $I_a r_a$ sochilma induktiv qarshilikda ($jI_a x_a$).

Ko'p hollarda mashinalar chiqishida kuchlanish tushuvi Yuklama xarakteriga bog'liq. Aralash induktiv-aktiv Yuklamanin vektor diagrammasi 4.40-rasmda keltirilgan.



4.40 -rasm. To'yinishini hisobga olmagan holda noayon qutbli generatorning vektor diagrammasi.

To'yinishini hisobga olmagan holda ayonmas qutbli generatorning vektorli diagrammasi Yuklama uchun vektorli diagramma qurilgan. Yuklama tomonidan $U_a = r_a z_p$. Yuklamaning tavsifi φ burchagi U_a va I_a toki oralig'idagi kuchlanish bilan belgilanadi sig'imli yuklamada generatorning ishlashida yakorning reaksiyasi qo'shimcha magnitlanib, vektorli diagrammada $I_a x_{ad}$ vektor tomonga qarab vektor $U_a \rightarrow$ va U_a yo'naladi va E_0 katta bo'ladi.

Noayon qutbli mashinalarning vektorli diagrammasi mos kelishi va to'yinishi hisobga olinmagan holda qurilgan (4.65). MYUK diagrammasini agarki yakor F'_a , MYUK ma'lum bo'lsa, I_a tokka mos kelsaqurish mumkin. qo'zg'atish cho'lg'amidagi magnitli harakatga keltiruvchi kuch E_0 ga perpendikulyar, natijali MYUK F'_σ F_1 va F'_a geometrik yig'indisiga teng.

Yakorning magnitni harakatga keltiruvchi kuchi 1-garmonika bo'yicha (1.11.§ga qarang)

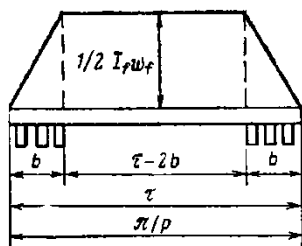
$$F_a = 0.45 m_1 I_a \frac{\omega_a k_{01}}{p}, \quad (4.66)$$

Bu yerda w yakor cho'lg'ami faza cho'lg'ami soni; R_{01} - 1-garmonika bo'yicha cho'lg'amli koefitsient.

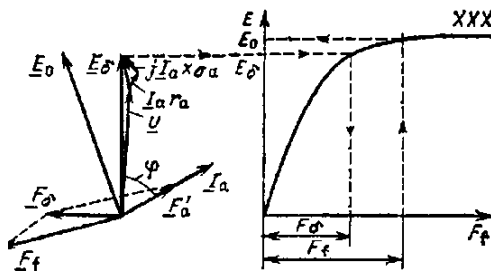
Yakordagi tor tirqishda cho'lg'am MYUK ini taqsimlashning turlicha xususiyati va bu cho'lg'amlarda MYUK geometrik joylashtirish stator yuzasi bo'ylab cho'lg'amda qo'zg'atishga yo'l qo'ymaydi. MYUK F_a va F_f larni keltirgandan keyin bir xil ko'rinishdagi taqsimlab bitta yagona bazaga joylash mumkin. bazaviy sifatida har qanday cho'lg'amni olish mumkin yakor yoki qo'zg'atishni. Elektrli mashinalar nazariyasida bir xil baravar foydalaniladi. Bir xil qarashda yakor cho'lg'ami MYUK ni MYUK qo'zg'atish cho'lg'ami keltiriladi. Ayonqutbli rotor konstruksiyasi koefitsienti R_{ad} va R_{aq} [(4.36) va(4.37)] d va q o'q bo'yicha har xil bo'ladi. Ayonqutbli mashinalarda MYUK yakor cho'lg'amini keltirmaslik MYUK rotor cho'lg'amida (4.22) yakor $R_{ad}=1/ R_{af}$ reaksiyasi koefitsientiga bo'lgan teskari munosabati maydonni qo'zg'atish shakli yordamida amalga oshiriladi.

$$F'_{fm} = \frac{F_{f1m1}}{k_f} = F_{f1m} k_a$$

(keltirilgan MYUKning ahamiyati shtrix bilan ko'rsatilgan bo'lishi mumkin).



4.41-rasm. Ayonqutbli sinxron mashinani F_f ni aniqlash.



4.42-rasm. To'yinishi hisobga olingan sinxron generatorning vektorli diagrammasi.

Boshqacha qarashda - MYUK rotor cho'lg'amini yakor cho'lg'amiga teskari keltirish, uning asosiy garmonikasini e'tiborga olib, amalga oshiriladi. Bunday holda rotor cho'lg'amining MYUK egri chiziq uning asosiy garmonikasini ajratib qo'yadi. MYUKning trapetsiadal formasida (4.41-rasm) asosiy garmonikaning amplitudli nisbati ehtiyotsizlik bilan egri pog'onasimon bo'ladi.

$$F_{f1} = \frac{4 \sin(\frac{\rho\pi}{2})}{\pi \rho\pi/2} I_f \omega_f = \frac{8 \sin(\frac{\rho\pi}{2})}{\pi^2 \rho} I_f \omega_f \quad (4.67)$$

Bu yerda:

w_f - bir qutbda qo'zg'atish cho'lg'amida cho'lg'amlar soni.

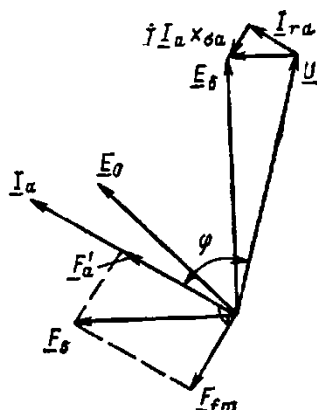
Yakorning koeffitsient reaksiyasi

$$k_a = \frac{\pi^2 \rho}{8 \sin\left(\frac{\rho\pi}{2}\right)},$$

Bu yerda:

$$\rho = \frac{b}{\tau}.$$

Vektorli diagrammani qurish maqsadida U , I va $\cos \varphi$ rotor cho'lg'amiga yakor cho'lg'ami MYUKni keltirishning vektorli diagrammasini qurishni ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir. Sinxron ayonqutbsiz mashinalarning vektorli diagrammasi to'yinganini hisobga olgan holda – Pote diagrammasi (4.42 rasm) quyidagi tartibda quriladi.



4.43-rasm.Foydali sig'imli yuklamada sinxron generatorning vektorli diagrammasi.

Kuchlanishni bilgan holda tok va $\cos\varphi$ uchun vektorli diagramma qurilishi lozim, u $E\sigma$ tor tirqish EYUK ni aniqlaydi. Buning uchun sochilma yakorning cho'lg'amini foydali va induktiv qarshiligini bilish zarur.

$E\sigma$ vektorli diagrammadan aniqlab, salt Yurish tavsifi bo'yicha $F\sigma$ - tor tirqishni natijalovchi MYUK. Keyin MYUK ni bila turib, yakor reaksiyasi F_a , yakor reaksiyasi koefitsienti R_a , $F\sigma$ yo'nalish va moduli $F\sigma$ ($F\sigma$ vektorli diagrammada $E\sigma$ ga ko'ndalang) yuklamada cho'zg'atish cho'lg'amida MYUKni aniqlaydi.

$$F_f = F_\delta - k_a F_a = F_\delta - F_a'$$

Salt ishlash tavsifiga murojaat qilgan holda F_f bo'yicha E_o aniqlanadi. Vektorli diagrammada $E_o \perp F_f$ bo'ladi.

Xuddi shunday sig'imli yuklamada ham vektorli diagramma qurilgan bo'lishi mumkin.(4.43 rasm).

Yuklama o'zgarganida kuchlanish o'zgarishini aniqlash imkonini vektorli diagramma beradi, qo'zg'atish tokida o'zgarish bo'lganda I_a , va $\cos \varphi$ ni berilgan zarur kuchlanishni olish uchun, shuningdek I_a , va $\cos \varphi$ o'zgarishi bilan tashqi va rostlanma tavsifni qurish uchun. Tashqi va rostlanma tavsifni qurish uchun tokli Yuklamada bir necha nisbat uchun vektorli diag-rammani qurish zarur. (4.64), (4.65) tenglama bo'yicha etarli darajada eng ko'p yo'l qo'yilgan energiyani o'zgartirish jarayonlarini qayd etib borishda vektorli diagramma qurilgan: tor tirqishda faqat

birinchi maydon garmonikasi hisobga olingan, rotor va statordagi qisqa tutashuvli kontur hisobga olinmagan, yakor va stator cho'lg'ami o'rtasidagi o'zaro induksiyaning o'zgarishi hisobga olinmagan[3].

Soddalashtirilgan tenglama bitib qolishidagi katta kamchilikka yo'l qo'yish, vektorli diagrammaga to'g'ri keladi, sinxron mashinalar ishlashini sifatli tahlil qilish imkonini beradi. yirik sinxron mashinalarni hisoblashda maqbul natijani vektorli diagramma beradi .

Nazorat savollari.

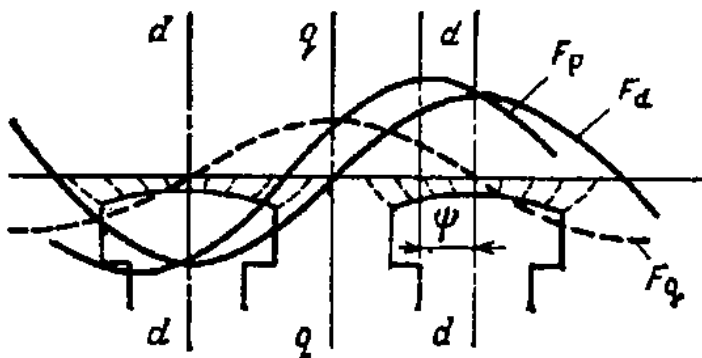
1. Ayonmas qutbli generatorni asosiy tenglamasini yozing?
2. Ayonqutbli sinxron mashinani F_f ni qanday aniqlash mumkin?
3. Foydali sig'imli yuklamada sinxron generatorning vektorli diagrammasi tavsiflang?

4.10. Ayon qutbli sinxron generatorlarning vektor diagrammasi.

Ayon qutbli sinxron mashinalarda oraliq mashinaning ko'ndalang va bo'ylama o'qi bo'yicha turlicha, shuning uchun maydon tebranishsi qutblar o'qiga nisbatan maydon o'qi holatiga bog'liq bo'ladi. Yakor reaksiyasi orqali maydon o'qi siljishi aniqlanadi.

Ayonqutbli mashinalar yakori reaksiyasi ta'sirini hisobga olish uchun Blondel bilan ikki reaksiya usuli taklif etilgan. Ikki reaksiyali usul yakor MYUKni ajralishiga asoslangan bo'ylama va ko'ndalang, mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qi mos ta'sir qiladi.(4.44 rasm).

F_r mashina tor tirqishni agar F_d bo'ylama F_q ko'ndalang maydon tebranishsini o'zgartirilsa sinusoidal natijali maydon orqali hosil qilish mumkin. $F_q=0$ bo'lganda F_r mashina bo'ylama o'qiga, $F_d = 0$ bo'lganda F_r ko'ndalang o'qiga mos keladi. Yakor reaksiyasi MYUK ni to'planishini topishda, harakatdagi ko'ndalang va bo'ylama o'q bo'yicha, ikkitadan iborat bo'lgan va mashina yakoridan o'tayotgan tokni yozib chiqamiz (4.45 rasm). Bo'ylama va ko'ndalangdan iborat bo'lgan reaksiyadagi $\underline{F_d}$ va $\underline{F_q}$ yakor reaksiyasining natijalovchi MYUK ning joylashishi ma'lum qonuniyat bilan o'zgaradi.



4.44-rasm. F_d bo'ylama va F_q ko'ndalangdan iborat bo'lgan F_r natijalovchi MYUK ning joylashishi.

k_{ad} va k_{aq} koeffitsientlarni hisoblash yo'li kabi tajriba yo'li bilan ham aniqlanadi. Ayonqutbli mashinalar vektorli diagrammasi tenglama bo'yicha qurilagan bo'lishi (4.64.)-(4.68) mumkin. Ma'lum nisbatlar U , I_a va $\cos\varphi$ I_{ar_a} ni olib qo'yamiz, $jI_a x_{\sigma_a}$ (4.46-rasm) AD qir-qimni olib qo'yamiz,

$$AD = \frac{E_{aq}}{\cos\Psi} = \frac{I_q x_{aq}}{\cos\Psi} = I_a x_{aq}.$$

ga teng: AD nisbatini salt yurish tavsifidan topish mumkin.

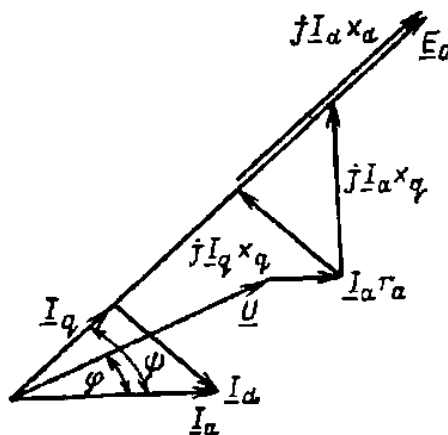
$$F_a k_{aq} = \frac{F_{aq}}{\cos\Psi}.$$

Magnit yurituvchi kuch $F_a k_{aq}$ EYUK $E_{aq}/\cos\Psi$ ga mos keladi (4.46-rasm). D nuqta topilganidan keyin diagrammani boshlanish joyi bilan birlashtiriladi. OD yo'nalishda EYUK vektori yotadi. $E_{\delta d}$, E_0 va E_{ad} .

Ana shu vektorlarni modulini topish uchun A nuqtadan OD liniyasiga AV perpendikulyar tushiriladi. OAV uchburchakdan AV kesigi EYUK $E_{\sigma q}$ dan iborat bo'ladi.

$E_{\sigma q}$ ni bilgan holda salt yurish tavsifi bo'yicha $E_{\sigma d}$ aniqlanadi. Keyin esa $F_{ad} = F_a k_{ad} \sin\Psi$ topiladi. Shundan keyin salt yurish tavsifi bo'yicha $F_{\sigma d}$ ni F_{ad} va bilgan holda $E_{\sigma q}$, E_0 va E_{ad} aniqlanadi (4.47-rasm) va vektorli diagramma quriladi. (4.46-rasm) ayonqutbli mashinalar vektorli diagrammasi to'yinishni hisobga olgan holda qurilgan. Shundan $F_f = F_f + F_{\sigma d}$ ni aniqlash mumkin, U kuchlanish berilgan $\cos\varphi$ yuklanishda I_a yuklamadan tok yakor cho'lg'amiga yuklamada oqib o'tsin. Ayonqutbli sinxron mashinalarda kuchlanishning tushishi bo'ylama E_{ad} va ko'ndalang E_{aq} yakor reaksiyasi va yakor cho'lg'ami qarshiligi[8].

Ikki reaksiyasi metodi bilan mos holda EYUK vektor diagrammasi yakor cho'lg'amidagi EYUK bo'ylama va ko'ndalang o'q bo'yicha E_{ad} va E_{aq} keltirilgan. 4.46 rasmda induktiv foydali yuklama uchun qurilgan diagramma. Foydali sig'imli yuklama va foydali uchun diagramma qurish mumkin. To'yinishni hisobga olmay agar x_d va x_q qarshilik ma'lum bo'lsa ayonqutbli sinxron mashinalarning vektorli diagrammasi 4.48-rasmda ko'rsatilgan kabi qurilishi mumkin. Bu soddalashtirilgan vektorli diagramma ayon qutbli sinxron yirik mashinalarni qurishda yaxshi etarli natija berishi mumkin[8].



4.48-rasm. To'yinishni hisobga olmagan holda sinxron mashinalarning vektorli diagrammasi.

Keltirilgan diagramma adabiyotlarda uchragan sinxron mashinalarning vektorli diagrammasini qurish mukammal bo'lmaydi. Biroq barcha aniqlangan vektorli diagrammalar haqqoniy, ammo energiyani qayta hosil qilish bilan tenglama o'zgaradi. Barcha vektorli diagrammalarning no'qsoni shundaki, sinusoidal toklar uchun ularni qurishadi va mashina tor tirqishda bo'ylama va ko'ndalang o'q bo'yicha rotorda va statorda bir nechta konturlarning mavjudligi va mashinadagi tor tirqishda yuqori garmonikadagi qat'iy hisobga olinmagan kuchlanish. Qisqa tutashuv holati uchun vektor diagrammalar $U=0$ bo'lgan holatdagi qaralayotgan diagramma xususiy holidir (4.49-rasm)

Agar yakor cho'lg'amini faol qarshilik bilan ehtiyot qilinmasa, vektorli diagrammani yana ham soddalashtirish mumkin (4.50 rasm) $E_0 = jI_k x_s$ - induktiv sinxron qarshilik, x_d ayonqutbli mashinaga teng. Yakor reaksiyaning qisqa tutashuvida magnitsizlantirish va $F_{\sigma k}$ ni ehtiyot qilmasdan $F_a \approx F_f$ deb hisoblash mumkin. Tor tirqishda maydon nolga qarab intiladi, ammo mashina to'yinmagan bo'ladi (4.8§ qarang)

Oxirgi yillar EXM tufayli sinxron mashinalarda energiya o'zgartirish jarayonlarini qayd qiluvchi ochiq chiziq parametrlarni hisobga olgan holda, tor tirqishda yuqori garmonika va rotor va statorda bir nechta konturlar kabi barcha o'ta murakkab tenglashtirish tizimi yechilmoqda.

Nazorat savollari.

1. F_d bo'ylama va F_q ko'ndalangdan iborat bo'lgan F_r natijalovchi MYUK ning joylashishi qanday?
2. EYUK E_0 salt yurishda E_{ad} , $\underline{E}_{ad}$, va $\underline{E}_{\sigma d}$ ni qanday aniqlash mumkin?
3. To'yinishni hisobga olmagan holda sinxron mashinalarning vektorli diagrammasini tavsiflang?

4.11. Sinxron mashinalarning parallel ishlashi.

Qoida bo'yicha sinxron mashinalar boshqa sinxron mashinalar bilan birgalikda ishlaydi. Elektr stansiyalar yagona energosistemaga birlashtirilgan va barcha sinxron generatorlar bunday sistemada transformator orqali umumiy shinalarga ulangan, sinxron va asinxron motorlar ham xuddi shunday transformator orqali ulangan. Yuqori kuchlanishli liniyalarning elektr uzatuvchisi umumiy shinalar bo'lib hisoblanadi.

Rossiyada barcha elektr stansiyalari birlashgan energetika tizimi mavjud bo'lgan. U sharqdan g'arbga tomon 8 soat poyasi bo'yicha va shimoldan janubgagacha bo'lgan chegaracha cho'zilib ketgan. Birinchi yaqinlashuvda uni ekvivalentli sinxron generator sifatida tasavvur qilish mumkin., yuklamani bo'lsa – ekvivalent qarshilik va asinxron va sinxron ekvivalentli motor ko'rinishida bo'ladi.

Birlashgan energetik tizim energetika resurslaridan butun rayonlarda samarali foydalanish imkonini beradi, elektr stansiyalari ishlashini ishonchli va tejamkor bo'lishini ta'minlaydi. Birlashgan elektrstansiyalar yagona tizimga birlashtirilishi sutkalik maksimal yuklamani iqtisodiy qoplashni, shuningdek elektrstansiyan

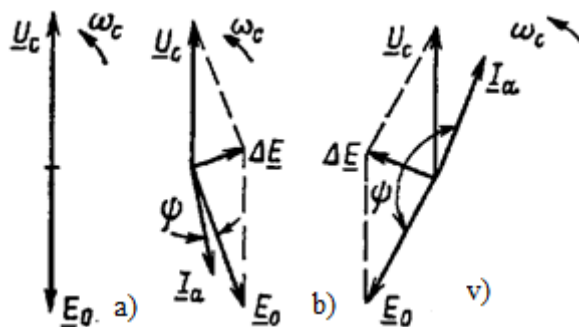
agregatlarini menevrlash va zahira qilib qo'yish uchun ta'minlab beradi. Barcha elektrstansiyalar tizimi boshqarma-ning markaziy dispetcherlik punktidan boshqariladi. Sinxron mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayonlarini tadqiq qilishda, tarmoq bilan parallel ishlovchi, tarmoq cheksiz katta quvvatga ega, ya'ni har qanday rejimda kuchlanish generator chiqarmalarida o'zarishsiz qoladi va uning qarshiligi nolga teng bo'ladi[5].

Sinxron mashinalarning alohida ishi amaliy jihatdan tarmoqqa ta'sir qilmaydi.

Sinxron mashina tarmoqqa ulanganidan keyin boshqa mashinalar bilan sinxron tarzda ishlaydi. Shu bilan sinxron mashinalar aylanishi chastotasi qutblar soni bilan aniqlanadi. Ikkiqutbli turbogeneratorlar $p=3000$ ayl/daq aylanish chastotasiga ega bo'ladi, ko'pqutbli mashinalarning aylanish chastotasi esa $p=60 f/r$ ayl/daq.

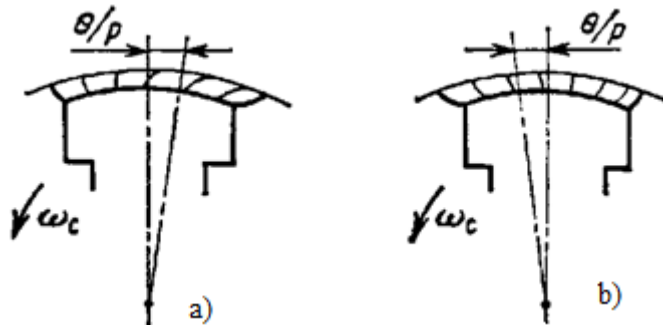
Befoyda ishlovchi sinxron mashinani ko'rib chiqamiz. Sinxron holatida tarmoq chastotasiga munosabati bo'yicha $\underline{U}_c$ rotorning aylanishi E_0 ga teng bo'ladi.(4.51,a rasm) va mashina yakori cho'lg'amidagi tok I_a nolga teng.

Agar mashina rotori jadallasha boshlasa, ΔE paydo bo'ladi, konturda tarmoq mashina uchun baravarlashtiradigan tokni hosil qiladi va rotor yana oldingi holatini egallaydi.(4.51,b rasm.) Agar rotor sekinlashsa ΔE yo'nalishni o'zgartiradi va baravarlashtiradigan tok jadallashuvi rotor holatini hosil qiladi, u mashinani dastlabki holatiga qaytaradi (4.51. v.rasm)



4.51-rasm. Sinxron mashinaning tuganmas quvvatli tarmoqqa parallel ishlovchi soddalashtirilgan vektorli diagrammasi.

A- salt ishlash rejimi; b-generator rejimi; v- dvigatel rejimi



4.52-rasm. Sinxron mashinaning tarmoq bilan parallel ishlashi: a –generatorli; b-motor rejimida.

Yakunlovchi ΔE EYUK tokni hosil qiladi

$$I_a = -j \frac{\Delta E}{x_s} \quad (4.69)$$

Bu yerda x_s - mashinaning sinxron qarshiligi.

Tok mashinaning qarshiligi bilan aniqlanadi, shunday qilib tarmoq tuganmas quvvatga ega tarmoq nolga teng qarshilikka ega. Shu bilan birga sinxron mashinalarning faqat induktiv qarshiligi hisobga olinadi, shunday qilib foydali qarshilikka e'tibor bermasa ham bo'ladi.

Ko'rilgan misolda mashinaning valiga qarshilik holati M_s nolga teng bo'lgan. Parallel ishlashda sinxron mashina generatorda, motor rejimida ishlaydi, $M_s=0$ -v da esa sinxron kompensator rejimida ishlaydi.

Generator rejimida mexanik quvvat elektriga o'zgaradi. Mashina vali rotor chastotasi aylanishi oshgan holatida quvvatlanadi. Biroq generator elektrenergiya berayotgan bo'lsa, parallel ishlashda qarshi ta'sir qiluvchi sinxronlash holati kelib chiqadi, bu mashinada sinxronizm ushlab qoladi. Tor tirqishida maydon deformatsiyalanadi (4.52,a-rasm). Mashinaning yuklamasini o'q qutbi va o'q maydonidagi elektrli burchak bilan θ tavsiflash mumkin. Bu burchakni burchak Yuklamasi deb qabul qilingan.

Agar mashinada yo'qotishlarni asramasa, unda tarmoq uzatayotgan quvvat tor tirqishda to'plangan quvvatga teng bo'ladi. Bu quvvat elektrmagnitli P_{em} quvvat deyiladi. U vektorli diagramma bilan belgilanadi (4.51,b-rasm) ya'ni

$$P_{EM} = mE_0 I_a \cos \psi > 0. \quad (4.70)$$

P_{em} quvvati keyinchalik xuddi shunday aniqlanadi, *burchak funksiyasi kabi*.

Sinxron mashinaning valiga harakat rejimida tarmoqdan olingach, mexanik energiyaga aylanuvchan qarshilik momenti va elektr energiya berilgan.

$$P_{EM} = mE_0 I_a \cos \psi < 0. \quad (4.71)$$

Rotor o'qi o'q maydonidan orqada qoladi (4.52,b rasm), θ burchak bo'lsa belgisini o'zgartiradi. Hisoblash mumkinki, agar motor rejimida quvvat yo'nalishi generator rejimiga nisbatan quvvatini o'zgartiradi. 4.51,v rasmdagi vektorli diagrammada U_s tarmoq kuchlanishiga nisbatan tok burchak siljigani bilan ifodalab berilgan.

Parallel ishlarda foydali elektrli quvvat mashinada validagi mexanik quvvat bilan muvozanatlashadi, mashinalar vali momentida elektrmagnitli moment bilan muvozanatlanadi. Motor bilan rivojlanayotgan maksimal moment uyg'otishtok va motor parametri bilan belgilanadi.

Sinxron kompensator rejimida $M_s=0$ teng bo'ladi va sinxron mashina tarmoqdan reaktiv quvvat iste'mol qilgan yoki uni bergan holda xuddi reaktiv quvvatli generator kabi ishlaydi.

Asinxron mashinalar oldida sinxron mashinaning asosiy qadr-qimmati shundaki, uyg'otish tokidan qat'iy nazar sinxron mashina tarmoqdagi reaktiv quvvatdan oziqlanadi yoki uni tarmoqqa qaytarib beradi. Qayta uyg'otishda sinxron mashina tarmoqqa nisbatansig'im bo'lib hisoblanadi, uyg'otilmagangacha esa induktiv bo'ladi. tuganmas quvvatda parallel ravishda tarmoq bilan ishlovchi sinxron mashinada foydaliva reaktiv quvvatni taqsimlanishi, 4.12§ da ko'rib chiqilgan[8].

Ko'p miqdordagi parallel ishlovchi, energetika tizimi ekvivalentli sinxron generatorni tashkil qiluvchi elektrli mashinalarda murakkab elektromexanikli jarayonlarni tahlili uchun ekvivalentli rotor tarmoq chastotasi bilan aylanadi,

Yuklama esa- ekvivalentli asinxron motor bilan va foydali qarshilik bilan harakatlanadi. Energetik tizimda o'rnatilgan tartibda ishlab topiladigan quvvat Yuklamaga sarflanadi va aylanayotgan rotorda kinetik energiya sifatida va magnit maydonida to'planadi, bunda iste'molchilar va ishlab topilayotgan quvvat o'rtasida balansga rioya qilinadi.

Energetik tizimda o'tish jarayonlarida yuklamaning o'zgarishi elektrostansiyalarda ishlab chiqilayotgan elektr energiya o'zgarishi bilan qoplanadi.

Energetik tizimda o'tish jarayonlarida elektrli mashinalarda sinxron tarzda aylanayotgan rotor massasida zahiralangan kinetik energiya muhim ahamiyatga ega. Zahiralangan energiyani o'zgartirish yo'li bilan tizim chastotasini stabillash amalga oshiriladi. Biroq, stabillash uchun Energetik tizimda to'plangan energiyaning faqatgina bir qismigina sarflanishi mumkin.

Energetik tizimda 1 mln.kVt quvvatni yo'qotilishi 3-4 s keyin Energetik tizimda chastotaning 0,2 % pasayishiga olib keladi. Shunday qilib, doimiy kuchlanish ostida Energetiktizimida nominal qiymatdagi chastotaning og'ishi tizimda ishlab chiqilayotgan quvvatning oshib ketishidan yoki kamchiligi borligidan dalolat beradi.

Energetik tizimda barqarorlikni oshiruvchi keskin vositalar elektrstansiyalarda belgilangan quvvat zahirasi hisoblanadi va uzatish qobiliyati katta bo'lgan elektr tarmoqlarining tarmoqlanishini mavjudligi, transformator va elektr mashinalarini ishonchli ishlashi ham shunga kiradi.

Nazorat savollari.

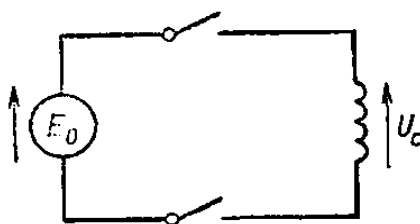
1. Sinxron mashinaning tarmoq bilan parallel ishlashini tushuntirib bering?
2. Sinxron mashinani qaysi shartlarni bajarsa tarmoqqa parallel ulash mumkin?
3. Sinxron mashinaning tarmoq bilan parallel ishlatish orqali qanday yutuqlarga erishish mumkin?

4.12. Sinxron generatorlarning parallel ishlashi.

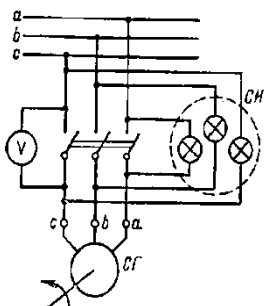
Energetik tizimda sutka, hafta va oy davomida yuklama o'zgaradi. Shuning uchun ham doimiy yuklamani qoplovchi shunday bloklar borki, boshqasi esa Yuklamani avjiga chiqqan vaqtida qoplaydi. Doimiy yuklamani atom stansiyalari ko'taradi, issiqlik elektrostansiyalarning trubali generatorlari va gidroelektrstansiyalardagi gidrogeneratorlar esa yil davomida ulanishi va o'n va Yuz marta yil davomida uzilishi mumkin. Katta quvvatli sinxronli mashinalarda tezlashish jarayoni va uning sinxronlashuvi mashinaning xizmat qilish muddatiga sezilarli ta'sir qiladi. Gidrogeneratorlarni silji shida turumostligi qo'zg'almas qismi va aylanayotgan qismini ajratuvchimoyli Yupqa qatlam hosil bo'lishi ta'minlanishi shart[4].

Sinxron aylanish chastotasini rotorga yaqinlashish jarayonida moyning haroratini nazorat qilish tizimimashinaning ishonchli ishlashini ta'minlaydi. Yirik turbo va gidrogeneratorlarning ishga tushirish jarayoni bir necha o'n minutgacha cho'zilishi mumkin. Ishga tushirish sinxronizatsiyalash jarayonlari tarmoq bilan parallel bo'lib, uzoq ishlashga nisbatan qisqa muddatni olsada, biroq u o'chmasdan

bir necha oy davom etishi mumkin, bunda uzoq ishlashga nisbatan sinxronli mashinalarning ishonchli ishlashini pasaytiradi.



4.53-rasm. Mashina -tarmoq konturi:
 E_0 -generator EYUK i; U_c -tarmoq EYUK i.



4.54-rasm. Tarmoq bilan parallel ishlashda sinxronli mashinalarni ulash sxemasi.

Generatorni parallel ishlovchi tarmoqqa ulash jarayonida mashinalarni sinxronlash aniq va dag'al bo'lishi mumkin.

Aniq sinxronizatsiyalashda quyidagilarga rioya qilish zarur bo'ladi:

- 1) Tarmoq va generator tarmog'i bir xil bo'lishi lozim;
- 2) Tarmoq va generator kuchlanishi faza bo'yicha mos keladi va bir xil tebranishga ega bo'ladi;
- 3) Tarmoq va generator fazalarining rioya qilish tartibi mos kelishi kerak.

Ana shu shartlarga rioya qilinganda generator tarmoqqa ulanganda tok sakramasdan ulanadi. Sinxronli generatorni uyg'otib tokni rostdash yo'li bilan kuchlanish bir xilligiga erishiladi, chastotalar bir xilligiga esa generator rotorini aylanish chastotasini rostdash yo'li bilan erishiladi. Stansiyalarda aylanish chastotasi bug' aylanish yoki gidravlik trubinalar chastotasi o'zgarishi hisobiga yoki motor uzatmasining aylanish chastotasini o'zgarishi hisobiga ham o'zgaradi.

Ana shunday sharoitlarda tarmoq konturida mashinada EYUK summasi nolga teng bo'ladi. (4.53-rasm). Aytishadiki, EYUK ni sinxronizatsiya-lanishida qarama-qarshi fazada bo'ladi, go'yoki ular bir-birini muvozanatlaydi.

$$U_c + E_0 = 0$$

Fazalarning ergashish tartibi chastota tengligi va tarmoq kuchlanishi va generator va $\underline{U}_s$ va $\underline{E}_0$ oralig'ida fazaviy siljish SN sinxronoskop bilan aniqlanadi. (4.54-rasm) generator va tarmoq fazalarining to'g'ri almashinishida sinxroskopning chirog'i bir vaqtning o'zida o'chadi. Agar fazalar almashinishiga rioya qilinmasa,

chiroqda yuguruvchi olov joy oladi, qachonki chiroq navbat bilan yonadi va o'chadi. Tarmoqda kuchlanish tengligi voltmeter bilan qayd etiladi, kuchlanish tafovutini esa chiroyning yorug'ligi bo'yicha deb fikr yuritish mumkin. Generator va tarmoq chastotasini tafovutini chiroqning pirpirashi chastotasi bo'yicha aniqlash mumkin. O'quv yurtlaridagi laboratoriyalarda sinxronli generatorlarning parallel ishlashini ulashda sinxronoskopdan foydalaniladi.

SG sinxronli generatorlarni o'zini o'zi sinxronlashi yoki dag'al sinxronlash usulidan elektrostansiyalarda keng qo'llaniladi. Bu usul parallel ishlashda generatorlarni ulashda uyg'otilmagan genaratorning aylanish chastotasi sinxronli kabi holatga keltiriladi, keyin esa generator tezlikda ketma-ket uni izidan qo'zg'alish bilan tarmoqqa ulanadi.

SHundan so'ng sinxronlashayotgan holat ta'sirida sinxronli generatorni o'zi sinxronizmga tortiladi

O'zini o'zi sinxronizatsiyalash murakkab elektromexanik o'tish jarayonlarida o'z o'rniga ega. Mashinaning cho'lg'amida qisqa muddatda generatorni trubina bilan birlashtiruvchi, mufta va cho'lg'amga mexanik ta'sir qiluvchi, uning nominal ahamiyatini oshiriruvchi o'tkinchi tok o'tishi kuzatiladi.

O'zini o'zi sinxronizatsiyalash usuli bilan 500MVt quvvatli generatorni parallel ishlashga ulanadi. Sinxronli generatorlarni loyihalashtirishda o'tish jarayonlarining ta'siri mashinaning ishonchli ishlashida hisobga olinadi.

O'zini o'zi sinxronizatsiyalashda generatorni tarmoqqa ulash uchun zarur bo'lgan vaqti qisqaradi, bu energotizimni tejimli va ishonchli ishlashida juda ham zurardir.

Nazorat savollari.

1. Sinxron generatorlarni parallel ishlatishdan maqsad nima?
2. Sinxron generatorlarni parallel ishlatish shartlari qaysilar?
3. Tarmoq bilan parallel ishlashda sinxronli mashinalarni ulash sxemasini tushuntiring?

4.13. Reaktiv quvvatni rostlash. Sinxronlovchi quvvat. Burchak tavsifi.

Sinusoidal maydondagi oralig'ida tuganmas quvvatda tarmoq bilan parallel ishlashda noayon qutbli sinxronli mashinalarning vektorli diagrammasi 4.55.rasmda ko'rsatilgan.

Tarmoq bilan sinxronli mashinalarning parallel ishlashida vektorli diagrammaning o'ziga xosligi shundaki kuchlanishning o'zgarmasligi, mashinaning ishlash rejimida har qanday o'zgarishlarda ham tarmoqdagi kuchlanish o'zgarmaydi. To'yinmagan mashinalar uchun vektorli diagrammadan qiymatni o'rniga $\cos\psi$ qo'yib ifodalab,

$$P_{EM} = mE_0 I \cos\psi = mUI \cos\varphi; \quad (4.72)$$

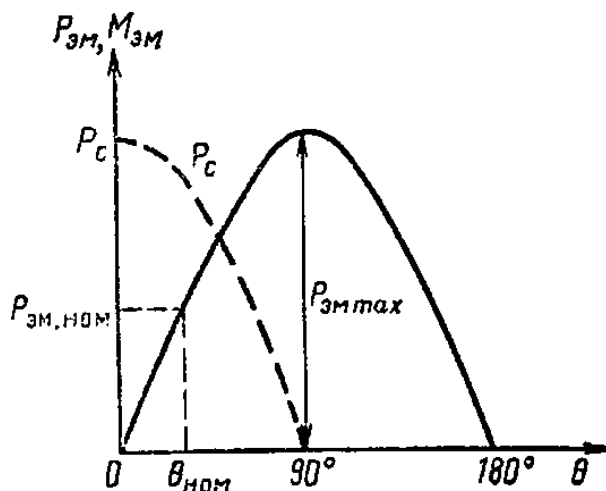
$$\cos\psi = \frac{AB}{Ix_s} = \frac{U \sin\theta}{Ix_s} \quad (4.73)$$

$$P_{EM} = mU \frac{E_0}{x_s} \sin\theta \quad (4.74)$$

P_{em} uchun ga ega bo'lamiz.

Mos holda elektromagnit moment

$$M_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega_s} = \frac{mU E_0}{\omega_s x_s} \sin\theta \quad (4.75)$$



4.56-rasm. Tarmoqga parallel ulangan sinxron mashinaning vektor diagrammasi.

Elektromagnitli quvvat va elektromagnitli moment U va E_0 , x_s va θ burchakka bog'liq bo'ladi. Vektorli diagrammadan ko'rinib turibdiki, θ burchak- bu E_0 va U orasidagi burchak bo'lib, xuddi shunday F_i oralig'ida va natijalovchi MYUK F_p yoki qutb o'qi oralig'idagi burchak va maksimum natijalovchi oqim. Vektorli diagrammada vaqtinchalik siljitishga qutblar o'qi va mashina maydoni hosil qiluvchi fazoviy siljish mos keladi.(4.52.rasmga qarang). θ burchak mashinaning foydali quvvatini aniqlab beradi va Yuklama burchagi deb atiladi.

(4.74) bo'yicha burchakli tavsif $P_{EM} = f(\theta)$ shakllantirilgan bo'lishi mumkin (4.56-rasm). Burchakli tavsifdan maksimum elektromagnit quvvat $\theta = 90^\circ$ o'ringa ega bo'ladi

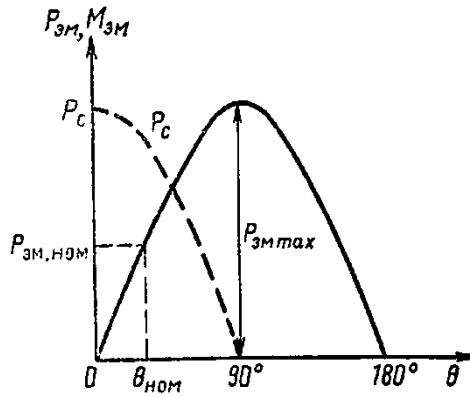
$$P_{EMmax} = mU \frac{E_0}{x_s} \quad (4.76)$$

maksimal elektromagnit momentiga muvofiq keladi

$$M_{EMmax} = \frac{P_{EM}}{\omega_s} = \frac{mU E_0}{\omega_s x_s} \quad (4.77)$$

Maksimal elektromagnitli quvvat P_{amax} mashina statik barqarorligini chegarasini belgilaydi. Ya'ni uning qudrati sinxronizmda qoladi. Statik barqarorlik chegarasidan auklamaning oshishi mashinani sinxronizmdan tushib qolishiga olib keladi.

θ burchakdan burchak tavsifida nolga teng bo'ladi, $\theta=90^\circ$ gacha tavsifning barqaror qismi joylashgan, 90 dan 180° gacha burchak chegarasida – tavsifning barqaror bo'lmagan qismi joylashadi.



4.56-rasm. Noaniq qutbli sinxronli mashinalarning burchakli tavsifi.

Sinxron mashinalarning ishlashi barqaror bo'lib, agar musbat (manfiy) yarim o'sishda bo'lsa, $\Delta\theta$ musbat (manfiy) yarim o'sishga mos keladi P_{em} , ya'ni

$$\frac{\Delta P_{EM}}{\Delta\theta} > 0.$$

bu to'lig'icha solishtirma sinxronlashtiruvchi quvvatni tavsiflaydi Vt/rad , - burchak bo'yicha birinchi yasama P_{em} .

$$P_s = \frac{dP_{EM}}{d\theta} = mU \frac{E_0}{x_s} \cos\theta \quad (4.78)$$

θ burchakdan sinxronli quvvatning qaramligi 4.56 rasmda kesik chiziqda ko'rsatilgan. Sinxronlangan quvvat mashinani sinxronizmga ushlab turadi. U mashinani tarmoq bilan taranglik aloqasini ushlab turadi.

Qachonki $P_{em}=0$ bo'lsa, sinxronlovchi quvvat maksimal bo'ladi. Qachonki mashina statik turg'unlik chegarasida bo'lganida ya'ni elektromagnitli quvvat o'zining maksimal qiymatiga teng bo'ladi, $P_s=0$. Agar zapas sinxronlovchi quvvat nolga teng bo'lsa unda mashina sinxronizmdan chiqib qoladi va xuddi sinxronli generator sifatida ishlashdan to'xtaydi. Sin-xronizmdan chiqib qolingandan keyin $\omega \neq \omega_s$ asinxron rejim boshlanadi.

Sinxronli generatorlarning nominal yuklamasi odatda $\theta \approx 20 \div 30^\circ$ burchakda hisoblanadi. Shuning uchun ham mashina qisqa muddatda 1,5-2 baravar ko'p yuklamada sinxronizmga tushmasdan ishlay oladi. P_{amax}/P_{amnom} nisbati sinxron mashinaning statik ortiqcha yuklanganligi deb aytiladi. Statikaga oid ortiqcha yuk ortilganlik

$$k_p = \frac{P_{EM.max}}{P_{EM.nom}} = \frac{mU_{nom}(\frac{E_0}{x_d})}{mU_{nom}I_{nom}\cos\varphi_{nom}} = OKZ \frac{I_{fnom}}{I_{fo}\cos\varphi_{nom}}, \quad (4.79)$$

Bu yerda: $\frac{E_0}{x_d} = I_{knom}$

(4.79) ifoda yakor cho'lg'aming qarshiligi sharoitida olingan va bu yerda to'yinishi hisobga olinmaydi.

300 MVt ga bo'lgan turbogeneratorlarning statika ortiqcha yuklanganligi 1,7, dan kam bo'lmasligi kerak, 500-1200 MVt quvvatli turbogeneratorlar uchun esa – 1,6 dan kam bo'lmaydi. Gidrgeneratorning statik ortiqcha yuklanganligi-1,7 oz

bo'lmaydi. Statik ortiqcha yuklanganligi qancha bo'lsa bo'lsa OKZ ga nisbatan ko'p, ya'ni x_d kam bo'lsa yoki tor tirqishi yana ham ko'p bo'ladi.

Tarmoq bilan parallel ishlashda sinxronli generatorning foydali quvvatini rostlash uchun uning val bo'lgandagi holatini o'zgartirish zarur.

Foydali quvvatdagi kabi egergotizimda reaktiv quvvatni rostlash ham xuddi shunday ahamiyat kasb etadi. Energotizimning elektrotexnik qurilmalarida reaktiv quvvat magnit maydonini hosil qilish uchun zarur, uning muayayn taqsimlanishida va o'tish jarayonlarida ko'pincha energetizimni barqaror ishlashini belgilab beradi.

Tarmoq bilan parallel ishlovchi sinxronli mashina maydonida yakor cho'lg'amidan o'tuvchi reaktiv tok bilan cho'lg'amli qo'zg'atish hosil qiladi. 4.55 rasmda vektorli diagrammadan samrali maydon cho'lg'amni qo'zg'atish va yakor cho'lg'ami MYUK bilan belgilangani ko'rinib turibdi. tokning o'zgarishida qo'zg'atish cho'lg'amida E_o da o'zgarish bo'ladi, mashina tutashuvchi tarmoq konturida bu reaktiv tokni o'zgarishiga olib keladi.

Qo'zg'atish cho'lg'amida tokning oshib borishida (mashinani qayta qo'zg'o-tish) $\underline{U}_c$ vektor E_o ni muvozanatlamaydi va "ortiqcha" EYUK $\Delta E = \underline{U}_c - E_o$ Paydo bo'ladi (4.57 rasm, a) reaktiv tokning paydo bo'lishga chaqiradi

$$I_p = -j \frac{\Delta E}{x_s}$$

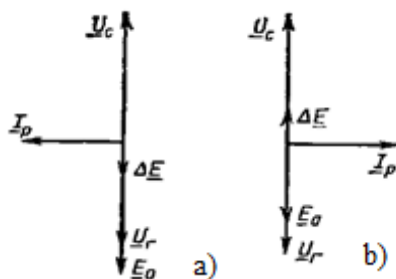
I_p - bu yerda reaktiv tok ΔE dan kechi-kuvchi va $\underline{U}_g$ generator kuchlanishish.

Tarmoqdagi kuchlanishga nisbatan I_p -oldindagi tok.

Qo'zg'atish(batamom qo'zg'atilmagan mashina) tokning kamayishida $\underline{U}_s > E_o$ (4.57,b rasm) reaktiv tok I_p tarmoq kuchlanishidan orqada qoladi.

Batamom qo'zg'atilmagan sinxron mashina tarmoqqa nisbati bo'yicha induktivligi va tarmoqda reaktiv quvvatni "iste'mol qilish" hisoblanadi.

Tarmoq bilan parallel ishlovchi qayta qo'zg'atilgan sinxron generatorda yakor reaksiyasi magnitlanmagan.

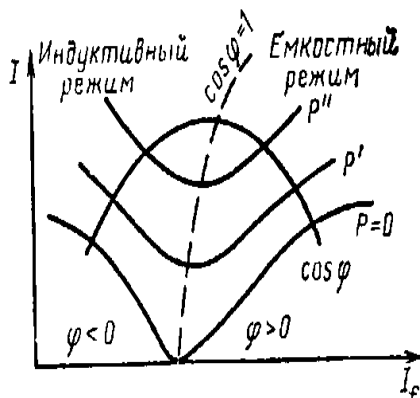


4.57-rasm. Reaktiv quvvatni rostlashdagi vektorli diagramma.

Yakorning cho'lg'amlaridan o'tuvchi reaktiv toklar, mashina va kuchlanishni - $\underline{U}_1 = \underline{U}_c$ magnitlamaydi. Batamom qo'zg'atilmagan yakorning ta'siri qo'shimcha magnitlash, yakorning cho'lg'amidan o'tuvchi reaktiv toklar mashinani qo'shimcha magnitlaydi va generatoridagi kuchlanish moduli bo'yicha tarmoqdagi kuchlanishga teng.

Yakorning tokga bog'liqligi qo'zg'atish tokidan $I = f(i_f)$ $U_c = const$ yonida va R doimiy foydali quvvatda U obrazli tavsif bilan aytiladi. (4.58.rasm)

Minimal miqdordagi qo'zg'atish tokining oshishidan boshlanishida yakor cho'lg'amidagi tok kamayib minimal miqdorgacha etib boradi, keyin esa u yana oshadi. Yakor cho'lg'aming batamom qo'zg'atilmaganda mashinani magnitlamasdan reaktiv tok oqib o'tadi. Yakor cho'lg'amida tokning minimal miqdori $\cos\varphi = 1$. Shu bilan bir qatorda yakor cho'lg'amida foydali tok oqib o'tadi, faqat mashinada qo'zg'atish cho'lg'amigina magnit maydonini hosil bo'ladi. Keyinchalik qo'zg'atish tokini oshishi bilan yakorda tok yana oshadi.



4.58-rasm.

Yakor o'lg'amdagi reaktiv tok yakorni magnitsizlantirish reaksiyasiga kiritiradi. Qayta qo'zg'atilgan mashina tarmoqqa nisbatan sig'im vazifasini o'taydi. U tarmoqqa reaktiv quvvat beradi.

4.58-rasmda $\underline{U}$ obrazlilar oilasining tavsifi taqdim etilgan $P'' > P' > P = 0$. Batamom qo'zg'atilmagan mashinaning ishlash chegarasi uning statik barqarorligini bilan belgilanadi, qayta qo'zg'atilganniki esa qayta yuklangan qobiliyati bilan.

Reaktiv quvvatni rostlash ehtimolini cho'lg'amni qo'zg'atish yo'li bilan tokni o'zgartirish sinxron mashinaning asosiy afzalliklaridan biri hisoblanadi.

Sinxron mashinalarning eng muhim ko'rsatkichlaridan birini tavsiflovchi uning zaryadlangan quvvati hisoblanadi

$$S_a = mU_{nom}I_a = \frac{mU_{nom}^2}{x_d}, \quad (4.81)$$

Bu yerda I_3 -tok zaryadidir, generator chiqarmasida nominal kuchlanish qo'zg'atish cho'lg'aming o'chirilgan holatida ishlashda sig'imli Yuklamani hosil qiladi.

Sig'imli Yuklama elekt uzatish liniyasidan uzilgan bo'ladi. Sinxronli generator uzilgan liniyaga ulanganda $I_f=0$ holatida o'zidan o'zi qo'zg'aladi. O'zidan o'zi qo'zg'alishning shartining yo'qligi: liniyaning zaryadlangan quvvati generatorning zaryadli quvvatidan kam bo'lishi kerak, $S_{z,l} < S_{zg}$. Mashinada qanchalik ko'p tor tirqish bo'lsa ya'ni x_d qancha kam bo'lsa, S_{zg} shuncha ko'p bo'ladi. Kam qiymatli generator x_d o'ta uzun elektr toki uzatuvchi liniyaga ulanishi mumkin.

Nazorat savollari.

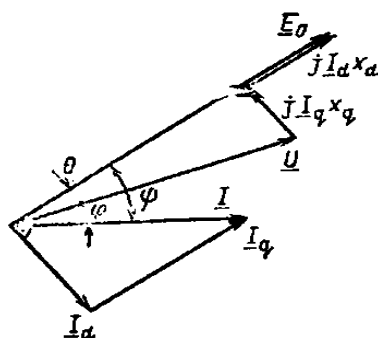
1. Tarmoqqa parallel ulangan sinxron mashinaning vektor diagrammasini tavsiflang?
2. Noaniq qutbli sinxronli mashinalarning burchakli tavsifini tushuntiring?
3. U simon tavsif nimani ifodalaydi?

4.14. Ayonqutbli sinxron mashinalarning elektromagnitli va sinxronlovchi quvvati.

Ayonqutbli sinxron mashinalarda energiya hosil qilish jarayonlarida turli induktivli qarshiliklar tafovuti tufayli mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qi bo'yicha o'ziga xos xususiyatlari bo'ladi.

Ayonqutbli sinxron mashinalarda vektorli diagramma $r_a=0$ holati 4.59-rasmda ko'rsatilgan. Bu diagrammada yakordagi tok mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qi yig'indisi kabi ko'rsatib berilgan

$$I_q \cos \Psi = I_d; I_q \cos \Psi = I_d. (4.82)$$



4.59-rasm. Tarmoq bilan parallel ishlashda ayonqutbli sinxron mashinalarda vektorli diagramma.

Vektor diagramman

$$P_{EM} = mUI_a \cos\varphi = mUI_a \cos(\Psi - \theta) = mU(I_a \cos\Psi \sin\theta + I_a \sin\Psi \sin\theta) \\ = mU(I_a \cos\theta + I_d \sin\theta); \quad (4.83)$$

$$I_q = \frac{U \sin \theta}{x_d};$$

$$I_d = \frac{(E_0 - U \cos \theta)}{x_d} \quad (4.84)$$

I_q va I_d toklarini ahamiyatini yoniga qo'yib (4.84) quyidagi natijaga erishamiz

$$P_{EM} = \frac{mU^2}{x_q} \sin\theta \cos\theta + \frac{mE_0 U}{x_d} \sin\theta - \frac{mU^2}{x_d} \sin\theta \cos\theta. \quad (4.85)$$

$$P_{EM} = mU \frac{E_0}{x_d} \sin\theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{x_g} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta. \quad (4.86)$$

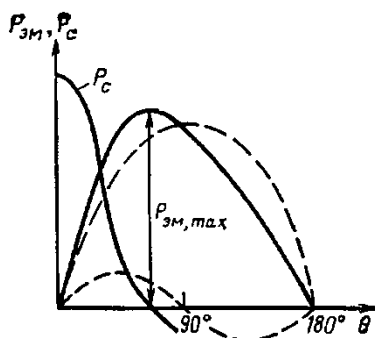
(4.86) rasmdan ko'rinib turibdiki, ayonqutbli sinxron mashinalarning elektrmagnitli holati:

$$M_{EM} = mU \frac{E_0}{\omega_s x_d} \sin\theta + \frac{mU^2}{2\omega_s} \left(\frac{1}{x_g} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta. \quad (4.87)$$

Ayonqutbli mashinadagi P_{em} va M_{em} nafaqat qo'zg'atishdan balkimashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qi parametrlarini tafovutiga ham bog'liq bo'ladi.

Ayonqutbli sinxron mashinalarning burchakli tavsifi 4.60-rasmda taqdim etilgan. R_{em} quvvat $\sin\theta$ va $\sin 2\theta$ qonun bo'yicha o'zgaruvchan ikkita tashkil etuvchidan iborat. Ikkinchi tashkil etuvchi reaktiv holatni hosil qiladi.

Ayonqutbli mashinalarda qayta yuklanish qobiliyati reaktivdan tashkil topgan hisobidan yuqori ayonqutbli bo'lmagan mashinanikiga nisbatan yuqori bo'ladi.



4.60-rasm. Ayonqutbli sinxronli generatorga burchakli tavsif.

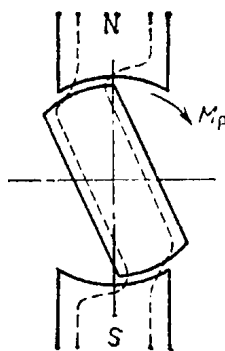
Birok, θ burchagi P_{emmax} da o'ringa ega, qancha kam bo'lsa $70-80^\circ$ teng bo'ladi. Ayonqutbli sinxron mashinalarning solishtirma sinxronlashtiruvchi quvvati quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_s = dP_{EM}/d\theta = mU \frac{E_0}{x_d} \cos\theta + mU^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta. \quad (4.88)$$

Ayonqutbli sinxron mashinalarning solishtirma sinxronlashtiruvchi quvvati 4.60 rasmda burchak yuklamaga bog'liqligi ko'rsatilgan. R_{em} kabi sinxronlovchi quvvat ayonqutbli mashinalarga nisbatan maksimal qiymati ko'p.

Ayonqutbli mashinalar ayonqutbli bo'lmagan mashinalar bilan nisbatan taqqoslash bo'yicha (4.60 rasm) θ kam burchak sinxronlashga tushib qoladi. reaktiv holat tufayli ko'ndalang va bo'ylama o'q bo'yicha magnitli o'tkazuvchanlik o'zaro bog'langanlik farqida ayonqutbli mashinalar uncha katta bo'lmagan yuklamadagi sinxronlashda ushlanib qoladi. (4.87) qo'zg'alishning yo'qligi sababli birta a'zo nolga teng bo'ladi va faqatgina reaktivdan iborat bo'lib qoladi (4.60 rasm), kichik yuklamada mashinani sinxronlashda ushlab qoladi. 4.61 rasmda reaktiv momentni hosil bo'lishi tushuntirilgan. Nosimmetrik rotor holatni egallashgan harakat qiladi, bunda magnit maydonidagi energiya maksimal darajada bo'ladi, oralig'i esa minimal holatdi qoladi. Silindr ko'rinishidagi rotor magnit maydoni holatiga neytral ko'rinishda bo'ladi.

Ayonqutbli mashinalarning $\underline{U}$ -obrazli tavsifi ayonqutbli bo'lmagan mashinalarniki kabi ko'rinishda bo'ladi.



4.61-rasm. Reaktiv holatning hosil bo'lishi.

Ko'rib chiqilgan sinxron mashinalarning parallel ishlash tavsifi tuganmas quvvatli sinxron mashinalarning tarmoq bilan parallel ishlashiga nisbiydir. Generator shinalarida chastota va kuchlanish o'zgarishi tufayli ham o'lchovdosh quvvatdagi ikkita yoki bir nechta mashinalarning parallel ishlashini tahlil qilish murakkabroqdir. Yuklamani rostlash yoki birorta generatorda qo'zg'atishni amalga oshiri boshqa generator ish rejimini o'zgartirishga chaqiradi va muvozanatlovchi tokni hosil qiladi. Bir yoki bir nechta generatorlarning parallel ishlashi avtonom energotizimda muhim o'ringa ega.

Nazorat savollari.

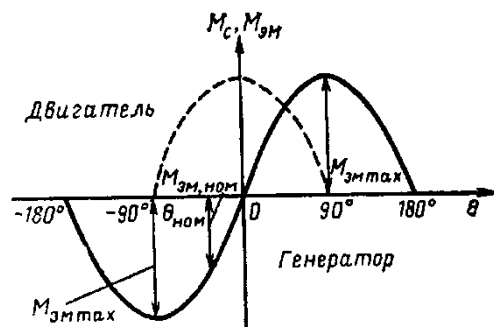
1. Tarmoq bilan parallel ishlashda ayonqutbli sinxron mashinalarda vektorli diagramma nimani tavsiflaydi?
2. Ayonqutbli sinxronli generatorga burchakli tavsifi nimani ifodalaydi?
3. Reaktiv holatning hosil bo'lishi sabablarini izohlang?

4.15. Sinxron motorlar.

Boshqa elektrli mashinalar kabi sinxronli mashinalar ham qaytuvchandir ya'ni ular generator rejimida ishlashgani kabi motor ham ishlay olishadi. Biroq, energiya sanoatida faqatgina generatorli yoki motor rejimida ishlash uchun mo'ljallangan sinxron mashinalar ishlab chiqariladi, mashinalarning ishlashini o'ziga xosligi shundaki ular u yoki bu rejimda mashina konstruksiyasiga turli xil talablarni qo'yadi.

Sinxron motorlar ishga tushirish rejimida ko'proq ishlaydi va generatorga nisbatan aksariyat ishga tushirish momentida kuchayadi. Bu rotor konstruksiyasi zimmasiga ma'lum bo'lgan talablarni qo'yadi: dempferli (so'ndirgichli) (ishga tushiruvchi) sinxronli motorlarning cho'lg'ami katta tokka va yana ham uzoqroq muddatga mo'ljallashadi[8].

Sinxron motorlarni qo'zg'atish uchun elektr mashinalar tizimi yoki tristorli qo'zg'atish tizimidan foydalaniladi. Elektrli mashinalar tizimida qo'zg'atishda yakorni qo'zg'atuvchi generatordagi o'zgarmas tok – sinxronli qattiq motor vali bilan birlashtiriladi yoki sekin-yuruvchi mashinalarda ponasimon tasmali uzatma orqali birlashtiriladi va u uning massasini kamaytiradi va chastotasini kengayishini ta'minlab beradi.



4.62 -rasm. Sinxron mashinalarga burchakli tavsif.

Sinxron motorlarni qo'zg'atish generatorlarni qo'zg'atish tizimidan prinsip jihatidan farq qilmaydi, bu haqida 4.22 § da to'lig'icha ko'rib chiqiladi.

(4.1)-(4.3) sinxron generator tenglamasi faqatgina sinxron generatorni tenglamasidan qarshilik belgisi momenti o'zgarishi bilangina farq qiladi.

Generator rejimidan motor rejimiga o'tish uchun sinxronli mashinaning valiga qo'yilgan qarshilik momenti belgisini o'zgartirish zarur. Unda foydali quvvat yo'nalishi va θ burchak belgisi ham bu holatda o'zgaradi; mashina bu holatda tarmoqdagi quvvatdan oziqlanadi.

Burchakli tavsifda (4.62 rasm) motor rejimi maydoni θ manfiy burchak hududida joy oladi. Motor rejimida burchakning tavsifining barqaror qismi 0 dan 90° gacha bo'lgan maydon hisoblanadi. Nominal moment, 20-30% maydonda bo'lgan $\theta_{\text{ном}}$ ga mos keladi. Batamom ayon bo'lmagan qutb rotor motori $\theta = -90^\circ$ bo'lganda maksimum momentga ega bo'ladi.

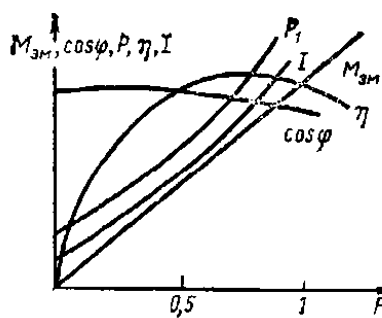
$$M_{EMmax} = \frac{P_{EMmax}}{\omega_s} = mU \frac{E_0}{\omega_s x_d}. \quad (4.89)$$

Motorning tor tirqishi o'lchami maksimal momentga bog'liq bo'ladi. qancha ko'p oralig'i bo'lsa, x_d shuncha kam bo'ladi va M_{emmax} . Biroq mashinadagi oralig'i qanchalik ko'p bo'lsa uning gabaritlari shunchalik oshadi.

$$k_p = \frac{M_{EMmax}}{M_{EMnom}}. \quad (4.90)$$

Sinxronlovchi solishtirma moment generator rejimidagi kabi $\theta = 0$ bo'lganda maksimal bo'ladi $\theta = -90^\circ$ nolga teng bo'ladi.

Ayonqutbli motor uchun bog'liqlik ham generator uchun kabi $M_s, M_{EM} = f(\theta)$ va xuddi shunday ko'rinishga ega bo'lib. (4.62 rasm) θ manfiy burchak maydonida o'rnashgan.

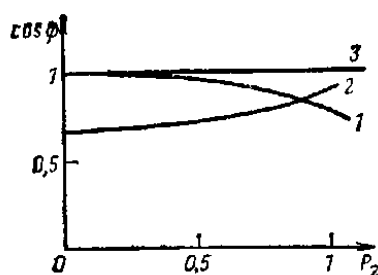


4.63-rasm. Sinxron motorning ishchi tavsifi.

Sinxron motorning U-obrazli tavsifi ham generatorki kabi bir xil ko'rinishga ega. (4.58 rasm). Tarmoqqa nisbatan sinxronli motorni batamom qayta qo'zg'atish miqdori munosabati bo'yicha sig'im vazifasini o'taydi, tarmoqqa munosabati bo'yicha induktiv bo'lib, qo'zg'atilmagan motor tarmoqdagi reaktiv quvvatdan oziqlanadi. Sinxronli motorda yakordagi batamom qo'zg'atilmagan reaksiya qo'shimcha magnitlanadi, o'ta qo'zg'atishda magnitsizlantirish hosil bo'ladi.

Sinxron motorlarda energiyani o'zgartirish jarayonlarini tadqiq qilish uchun ishchi tavsifi (4.63 -rasm) muhim ahamiyatga ega. Motor valida yuklamaning oshishi bilan moment va yakorda tok osha boshlaydi, dastlab elektr liniya qonuni bo'yicha, keyin esa noxiziq qonun bo'yicha parametrlarning o'zgaradi. Agar I_f o'zgarmasa $\cos\varphi$ tushishi mumkin, oshishi yoki maksimumga etishi mumkin.

Bu I_f miqdoriga bog'liq bo'ladi va u Uobrazli tavsif kabi tuzilgan bo'lishi mumkin: R_2 -ning bir holatdan U obrazli tavsifning boshqasi o'tishda $\cos\varphi$ o'zgaradi, ichki kuchlanishning tushib ketganida egri chiziq $\cos\varphi=1$ katta Yuklama maydoniga aralashib ketadi. (4.58 rasmga qarang). I_f o'zgarganida turli R_2 da doimiy miqdorga ega bo'lish mumkin $\cos\varphi$ (4.64-rasm.)dagi 1 egri chiziq doimiy qo'zg'atish tokida U obrazli tavsifda qo'zg'atilmagan maydonda sinxronli motor ishiga mos keladi, 2-egri chiziqda qayta qo'zg'atilgan sinxronli motor ishlashi; 3 egri chiziqda qo'zg'atish tokini rostlash mumkin bo'ladi.



4.64-rasm. $\cos\varphi$ sinxron motorning yuklamadan bog'liqligi.

Barcha elektrli mashinalar uchun kabi FIK ning yuklamaga bog'lanishi.

Sinxron motorlarning o'ziga xos ajralib turishi shundaki yuklama o'zgarishi aylanish chastotasining doimiyligi hisoblanadi. Sinxronli motorlar qattiq mexanik tavsif chegarasiga ega.

Sinxron motorlarning eng asosiy kamchiliklaridan biri shundaki ishga tushirishxususiyatining yomonligi uni qo'llashni cheklab qo'yadi. Sinxron motorlarni ishga tushirish chastotali bo'lishi mumkin, har kun ishlatiladigan motor yordamida to'liq tarmoq kuchlanishiga ulanishi mumkin (asinxron ishga tushirish). Xususan asinxronli ishga tushirish keng ommalashgan. Rotordagi qisqa tutashuv tufayli konturning mavjudligida (salmoqli qutbli poynak, dempferli cho'lg'am) rotor sinxronliga yaqin aylanish chastotasigacha haydab boradi. Asinxron ishga tushirishda cho'lg'amni qo'zg'atish foydali qarshilik qisqaradi. Rotorning aylanish chastotasiga yaqinlashganidan keyin, sinxronliga ($s \approx 0,05$) yaqin bo'ladi, qo'zg'atish cho'lg'ami qo'zg'atgichga ulanadi va mashinaning dag'al sinxronlashuvi hosil bo'ladi. Qo'zg'atgichni bo'g'iq qo'shish bilan ishga tushirishda ham qo'llaniladi. Bunday

holatda aylanish chastotasi ($0,5 \div 0,7$)ga teng p_{nom} , sinxron motorning qo'zg'atish cho'lg'amidan o'zgarmas tok o'ta boshlaydi va mashinani sinxronlashga tortadi. Qo'zg'atgichni bo'g'iq qo'shish bilan motorni ishga tushirishda katta tok irg'ishlari bilan kuzatiladi va amalga oshishi mumkin, agar yuklama M_{nom} ($0,4-0,5$)dan oshmasa. Biroq qo'zg'atgichni bo'g'iq qo'shilganida ishga tushirish sxemasi o'ta oddiy va yana ham ko'p qo'llashga majbur qilmogda.

Juda og'ir sharoitlarda qudratli sinxron motorlarni ishga tushirishda reaktorli yoki sxema bo'yicha avtotransformatorli ishga tushirish qo'llaniladi, (3.14§ga qarang) asinxron motorlar uchun ko'rib chiqilgan.

Har kun ishlatiladigan motor yordamida sinxronli motorni ishga tushirishda sinxronli motor deyarli sinxronli aylanish chastotasigacha olib kelinadi. Har kun ishlatiladigan motor sifatida agar tarmoqda o'zgarmas tok mavjud bo'lsa sinxronliga ko'ra o'zgarmas tok motorida yoki sinxronli aylanish chastotasi ko'proq bo'lgan asinxron motordan foydalanish mumkin. Har kun ishlatiladigan motor yordamida ishga tushirishdan kam foydalaniladi, chunki har kun ishladigan motordan faqatgina ishga tushirishdagina foydalaniladi.

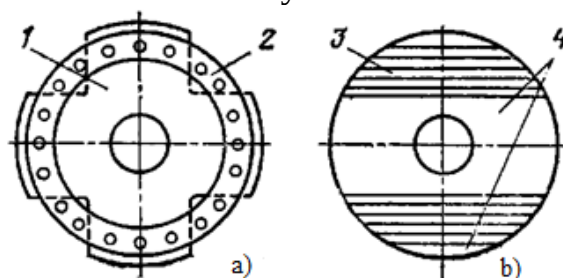
Chastotaviy ishga tushirishda sinxron motorning statori cho'lg'ami chastota o'zgartirgichiga ulanadi, u o'z navbatida bir necha gersdannominal chastotagacha chastotani o'zgarishiga olib keladi. Chastotaviy ishga tushirishda sinxron motor kichik chastotada sinxronizmga tushib qoladi. Chastotaviy ishga tushirishdan foydalanish juda qulay, agar chastotalar o'zgartirgichi bir nechta motorni ishga tushirish uchun qo'llash mumkin.

Sinxron motorlarni asinxron bilan taqqoslashda sinxron motorni asosiy usutunligi $\cos\varphi=1$ bilan ishlash ehtimoli borligi, qayta qo'zg'atishda esa $\cos\varphi$ oldinlab ketishi ekanligini aytish mumkin.

Sinxron motorning maksimal holati U_g ga proporsional, asinxron esa U^2 ga paralleldir. Shuning uchun ham sinxron motorlar tarmoqdagi kuchlanish o'zgarishiga nisbatan sezuvchan va ko'p miqdorda o'ta yuklanish qobiliyatiga ega. Qo'zg'atish tokini o'zgartirish yo'li bilan oqimni qo'zg'atishni rostlash kuchlanish tushib ketgandareaktiv quvvatni rostlash va tarmoq chastotasini kamaytirishni ta'minlab beradi.

Sinxron motorni kamchiligi uning konstruksiyasini ancha murakkab konstruksiyaga ega ekanligi, manbada o'zgarmas tokning zarurligi va eng yomoni asinxron ishga tushirish xususiyati bilan taqqoslash.

Bir necha kilovattidan 100 kVt gacha motor quvvatida sinxron motorlarning yana bir kamchiligi paydo bo'ladi ya'ni tebranishga moyillik. Sinxron motorlar parametrining muayyan bir o'zaro nisbati rotor sinxron aylanish chastotasi oldida chayqaladi.



4.65-rasm. Sinxron reaktiv motorlari rotori konstruksiyasi.

200 kVt dan yuqori quvvatda sinxron motorlarni engil ishga tushirish-ni qo'llash maqsadga muvofiqdir. Sinxron motorlar qo'llash doirasi uzluksiz kengaymoqda, uning quvvati 50 MVt gacha quvvatda oshadi.

1-2 kVt gacha quvvatli sinxron motorlar ayonqutbli rotorlar bilancho'lg'amsiz qo'zg'atish orqali bajariladi. Mashinaning ko'ndalang va bo'ylama o'qi bo'yicha o'tkazuvchanlik farqi hisobiga bunday mashinalarda reaktiv moment hosil bo'ladi, asinxron ishga tushirish esa dempfer cho'lg'am bilan ta'inlanadi.

4.65-rasmda reaktiv sinxron motorlarning rotorini eng ko'p ommalashgan konstruksiyasi ko'rsatilgan. Rotorning to'rtqutbli konstruk-siyasi (4.65,a rasm) po'latli shixtali ayonqutbli magnit o'tkazgichga ega 1 va dempferli cho'lg'am 2 ega. Alyumin bilan to'ldirilgan ikkiqutbli shixtali rotor 4.65, b rasmda keltirilgan. 3 alyumin bilan to'ldirilgan rotorning o'zagi 4, o'zak biriktiriladi va dempferli cho'lg'amni hosil qiladi.

Reaktiv motorlarda past $\cos\varphi$ ga va FIK ($\eta = 0,3 \div 0,4$) ega bo'ladi, uch fazali asinxron motorlarga ko'ra ularning massasi katta.

Elektr magnitli qo'zg'atish o'rniga o'zgarmas magnitni qo'llash mumkin. O'zgarmas magnitli rusumsidagi motorlar o'n vattdan necha kilovattgacha bo'lgan quvvatda ishlab chiqarilmoqda. Ular reaktiv bilan taqqoslaganda energetik ko'rsatgichlari yaxshiroqdir.

O'zgarmas magnitli motorni ishga tushirish momentini ta'minlash uchun ishga tushirish cho'lg'ami alyumin bilan to'ldirilgan olmaxon katagi ko'rinishida bo'ladi. Qattiq magnitli materialdan quyish yo'li bilan rotor tayyorlanadi. Bu jarayon sermehnat jarayon bo'lib, shuning uchun ham rotor yuqori narxga ega.

Nazorat savollari.

1. Sinxron mashinalarga burchakli tavsifini tushuntiring?
2. $\cos\varphi$ sinxron motorning yuklamadan bog'liqligi qaysi parametrlarni xarakterlaydi?
3. Sinxron reaktiv motorlari rotor konstruksiyasini tushuntiring?

4.16.Sinxron kompensator.

Energetika tizimida elektr texnik qurilmalarda magnit maydonini yaratish uchun reaktiv quvvat juda zarur. Reaktiv quvvatning asosiy manbasi kondensator va sinxron mashinalar hisoblanadi. Sinxron mashinaga ko'ra kondensatorlar qimmat, statik qurilma bo'lsada, u katta o'lchamga ega, ammo kam ishonchli. Reaktiv quvvatning manbalari reaktiv quvvatni iste'moli joyi yaqin bo'lishi maqsadga muvofiqdir. Shuning uchun ham reaktiv quvvatda sinxron generatorlardan foydalanishning nafi yo'q, reaktiv toklar elektr uzatgichlar liniyasini va sinxron generatorlarni yuklaydi.

Reaktiv quvvat manbasi sifatida manba sifatida ishlovchi yoki reaktiv quvvatni iste'mol qiluvchi sinxron mashinalardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bunday mashinalar sinxron kompensatorlar deb aytiladi.

Konstruktiv jihatdan sinxron kompensatorlar ham xuddi sinxron generator kabi tayyorlanadi. Farqi shundaki, ularning valini chiqish oxiriga ega emasligidir. 10-345

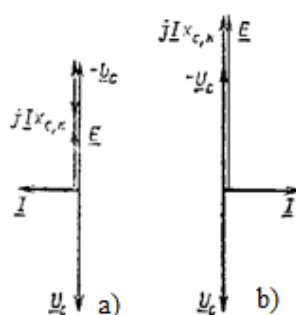
MV·A sinxron kompensatorlarning quvvati 6,6 -15,75 kV kuchlanishda aylanish chastotasi 750-100 ob/min bo'ladi. eng ko'p ommalashgan bu ayon qutbli rotor bilan gorizontaal ijrodir. Shunday qilib val aylanayotgan momentga uzatmaydi, balki u kichik diametrga ega bo'lib, podshipniklar o'lchamini kamaytirish imkoniyatini beradi. Valning chiqish oxiri mashinani germetizatsiyalashni engillashtiradi shuning uchun sinxron kompensatorda vodorodli sovutish keng qo'llaniladi.

Sinxron kompensatorni tenglamasi sinxron motorni teglmasidan $M_s=0$ bilangina farqlanadi.(mexanik yo'qotishni ehtiyot qilinmasa)

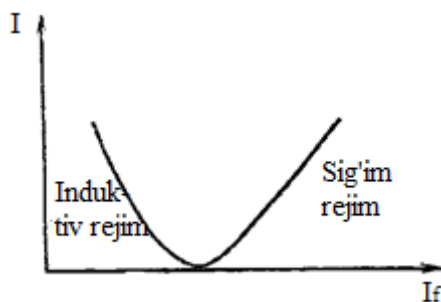
Sinxron kompensatorning vektorli diagrammasi batamom qo'zg'atilma-ganda va qayta qo'zg'atilgani 4.66,a,b,-rasmda ko'rsatilgan. Sinxron kompensatorning $x_{s,n}$ induktiv qarshiligini x_d ga teng deb qabul qilish mumkin.

Sinxron kompensatorning U obrazli tavsifi (4.67-rasm) $R_a=0$ bo'lganda sinxron motor tavsifiga mos keluvchidan farq qilmaydi. Sinxron kompensator toki foydali kompensatordagi yo'qotishlarni qoplashga keta-digan uncha katta bo'lmagan tashkil etuvchiga ega. Mexanik yo'qotishlarni qoplash uchun ketuvchi energiya, po'lat va misni yo'qotishda tarmoqdan olinadi. Sinxron kompensatorning foydali quvvatini nominal quvvatga nisbatan munosabati 1-2 %ni tashkil qiladi. Sinxron kompensatorni batamom qo'zg'atilmaganligining tarmoqqa munosabati bo'yicha induktiv bo'ladi, qayta qo'zg'atilganda esa sig'im hisoblanadi.

Tarmoqda kuchlanishni kamaytirishda sinxron kompensator tarmoqqa nominal kuchlanish katta reaktiv quvvatni beradi. Tarmoqda nominal qiymatdan kuchlanishni oshishida sinxron kompensator tarmoqdagi reaktiv quvvatni uzatilishini kamaytiradi. Yuqori xususiyatini stabilashtiruvchi qo'zg'atish cho'lg'amida tokni avtomatik rostlash yaxshilanadi.



4.66-rasm. Sinxron kompensatorning vektorli diagrammasi. $I_f = const$.



4.67-rasm. Sinxron kompensatorning U obrazli tavsifi. $U_f = const$.

Sinxron kompensatorning to'liq nominal quvvati

$$S_{nom} = mU_{nom}I_{nom}. \quad (4.91)$$

Qayta qo'zg'atish bilan kompensatorning ishlashida alohida o'rniga ega. Quvvatning statorning tokning eng ko'p ahamiyati batamom qo'zg'atilmaganda tokni qo'zg'atishda ahamiyatga ega ekanligidir, yana qachonki $E=0$ bo'lsa nolga tengligidir. (4.66-rasm) vektorli diagrammadan ko'rish mumkinki

$$I = j \frac{U_{nom}}{x_d}$$

va batamom qo'zg'atilmaganda to'la quvvat

$$S = m \frac{U_{nom}^2}{x_d} \quad (4.92)$$

$\theta \approx 0$ burchak yuklamasida sinxron kompensatorlar ishlaydi, uning statik ortiqcha Yuklanganligi haqida qayg'urishning hojati yo'q. Shunday qilib, sinxron kompensatorning cho'lg'amida reaktiv toklar oqib o'tadi, ular dinamik kuchni hosil qilmaydi, turbogeneratorga nisbatan old qismga mustahkalangan yanada pishiqdir. Qo'zg'atishda tokni kamaytirish uchun sinxron motorlarga nisbatan sinxron kompensatorlar odatda bir nechta kamroq tor tirqishlari bilan bajariladi, shuning uchun sinxron kompensatorlar, generatorlar, konsendatorlar va motorlar orasida tarmoqda reaktiv quvvatni unumli taqsimlanishi muhim texnik iqtisodiy ahamiyatga ega.

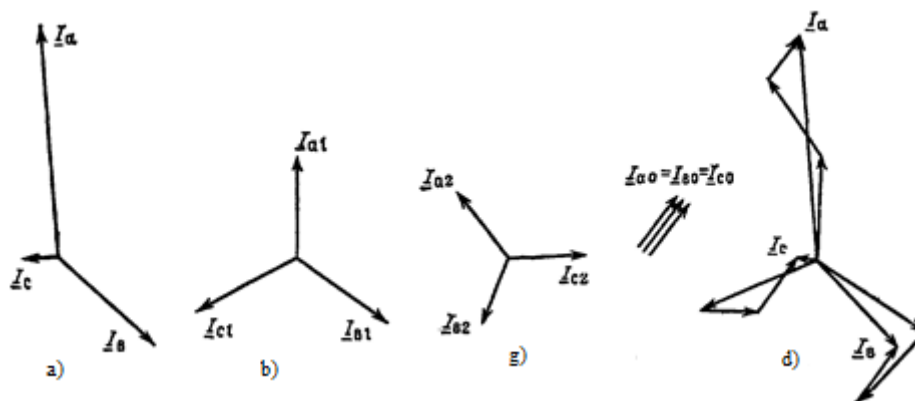
Nazorat savollari.

1. Sinxron kompensator qanday maqsadda foydalaniladi?
2. Sinxron kompensatorning vektorli diagrammasi $I_f = const$ ifoda nimani asoslaydi?
3. Sinxron kompensatorning U obrazli tavsifi $U_f = const$ ni tushuntiring?

4.17. Nosimmetrik uch fazali yuklama generatorlari

Yuklama fazalari bo'yicha notekis ulashda simmetrik yuklama o'rin egallaydi va generator fazalarida toklarning tafovutiga olib keladi. Odatda bu bir fazali yuklamalarni uch fazali aloqaga (elektr pechi tortishish podstantsiyalar, yoritish yuklamalarini) ulashda shuningdek nosimmetrik qisqa tutashuvlarda kelib chiqadi simmetrik sinxron mashinalarning o'rnatilgan nosimmetrik tartiblarini o'rganishda tuziladigan simmetrik usul qo'llaniladi toklarning nosimmetrik uch fazali sistemasini uchta simmetrik sistemadan tashkil topgan (4,68, a-rasm

$$\left. \begin{aligned} U_A &= U_{1A} + U_{2A} + U_{0A} = U_1 + U_2 + U_0 \\ U_B &= U_{1B} + U_{2B} + U_{0B} = U_1 a^2 + U_2 a + U_0 \\ U_C &= U_{1C} + U_{2C} + U_{0C} = U_1 a + U_2 a^2 + U_0 \end{aligned} \right\}$$



4.68 -rasm.

Formula - simmetrik sistemaning toklari to'g'ri ketma-ketlikdagi toklardan (4.68b - rasm simmetrik sistemaning toklari teskari ketma-ketlikdagi toklardan (4.68v -rasm); tashkil topgan deb tasavvur qilish mumkin.

Simmetrik tuzilgan tokning to'g'ri teskari va nol bo'lgan ketma-ketlikdagi vektorlarni buklab nosimmetrik sistemani hosil qilamiz (rasm 4,68, d);

Har xil ketma-ketlikdagi toklar nosimmetrik fazali toklar orqali quyidagi ko'rinishlarda ifodalaniladi

Bu yerda

Simmetrik elektr mashinalardagi nosimmetrik yuklamalarda shunga o'xshagan o'zaro bog'lanishlar nosimmetrik fazali yuklamalarni ularning simmetrik tuzilganlari bilan almashtiriladi.

To'g'ri teskari va nol ketmaketlikdagi simmetrik mashinalarda yuklamalar simmetrik tuzilgan tokli om qonuni bilan bog'langan (fazalarning ko'rsatkichlari bu yerda va keyingilarida tushurib qoldirilgan). Bu yerda to'g'ri teskari va nol ketma-ketlikdagi sinxron mashinalarning qarshiligi .

To'g'ri va teskari ketma-ketlikdagi toklardan havo tirqishida maydonlar qarama-qarshi tomonlarga aylanadi odatda hisob -kitobda uyg'otishcho'lg'ami uzilgan deb hisoblaydilar, tajribalar o'tkazishda esa qarshiliklar qisqartiriladi.

Nol ketma-ketlikdagi maydon to'g'ri va teskari ketma-ketlikdagi maydonlardan farq qiladi u tirqishda uch fazali cho'lg'amning so'nib yoyib yuradigan maydoniga yaqin bo'lgan tegib urib turadigan maydonni yaratadi, shuning uchun sinxron mashinalarda to'g'ri teskari va nol ketma-ketliklarning qarshiliklari bir- biridan farq qiladi.

To'g'ri ketma-ketlikning toklari tirqishda bir vaqtda rotor bilan aylanadigan ishchi maydonni hosil qiladi simmetrik yuklamalarda faqat to'g'ri ketma-ketlikning toklari mavjud. Bir qutbli sinxron mashina to'g'ri ketma-ketlikdagi induktiv qarshiliklari deb va qarshiliklari bir qutbli bo'lmaganlariga aytiladi.

To'g'ri ketma-ketlikdagi qarshiligi aktiv qarshilik ulaydi va noayon mashina uchun teng .

Bir qutbli mashina uchun

$$z_{1d} = r_1 + jx_d; \quad (4.99)$$

$$z_{1q} = r_1 + jx_q; \quad (4.100)$$

Bu yerda - d va o'qlari bo'yicha to'g'ri ketma-ketlikdagi qarshiliklar.

Teskari ketma-ketlikdagi toklar havo tirqichida aylanish sinxron chastotasi hamda $s=2$ sirpanish bilan rotorning qarama - qarshi aylanadigan tomoniga maydon hosil qiladi

$$z_2 = r_2 + jx_2; \quad (4.101)$$

Bu yerda r_2, x_2 - aktiv va induktiv qarshiliklar teskari ketma-ketlikdagi.

Aktiv qarshilik $r_2 > r_1$, chunki teskari ketma-ketlikdagi toklarning oqimi natijasida rotor konturida isrofni hosil qiladigan r_2 ham kiradi. Dempfer chulg'amidagi elektr isrofi natijasida olinadigan teskari ketma-ketlik hisobidan teskari ketma-ketlikdagi aktiv qarshilik isroflari bo'yicha aniqlanadi.

$x_2 < x_1$ teskari ketma-ketlikning induktiv qarshiligi dempfer chulg'amidagi teskari ketma-ketlikdagi toklar natijasida chastota $f_2=2f_1$ bo'ladi va statorda teskari ketma-ketlikdagi maydonga nisbatan qo'zg'almas maydon hosil qiladi.

So'ndiruvchi cho'lg'amda teskari ketma-ketlikdagi toklar $s=2$ chastotasini oladi va statorda qo'zg'almas maydon hosil qiladi. Rotorning teskari ketma-ketlikdagi toklari statorning teskari ketma-ketlikdagi maydonini ham kuchaytiradi yoki (kuchsizlantiradi).

Teskari ketma-ketlikdagi induktiv qarshilik, yakor cho'lg'amidan tarqalayotgan induktiv qarshiligiga yaqin $x_2 = x_\delta$. X_2 qarshilik taxminan 4.19§ da ko'rilayotgandek yuqori o'tishli qarshilikka teng.

Teskari ketma-ketlikdagi qarshilik maydonlarga qarshi sinxron chastotasi bilan rotorning aylanishi tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Shunga simmetrik yuklamalar va statordagi toklar va isroflar o'lchanadi. r_1 va isrofni bilib r_2 aniqlanadi. Fazoviy yuklamaning tokka bo'linishi bilan z_2 topiladi, aniqlanadi.

$$X_2 = \sqrt{z_2^2 - r_2^2}$$

Ayon qutbli sinxron mashinalarda uzinasiga va ko'ndalang o'qlar bo'yicha teskari ketma-ketlikdagi qarshiliklar bir-biridan farq qiladi:

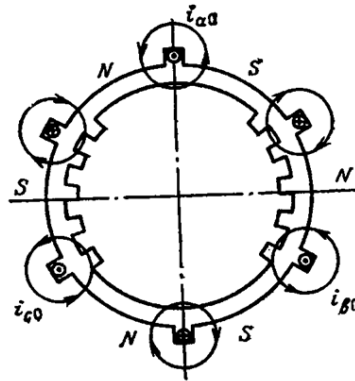
$z_{2d} \neq z_{2q}$. z_2 ni aniqlashda yaqqol qutbli sinxron mashinaning quyidagi o'zaro nisbatlardan foydalansa bo'ladi:

$$I_2 = \frac{I_{2d} + I_{2q}}{2} = -\frac{U_2}{2} \left(\frac{1}{z_{2d}} + \frac{1}{z_{2q}} \right), \quad (4.102)$$

(4.102) maydonlarga qarshi rotorning aylanishi tajriba yo'li bilan aniqlanishi mumkin bo'lgan o'rtacha tok.

$$z_2 = r_2 + jx_2 = -\frac{U_2}{I_2} = \frac{2z_{2d}z_{2q}}{z_{2d} + z_{2q}}. \quad (4.103)$$

Zamonaviy sinxron noayon qutbli mashinalarda nisbiy birliklarda $x_2=0.12-0.18$, ayon qutbli mashinalarda esa $x_2=0.12-0.18$. Ayon qutblilarda odatda $r_2 \ll x_2$ va z_2 nisbiy birliklar x_2 ga teng deb hisoblasa bo'ladi.



4.69-rasm.

Nol ketma-ketlikdagi toklar faza bo'ylab mos keladigan aloqa chastotalarining o'zgaruvchan toklari. Ular nosinxron mashinalardagiday sinxron mashinalarning havo tirqishida urib turadigan maydonni hosil qiladi. Nol ketma-ketlikdagi maydon so'ndiruvchi cho'lg'amda nol ketma-ketlikdagi toklarda boshlab boradi. Nol ketma-ketlikdagi maydon aylanadigan momentni hosil qilmaydi. Nol ketma-ketlikdagi qarshilik

$$z_0 = r_0 + jx_0, \quad (4.104)$$

r_0 , x_0 - nol ketma-ketlikdagi aktiv va induktiv qarshiliklar.

Aktiv qarshilik r_0 pasaytiruvchi cho'lg'amdagi nol ketma-ketlikdagi toklardan isrofi natijasida yakor cho'lg'amining aktiv qarshiligidan bir necha marta ko'proq, deyish mumkin.

Induktiv qarshilik yakorning cho'lg'am sepib yuborish maydonlari bilan ham aniqlanadi.

Ikki qavatli cho'lg'amlarda qadamlarning qisqarishidan bir muncha kamroq. Noayon qutbli mashinalarda nisbiy birliklarda ayon qutblarda 0.07-0.1.

Nol ketma-ketlikdagi qarshiliklar mashinaning rotor sinxron tezlik bilan aylanishi va statorning 3 fazali cho'lg'ami ketma-ketlikda tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

Bunda:

$$z_0 = \frac{U_0}{I_0}; \quad (4.105)$$

$$r_0 = \frac{P_0}{I_0^2}; \quad (4.106)$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} \quad (4.107)$$

U_0, I_0, P_0 -fazadagi tok va isroflar, faza yuklamalari mos bo'lganda.

Sinxron generatorlarni cho'lg'amlarini odatda yulduzcha bog'laydi, nol nuqtani esa katta qarshilik orqali erga ulaydilar. Shuning uchun nol ketma-ketlikdagi toklar qatnashmaydi. Buning natijasida nosimmetrik yuklamada to'g'ri va teskari ketma-ketlikdagi maydonlar paydo bo'ladi. Teskari ketma-ketlik sinxron mashinaning ishlashiga alohida ta'sir ko'rsatadi.

Rotor konturlaridagi teskari ketma-ketlikda o'tadigan toklar mashinaning FIKsini pasaytiradigan isroflarni hosil qiladi. Yuklamaning bir talay

nosimmetriyasida rotorning yirik qismlarida va pasaytiruvchi cho'lg'amida kutilmagan isitish kelib chiqishi paydo bo'lishi mumkin. Uyg'otish cho'lg'ami katta qarshilikka ega, undagi teskari ketma-ketlikdagi tiklar uncha katta emas, shu bilan birga isitish ham katta bo'lmaydi.

Statordagi teskari ketma-ketlikdagi oqim va uyg'onish davri oqimining o'zaro ta'siri natijasida rotorga qarab o'zgaruvchan yuklamalar harakat qiladi. Bu kuchlar mashinaning shovqini va tebranishni chiqaradi.

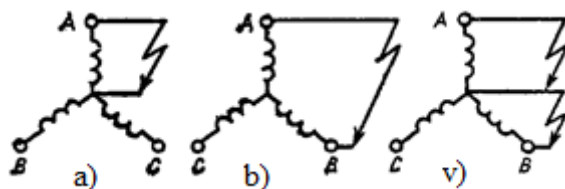
Yuklamalarning nosimmetriyasi yuklamalar simmetriyasining buzilishiga olib keladi va o'z navbatida mashinadagi isroflarning ko'payishiga olib keladi. Yuklamalarning nosimmetriyasi mashinaning tebranishlari va isitish bilan chegaralanadi. GOST 183-77 turbogenerator va gidrogeneratorlar nosimmetrik yuklama bilan ishlash muddati faza toklarining nominal qiymatidan oshirmasa yoki fazalardagi toklarning farqini 10 foizgacha uzayadi.

Nazorat savollari.

1. Generator fazalarida toklarning tafovuti qanday sabab tufayli sodir bo'ladi?
2. Toklar nosimmetrikligini yuzaga keltiruvchi sabab nima?
3. Toklar nosimmetrikligini oldini oluvchi tadbirlar qaysilar?

4.18. Nosimmetrik qisqa tutashuvlar.

Nosimmetrik qisqa tutashuvlar, nosimmetrik yuklamaning oxirgi holatlaridan biri hisoblanadi. Qisqa tutashuv toklari o'rnatilgan nosimmetrik qisqa tutashuvlarda maksimal ma'noga erishadi. Yirik energosistemalarda qisqa tutashuv toklarining chegarasi energetikadagi eng qiyin muammolardan biri hisoblanadi. Qisqa tutashuv toklarining aniqlanishini faqat sinxron mashina qarshiligining hisobi bilan o'tkazamiz.



470-rasm.

(470)-rasmda eng ko'p tarqalgan qisqa tutashuvlarning sxemalari ko'rsatilgan 3-fazali qisqa tutashuvlar (470a rasm), 2-fazali qisqa tutashuvlar (470b-rasm), va ikki tomonlama 1-fazali qisqa tutashuvlar (470v-rasm).

Bir fazali qisqa tutashuvlarda $U_A=0$, $I_b = I_c = 0$. Simmetrik toklar fazaning qisqa tutashuv toki orqali A quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$I_{A0} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} = \frac{I_A}{3}; \quad (4.108)$$

$$I_{A1} = \frac{I_A + I_B a + I_C a^2}{3} = \frac{I_A}{3}; \quad (4.109)$$

$$I_{A2} = \frac{I_A + I_B a^2 + I_C a}{3} = \frac{I_A}{3}. \quad (4.110)$$

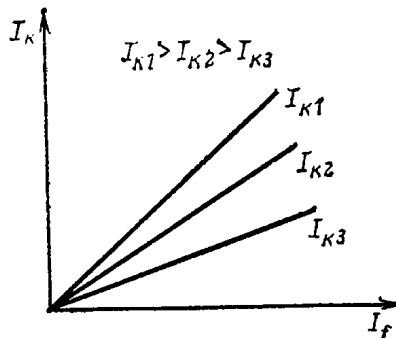
Shunda bir fazali qisqa tutashuvning toki:

$$I = \frac{3E}{(z_1 + z_2 + z_0)}. \quad (4.111)$$

Odatda induktiv qarshiliklar aktiv qarshiliklardan ko'ra ko'proq, shuning uchun $z_1=jx_d$, $z_2=jx_2$, $z_0=jx_0$, deb hisoblash mumkin. Bunday sharoitda qisqa tutashuv toki induktivlikdagi tokka ten bo'ladi. U yakorning uzinasiga magnitsizlantiruvchi reaksiyasini yaratadi.

Ikki fazali qisqa tutashuvlarda chiziqli kuchlanish: $U_{AV}=0$ va toklar $I_b=-I_A = I_c=0$ (4.70b-rasm)

Bunda:



4.71-rasm. Nosimmetrik qisqa tutashuv tavsifi.

Ikki fazali qisqa tutashuvlarning toki.

$$I_A = \frac{\sqrt{3}E}{z_1 + z_2}. \quad (4.112)$$

Ikki tomonlama bir fazali qisqa tutashuvlarda (470v-rasm).

Sinxron mashinada ko'proq o'rnatilgan tok bir fazali qisqa tutashuvda alohida o'rin egallaydi, simmetrik 3 fazali qisqa tutashuvdan ko'ra ikki tomonlama 1 fazali qisqa tutashuvlar ko'proq o'rin egallaydi, (4.113- 4.111) dan xuddi shunday davom etib ketadi. Bu degani simmetrik qisqa tutashuvda yakorning magnitsizlantiruvchi reaksiyasi ko'proq, 1 fazali qisqa tutashuvda esa kamroq. Yakor reaksiyaning hisobida mashina tirqishidagi maydonning kichrayishi va mashinaning chiqishida yuklamaning pasayishi sodir bo'ladi.

Nosimmetrik qisqa tutashuvlarning toklari uchun ko'rilgan ifodalar asosida har xil ketma-ketlikdagi qarshiliklarni o'z ichiga olgan joylashuvlarning kompleks sxemalarini taklif qilish mumkin. Bu sxemalarda generator EYUK manbasi ko'rinishida, ketma-ketlikda, va parallel taqdim etilgan. Joylashuv kompleks sxemalari bo'yicha murakkab sxemadagi qisqa tutashuv toklarini qulayroq deb hisoblash mumkin.

Cho'lg'amcho'lg'aming qismi korpusga tutashganda ichki nosimmetrik qisqa tutashuvlar sinxron mashina uchun juda xavfli hisoblanadi. Ichki nosimmetrik qisqa tutashuvlar odatda cho'lg'amlarning yonishiga va sinxron mashinalarning og'ir halokatiga olib keladi. Ichki nosimmetrik qisqa tutashuvlar bilan bog'langan halokatlarning garantiyasi deb elektrotexnik zavodlardagi sinxron mashinalarning yuqori sifatli ishlab chiqarilishiga aytiladi.

Nazorat savollari.

1. Nosimmetrik qisqa tutashuv tarmoqda qanday nosozliklarni keltirib chiqaradi?
2. Nosimmetrik qisqa tutashuv tavsifini izohlang?
3. Nosimmetrik qisqa tutashuvni oldini olsh maqsadida qanday ishlar amalga oshiriladi?

4.19. Sinxron mashinalarda o'tish jarayonlari.

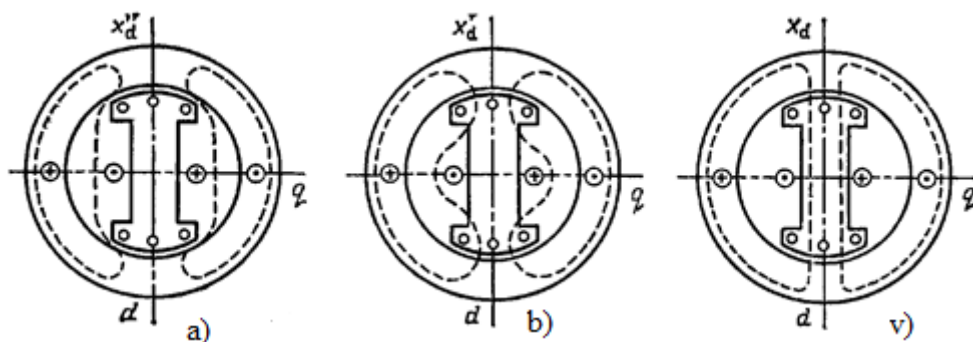
Sinxron mashinalarda o'tish jarayonlari yuklamaning o'zgarishida masahinalarni bir-biriga moslashda har xil halokatli tartibda paydo bo'ladi. O'tish jarayonlarini o'rganish loyihalashtirish uchun va sinxron mashinalarni ekspluatatsiya qilish uchun kerak.

4.20-rasmda amaliyotda paydo bo'ladigan barcha savollarga javob beradigan xulosasi sinxron mashinaning differensial tenglamasi ko'rib chiqilgan.(4.1)-(4.8) tenglamalar analitik xulosaga ega emas. Ularning modelini EHM ga yasash mumkin.

Hozirgi kunda sinxron mashinalarda o'tish jarayonlarining nazaryalari juda yaxshi ishlab chiqilgan. Havo tirqishida bir qancha maydonlarni hisobi bilan dinamikasini o'rganishga yo'l qo'yadigan standart dasturlar bor. Sinxron mashinalardagi o'tish jarayonlarini o'rganishga o'z hissasini qo'shgan sovet olimlari quyidagilar: I A Vajnov, I A Gledov, A I Ivanov, Smolenskiy E A kazovski, T I Smaylov, I I Broshev va boshqalar .

Sinxron mashinalarning tenglamasini modellashtirish va o'qlarining farqlanishi bilan va 3-5 ta chiziqlarning borligi bilan murakkablashadi. Sinxron mashinalar dinamikasining EHM ga qo'lanishi maxsus kurslarda ko'rib chiqiladi.

Sinxron mashinalarda o'tish jarayonlarini pastroqda sifatli diffirensial tenglamalarni jalb qilmasada qismlarga bo'lib chiqiladi. Mashina qurilmalarida 3 fazali qisqa tutashuvlardagi holatlarni ko'rib chiqamiz. To'satdan qisqa tutashuvda yakor cho'lg'amining ulanish oqimi o'zgarimasdan qoladi deb hisoblash mumkin. Yakor cho'lg'amining aktiv qarshiligi induktivdan bir qancha kamroq, shuning uchun tenglamalarda qisqa tutashuvning birinchi daqiqasidayoq yakorning toki rotorga o'tishni boshlaydigan magnit oqimini yaratadi. Statoridagi tokning o'zgarishiga ulanish oqimining takroriyligidan kelib chiqib xulosa qilishimiz mumkin, ya'ni rotorning cho'lg'amlarida stator oqimining rotor o'tishiga to'sqinlik qiluvchi qo'shimcha tok paydo bo'ladi. 473-rasmda 2 ta holat ko'rsatilgan, yakordagi tokning birinchi daqiqadayoq o'zgarishiga pasaytiruvchi cho'lg'amiga uyg'otish cho'lg'amiga oqimning o'tishiga to'sqinlik qiladi bu holat Yuqori o'tish qarshiligi bilan aniqlanadi .



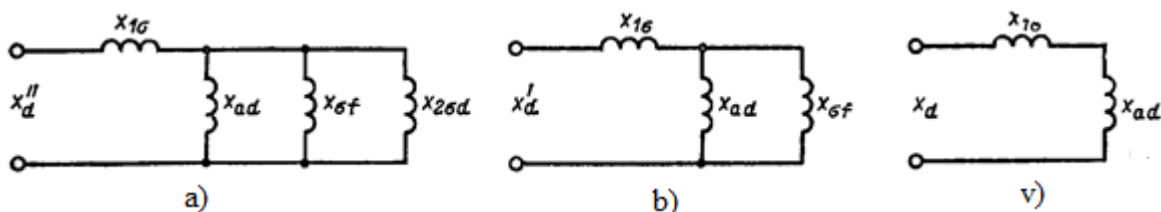
473-rasm.

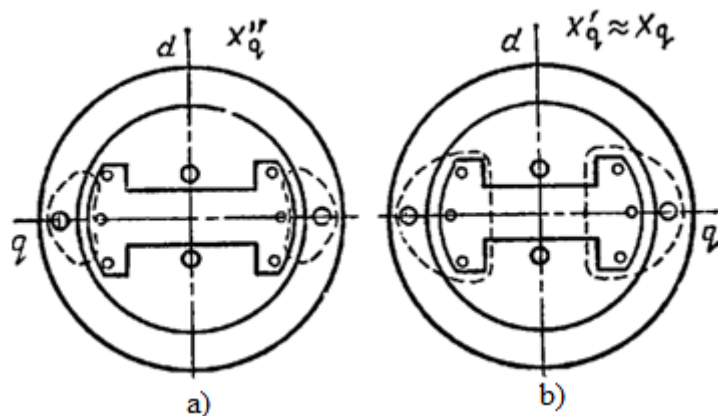
(473 a -rasmda) oqimning so'ndiruvchi cho'lg'amiga o'tgan keyin uning uyg'onishiga o'zgarish ga uyg'onish cho'lg'ami tasir qiladi. Mashinaning bu holati o'tish qarshiligi bilan xarakterlanadi.(473b rasmda). O'rnatilgan tartibda mashina uzunasiga o'qlar bo'yicha qarshilikka ega bo'ladi (473v rasmda)

Yuqori o'tish induktiv qarshiligi uzunasiga o'qi bo'ylab va 4.74-rasmda ko'rsatilgan joylashuv sxemalariga mos keladigan sxemalar bilan xarakterlanadi. Barcha joylashuv sxemalarida qarshiliklar yakorning cho'lg'amiga olib kelingan. Yuqori o'tish qarshiligi induktiv qarshilikning parallel bog'lanishi bilan aniqlanadi.

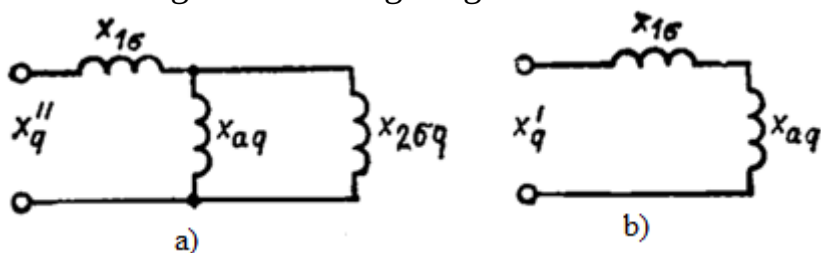
O'tish qarshiligi so'ndiruvchi cho'lg'amni yo'q bo'lishida yakor reaksiyasining o'rnatilgan qarshilik bilan va uyg'onish cho'lg'aming so'ndiruvchi qiladigan holatlarni hisobga oladigan qarshilik bilan aniqlanadi.va qarshiliklar bir qancha kamroq, shuning uchun bog'lanish vaqtida so'ndiruvchi cho'lg'am bilan mashina yuqori o'tish induktiv qarshilik bilan xarakterlanadi. (475a rasb) mashina uzunasiga o'qlari bo'ylab o'tish induktiv qarshilikni so'ndiruvchi cho'lg'amida o'tish jarayonidagi mashinani ta'riflaydi. (475 b rasmda) qarshilik q o'qi bo'ylab so'ndiruvchi cho'lg'amning so'ndiruvchi ta'sirini ta'riflaydi.

Bo'yiga shaklidagi o'qlar bo'ylab o'tish va yuqori o'tish qarshiliklari uchun xuddi shunga mos keladigan qarshiliklar uchun joylashuvning ekvivalent sxemalari taklif qilingan bo'lishi mumkin. (475 ab-rasm)



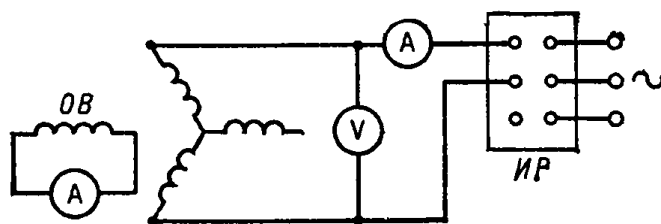


475 ab-rasm. Turbogenerator va gidrogenerator almashtirish sxemasi.



4.76-rasm. Bu ko'ndalang o'qlar bo'yicha so'ndiruvchi konturlardan kamroq degani. a) Turbogeneratorlar uchun b) gidrogeneratorlar uchun

Parametrlar tajriba yo'l bilan topilgan bo'lishi mumkin: 1) to'satdan uch fazali qisqa tutashuvlarda , 2) Uyg'onishning tiklanish tajribalarida , 3) stator cho'lg'aming urib turadigan maydonida va rotorning erkin holatida, 4) Ko'ndalang va uzunasiga bo'lgan yo'nalishlardagi rotorning o'rnatilishi va stator cho'lg'aming urib turadigan maydonida. Oxirgi tajribada uyg'onishning tutashgan ampermetrli cho'lg'amida statorning urib turadigan maydonidagi rotorning sekin aylanish yuzaga chiqadi.

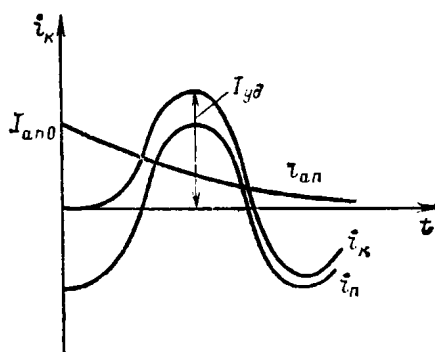


4.77-rasm.

Tajribani mashinaga o'tkazishda pasaytirilgan bosim uzatadi va toklarning maksimal va minimal ma'nolari bo'yicha yuqori o'tishi qarshiliklari topiladi (477-rasm).

Rotorning burilishida maydon o'qi mashinaning uzunasiga va ko'ndalang o'qlari bilan navbatma-navbat mos keladi, va shu o'qlarning qarshiliklari bilan tok aniqlanadi. Yaqin jarayonlar qisqa tutashuvlardan ham o'rin oladi. Mashinada so'ndiruvchi cho'lg'amsiz holatida aniqlanadi. Yuqori o'tish parametrlari va teskari ketma-ketlikdagi aniqlanishi faqatgina aniqlanishda aylanish chastotasi nominal aniqlashda nolga yaqinligi bilan farq qiladi. va ma'nolari odatda bir-biriga yaqin

bo'ladi. Rotor cho'lg'ami toklardagi qisqa tutashuvlarda davriy va nodavriy tuzuvchilar bor.



478- rasm.

Davriy tuzuvchilar rotorga nisbatan qo'zg'almas aylanadigan maydon yaratadi. nodavriy tuzuvchilar statorning statorning cho'lg'amiga nisbatan qo'zg'almas magnit maydon yaratadi. Stator cho'lg'am fazalaridagi toklarning bosh manbasi qisqa tutashuv sodir bo'lgan momentga tobe bo'ladi. Qisqa tutashuv tokining zarbali manba sinxron mashina uchun juda xavfli hisoblanadi.

Ba'zida zarbali tokning qisqartma tushunchasini kiritadilar.

$$I_{ud} = 1.8 \frac{\sqrt{2} \cdot 1.05 U_{nom}}{x_d} \quad (4.117)$$

(4.117)-(4.119) larda 1.8 koeffitsient nodavriy tuzuvchilarning so'nishini hisobga oladi va nominal bosimning oshirilgan manbasi 5 foizga qabul qilinadi. Qisqa tutashuv toklarining eng ko'p ta'siriga turbogeneratorlarda katta uzunlikka ega bo'lgan stator cho'lg'aming oldingi qismlariga duchor bo'ladi. Yirik sinxron mashinalar cho'lg'aming oldingi qismlarini deformatsiyasini kamaytirish uchun kuchaytirilgan bog'ichga ega buladi. Cho'lg'amlardagi elektrodinamik kuchlar toklarning kvadratika proporsional. Bu kuchlar cho'lg'aming o'ng qismlarini magnitli o'tgazgichning g'o'lali qismlariga xarakat qiladi. GOST qisqa tutashuv toklarining amplitudasini chegaralaydi.

4.79 a-rasmda sinxron mashina cho'lg'amlaridagi o'zgarishi ko'rsatilgan yakor fazalaridagi toklar xar biri o'zining vaqti bilan pasayib qoladigan davriy xamda nodavriy tuzuvchilarga ega. 4.79 a- rasmda fazasi tokining o'zgarishi ko'rsatilgan, nodavriy tuzuvchi bo'lmagan uyg'onish va so'ndiruvchi cho'lg'amida o'tish toklari cho'lg'amlarini doimo vaqtiga tobe bo'lgan xar xil qonunlar bo'yicha o'zgaradi. (4.79 b va v -rasm) Sinxron mashinalardagi o'tish jarayonlarining analizida doimiy vaqtlarni etarli darajada katta qismi xaqida gapirish mumkin. Yakor cho'lg'ami uchun doimiy vaqt o'rta manbasi uchun

Rotorning ajratilgan va tutashgan cho'lg'amlarida yakor cho'lg'amidagi doimiy vaqtlarni xam hisoblaydilar .

Rotor cho'lg'amlari o'zining doimiy vaqtlariga ega , ayon qutbli mashinada esa o'qlari mashinaning uzunasi va ko'ndalangi bo'ylab doimiy vaqtlari ham ko'rib chiqiladi . Mashinaning eng zarur doimiy vaqtlari kataloglarda ko'rsatiladi.

Yakor cho'lg'aming nodavriy toklari xar xil doimiy vaqtlar bilan so'ndiruvchi cho'lg'amida 4.79 b-rasm va uyg'otishcho'lg'amida pasayadigan rotor cho'lg'amidagi o'zgaruvchan toklarni boshlab boradi . Nodavriy toklarning pasayishi asosan konturning aktiv qarshiliklariga bog'liq.

Stator va rotor cho'lg'amlaridan o'tadigan toklar qisqa tutashuvda mashinaning valiga o'zining ta'sirini ko'satadi yani o'sha paytda zarbalar paydo bo'di.Belgili o'zgaruvchan momentlar rotorni tezlashtiradi yoki sekinlashtiradi.(4.80-rasm).

Yakor va uyg'otish cho'lg'aming doimiy vaqtiga tobe bo'lgan o'sha zarbali momentning pasayishini aniqlaydigan doimiy vaqt. Shuningdek o'sha moment stator va rotordagi toklarga proporsional

O'tish jarayonlaridagi momentning shunaqa kattalashishi turbinalar bilan sinxron generatorlarni birlashtiradigan mufta va vallar mustahkamligiga hisob - kitobga shularni ham hisobga olish zarur. Zarbali moment o'rnatilgan tartibdagi elektromagnitli momentday rotorga ham statorga ham qo'shilgan, shuning uchun mashinani fundamentga mustahkamlaydigan boltlar shu kuchlarga hisoblanib chiqilgan bo'lishi kerak. Qisqa tutashuvlarda mexanik ta'sirlar mashinalar uchun issiqlik mashinalaridan ko'ra xavfliroq sanaladi, bu jarayonlar qisqa vaqtli bo'lsa ham sinxron mashinadagi o'tish jarayonlari nafaqat elektromexanikli sinxron mashinalardagi o'tish jarayonlarining izlanishi aylanish chastotasi o'zgarishi hisobi bilan faqat EXM qo'llanishi bilan bo'lishi va bu maxsus kurslarda ko'rib chiqiladi.

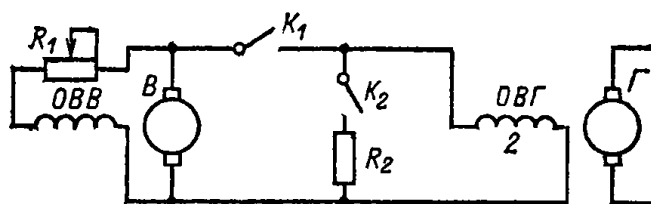
Nazorat savollari.

1. Sinxron mashinalarda o'tish jarayonlariga yuklamaning o'zgarishining ta'siri qanday?
2. Turbogenerator va gidrogenerator almashtirish sxemasini tushuntiring?
3. Sinxron mashinalarda o'tish jarayonlarida uyg'otish tokening qiymati qanday o'zgaradi?

4.20. Maydonning so'ndirishdagi o'tish jarayonlari.

Qisqa tutashuvlarda generatorning ichida yoki uning chiqish joyida generator aloqadan uziladi. Ammo qisqa tutashuv toklari mashinaning ichki qismi zararlanishida yoki o'chirgichgacha qoldiriladi va ularning o'rnatilishi uchun uyg'otishtokini tezda nolgacha pasaytirish zarur. Bu jarayon magnit maydonning so'nishi deyiladi.

Maydonning so'nishida uyg'otish cho'lg'amidagi tokni aniq qonun bo'yicha o'zgartirish zarur. Uyg'otish zanjirining uzilishi yanada qayta kuchlanishdan emas, shuningdek magnit maydondagi zaxiradagi energiya o'chirgich kontaktlariga elektr yoylarini o'rnatishda bo'ladi. Uyg'otish cho'lg'amidagi sekin pasayishi nojoiz, aks holda halokat tokining uzoq oqishi mashinaning og'ir zararlanishiga olib keladi. SHuning uchun uyg'otish cho'lg'amidagi tokni shunday o'zgartirish kerakki, qayta og'irlikni ko'tara olsin, o'chirish vaqti esa minimal bo'lishi kerak.



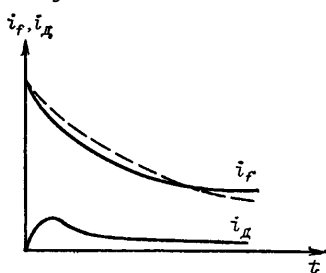
4.81 –rasm.

4.81-rasmda sinxron generatorlar uyg'otishning prinsipial sxemalari maydonning so'nish avtomatlari bilan ko'rsatilgan. Qisqa tutashuvda kontakti tutashadi, esa o'chiriladi. OVG sinxron generatorlari uyg'otishcho'lg'ami rezistorga tutashadi. Bning qarshiligi 3-5 marta ko'proq. OVG cho'lg'aming o'chirilishida o'tish jarayoniga toklar o'tishi mumkin bo'lgan barcha konturlar ishtirok etadi. So'ndiruvchi cho'lg'ami va yakorning uzilish cho'lg'amidagi o'tish jarayonlarining vaqti generatordagi uyg'otish cho'lg'aming doimiy vaqti bilan aniqlanadi.

OVG konturida aktiv qarshilik qancha ko'p bo'lsa, uyg'otish cho'lg'amida shuncha tez tok so'nadi. vaqti sinxron mashinalar uchun (2.14) ifodaga teng, gidrogeneratorga nisbatan turbogeneratlarda u ko'proq. Yakorning uzulgan va so'ndiruvchi cho'lg'aming mavjudligida 4.82-rasmda shartli sxemasiga mos keladigan 2 ta tenglamaning [xulosasidan kelib chiqib o'tish jarayonining vaqtini aniqlash zarur: va so'ndiruvchi cho'lg'amdagi va uyg'otish cho'lg'amidagi toklar induktiv va so'ndiruvchi cho'lg'amning aktiv qarshiligi; M-cho'lg'amlar o'rtasidagi o'zaro induktivlik, doimiy vaqti bilan aniqlanadi. Tenglamaning so'ndiruvchi cho'lg'ami va yakorning tutash cho'lg'ami hisob kitobida quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\begin{cases} 0 & r_1 + pL_1 & pM & pM & i_1 \\ 0 = & pM & r_d + pL_d & pM & x i_2 \\ 0 & pM & pM & r_a + pL_a & i_3 \end{cases} \quad (4.126)$$

L_a , r_a -induktivlik va yakor cho'lg'aming aktiv qarshiligi; p - differensiallash operatori, yozuvlardan hisoblaymizki, M -o'zaro induktivlik cho'lg'amlar o'rtasida bir xil, $L_1 = M + L_{\sigma 1}$, $L_a = M + L_{\sigma a}$ va $L_d = M + L_{\sigma d}$ $L_{\sigma a}$ va $L_{\sigma d}$ -yakor so'ndiruvchi va uyg'otish cho'lg'aming tarqalish induktivligi. Uyg'otish toki gidrogeneratlarda tezroq bo'ladi. Aktiv qarshilikning uyg'otish cho'lg'ami konturga ulanishi o'tish jarayonining vaqtini kamaytiradi. Uchala cho'lg'amdayam o'tish jarayonining boshida toklar tezroq so'na boshlaydi.



4.83-rasm.

4.83-rasmda uyg'otish cho'lg'amidagi toklarning so'nishi va so'ndiruvchi cho'lg'amidagi tokning o'zgarishi maydonning so'nishi ko'rsatilgan.

Sinxron mashinalardagi o'tish jarayonlarining tatqiqotida turbogeneratorlar rotorning bochkasiga o'tadigan toklarni hisoblash zarur. Unda og'irlik tenglamasining soni beshgacha ko'tariladi va yana yangidan ularning xulosasini murakkablashtiradi. Rotor va stator toklaridagi xulosalarda o'zining doimiy vaqtlari bilan so'nadigan davriy va nodavriy tuzuvchilarni belgilash mumkin.

Hozirgi vaqtda (4.126) EHM ga hal qilyaptilar. Tenglamaning halokatli o'chirishlarida parli va gidravlik turbinalar bilan momentni aloqadan uzish mumkin emas. Shuning uchun generatorning rotor tezlashib ketadi, agar yana qaytadan generatorni aloqa ulamasa generator rotorining ulanish chastotasi kuchayib ketadi va sinxron generator nosinxron rejimda ishlay boshlaydi. Sinxron generatorning nosinxron tartibda ishlashi qisqa muddatli uncha katta bo'lmagan sirpanishga uchraydi. Generator nosinxron tartibda uyg'onishning uzilgan cho'lg'ami bilan ishlaydi. Nosinxron tartibda uyg'otishning ulangan cho'lg'amida rotorni tebratadigan belgili o'zgaruvchan momentlar paydo bo'ladi, natijada toklarning tebranishi kattalashadi va zarbali daqiqalar ko'payaveradi.

Sinxron mashina uyg'otishning uzilgan cho'lg'amidagi nosinxron tartibda xuddi nosinxron mashinaday ishlaydi. Rotorning konturlarida sirpanish toklari o'tadi, reaktiv quvvat alohida harakat qila boshlaydi. Rotorning nosinxron rejimda sirpanish isroflari paydo bo'ladi.

Resinxronizatsiya jarayoni mashinaning sinxron rejimdan chiqishi murakkab o'tish jarayonlari bilan birga sodir bo'ladi va maydonning so'nish avtomatlari bilan (AGP) shuningdek takroriy yoqish bilan bajariladi. (APV)

Mashinadan tashqari avariya holatlari kelib chiqishida generatorning 3 marta takroriy aloqaga ulanishi smalga oshiriladi. Agar qisqa tutashuv tugatilsa yoki avariya holat bartaraf etilsa, mashina alodaga tezroq ulanishi kerak sistemani qo'llab quvvatlash uchun. Takroriy ulash vaqtida o'tish jarayonlarida moment va tokning irg'ishi kuzatiladi va bu mashinaning ishonchli ishlashiga sezilarli ta'sir qiladi. Zarbiy momentlarni to'g'ri aniqlash va simi, mufta, cho'lg'am pesh qismi deformatsiyasini to'g'ri hisoblash va yirik sinxron mashinalarni qotirish imkonini bradi.

Murakkab o'tish jarayonlarini tadqiq qilishda sinxron mashinalarni quvvat chegarasini ishonchli ishlashini ta'minlash uchun zarur.

Nazorat savollari.

1. Maydonni so'ndirishdagi o'tish jarayonini izohlang?
2. Maydonning so'nishida uyg'otish cho'lg'amidagi tokni o'zgarishini tushuntiring?
3. Maydonning so'nishida takroriy qayta ulashning ta'siri qanday?

4.21. Sinxron mashinalarning tebranishi. Dinamik turg'unlik.

Muayyan rejimda sinxron mashinalar aylanishida tashqi mexanik va elektromagnitli momentlar, o'zaro muvozanatlashgan va rotor o'zgarmas burchak tezligida aylanadi

$$M_{vn} + M_{em} = 0 \quad (4.127)$$

(bu yerda momentlar o'z belgilari bilan olingan bo'lishi mumkin)

θ Yuklama burchagi bu holatda o'zgarmaydi, natijali magnit maydoniga nisbati bo'yicha rotor holati ham o'zgaras bo'lib qoladi.

Tashqi mexanik va elektr magnitli momentlar (4.127-rasm) vaqtga qarab o'zgarmaydigan hisoblanmaydi. Agar masalan generator rejimida sinxron mashinani ishlashini ko'rib chiqadigan bo'lsak, tashqi aylanuvchi mexanik moment o'z tabiati bo'yicha o'zgaruvchan bo'lishi mumkin yoki trubinaga (bug', gidravlik yoki gaz) etib keluvchi sovutuvchi agentni parametrlarini (qalinlik, harorat) o'zgaruvchanligini tufayli o'zgarish sezilmaydi. Tarmoq chastotasi va kuchlanishi o'zgarishida elektr magnitli moment o'zgarishi mumkin

Uyg'otish toki, tarmoq chastotasi va kuchlanishida elektr magnitli moment o'zgarishi mumkin. Bir xil turmaydigan harakatlanuvchi momentlar va qarshilik momenti rotorni musbat va manfiy belgili $d\omega_p/dt$ jadallashiga olib keladi va θ burchagini θ' burchakka o'zgaradi

$$\sum M = J \frac{d\omega_p}{dt} = J \frac{d^2\theta'}{p dt^2}, \quad (4.128)$$

J-inersiya rotor momenti; r- qutblar juftligi miqdori.

θ burchak o'zgarishida generator rotoriga ta'sir qiluvchi (4.128) yig'indi ostida barcha momentlar ishtirok etadi. Aylanish yo'nalishi tashqi mexanik $M_{vn} + \Delta M_{vp}$ momentda Yuklanadi. Aylanishga qarshilik ko'rsatuvchi elektr magnitli moment θ burchagini θ' burchakka o'zgarishida, masalan ayon bo'lmagan qutbli generator uchun (4.75) va (4.78) bo'yicha belgisi teng

$$M_{em} + \Delta M_{em} = -\frac{mUE_0}{\omega_s x_s} \sin\theta - \frac{mUE_0}{\omega_s x_s} (\cos\theta)\theta = -M_{em} - m_s\theta' \quad (4.129)$$

θ – solishtirma sinxronlovchi moment bu yerda.

$$m_s = \frac{mUE_0}{\omega_s x_s} \cos\theta$$

θ burchak o'zgarishida asinxron moment M_d paydo bo'ladi, θ' kichkinada proporsional sirpanishni qabul qilish mumkin

$$s = -\frac{p}{\omega_s} \frac{d\theta'}{dt}; \quad M_D = \frac{pmU^2}{\omega_s r_2'} s = \frac{pmU^2}{\omega_s r_2'} \left(-\frac{p}{\omega_s} \frac{d\theta'}{dt} \right) = -\frac{pmU^2}{\omega_s^2 r_2'} \frac{d\theta'}{dt} \\ = -D \frac{d\theta'}{dt}. \quad (4.130)$$

(4.130) ifodada D ko'paytuvchini ko'pincha dempfer (so'ndirish) koeffitsienti deb aytishadi, tarmoq kuchlanish kvadratiga proporsional va rotor konturlari qarshiligiga teskari proporsional, bunda nosinxron aylanishda rotorda tokni induksiyanishi kelib chiqadi.

(4.127) ifodani hisobga olgan holda tenglamani (4.128) quyidagi ko'rinishda tasavvur qilish mumkin

$$-\Delta M_{vn} - m_s\theta' - D \frac{d\theta'}{dt} = J \frac{d^2\theta'}{p dt^2}.$$

Shunday qilib, rotorning nosinxron harakati (θ burchagini qo'shimcha tashqi moment ΔM_{aa} tufayli θ' burchakka o'zgarishida) ikkinchi tartib differensial bir jinsli bo'lmagan tenglamada qayd etiladi

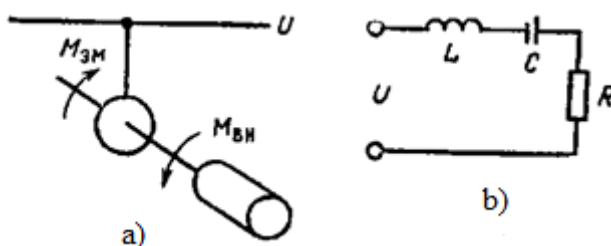
$$\Delta M_{vn} = m_s \theta' + D \frac{d\theta'}{dt} + J \frac{d^2\theta'}{p dt^2}. \quad (4.131)$$

Tarmoq bilan parallel ishlovchi sinxron mashinalar harakati tenglamasi (4.84 rasm) tebranuvchi konturli tenglamaga o'xshashdir:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R di}{dt} + \frac{i}{C} = \frac{du}{dt}. \quad (4.132)$$

(4.131) va (4.132) tenglama o'xshash bo'lib ularni o'xshashlik metodini qo'llagan holda tahlil qilish mumkin, turli jarayonlarni ta'riflab beruvchi bunday o'xshash tenglamalarda o'shaning o'zi va bir qator mos keladi. (4.131) va (4.132) da (4.132) o'zga tegishli bo'lgan tebranishlar davrida:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}, \quad (4.133)$$



4.84-rasm.

Tarmoq bilan parallel ishlovchi sinxron mashina (a), va tebranuvchi kontur (b) (4.131) uchun o'xshash

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m_s p}{J} - D^2 p^2 / 4J^2}. \quad (4.134)$$

Shunday qilib, $4J^2 \gg D^2$, parallel tarmoq bilan ishlovchi sinxron mashina uchun ω_0 hisoblash mumkin teng

$$\omega_0 \approx \sqrt{\frac{m_s p}{J}}. \quad (4.135)$$

Tarmoq bilan ishlovchi sinxron mashinalarni o'ziga tegishli bo'lgan tebranishlari unchalik katta emas, 1-2 Gs ga teng.

Tarmoq bilan ishlovchi sinxron mashinalarni ishlashida tebranishli konturdagi kabi chayqalish paydo bo'ladi. Sinxron mashinalarni shunday hisoblash zarurki, mashina tarmoq bilan rezonansga kirib ketmasligi kerak. Buning uchun mashinaning o'ziga tegishli bo'lgan chayqalishlari chastotasini va tarmoq chastotasi bir biridan sezilarli darajada farqlansin.

Mashinaning o'ziga tegishli bo'lgan chayqalishlari chastotasi mashina parametrlariga bog'liq bo'ladi va ko'pincha J bilan belgilanadi. J qancha ko'p bo'lsa ω_0 shuncha kam bo'ladi. So'ndirish cho'lg'ami chayqalanish tebranishsini

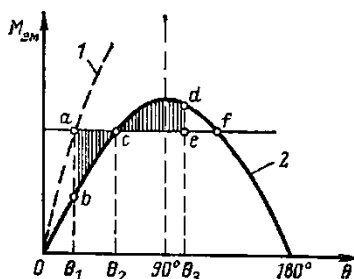
kamaytiradi. Ayniqsa, 10-100 kVt quvvatli sinxron mashinalarning qachonki parametrlar birikmasi ayniqsa noqulay bo'lsa chayqalishga moyil bo'ladi.

Zarbiy Yuklamada sinxron motorni ishlashida yoki qachonki sinxron generator porshenli motorda aylanadi, shunda rotorning majburiy tebranishi paydo bo'lishi mumkin.

Tebranish momenti chastotasi o'ziga ω_0 tegishli bo'lgan tebranishlari bilan mos kelganda qachonki mashina tebransa va sinxronizmga tushib qolsa rezonans hujumga o'tadi. Rotorning chayqalishi mashina yakorida toklarning tebranishda kuzatiladi, u titrashni, shovqin chaqiradi, isroflanishni oshiradi. Zarbiy Yuklamada kam qarshilikda so'ndirish cho'lg'omini bajarish zarur va inersiyani shunday tanlash lozimki, bunda ω_0 chastota va majburiy tebranish chastotasi sezilarli darajada bir biridan farq qilsin. Favqulodda tushirishlarda sinxron generator yuklamasi aylanish chastotasi kattalashuvida qisqa vaqtda asinxron generator rejimida ishlashi mumkin, sinxron mashina o'ta yuklanishida esa sinxronlikdan tushib qoladi va asinxron motor ishlash rejimiga o'tadi. Bu rejimlarda tarmoq bilan parallel ishlovchi sinxron mashinaning statik turg'unligi buziladi, shuning uchun bu rejimlarga qisqa muddatli yo'l qo'yiladi.

Dinamik turg'unlik – bu sinxron mashinaning yuklamasini va tarmoq parametrlari keskin o'zgarishida sinxronizmga qolish qobiliyatini bildiradi. Statik turg'unlik tushunchasiga ko'ra uning farqi shundaki, muayyan rejimda energiyaning o'zgarish jarayoni sodir bo'lsa, dinamik turg'unlik – o'tish rejimlarida sinxron mashinani sinxronizmga qolishi qobiliyatidir.

Dinamik turg'unlikni tadqiqotlarida (4.1)-(4.8) tenglamalarini EXMda echish ehtimoli bor. Shu bilan tarmoq bilan parallel ishlovchi sinxron mashinalarning turg'unlik sistemasida murakkablashadi, buning sababi shundaki yuklamaning turtishsimon o'zgarishida tarmoq kuchlanishi ham x uyg'otish rostlagichi ishlashi hisobiga uyg'otish toki xuddi shunday o'zgaradi. Tarmoqda sinxron generator kuchlanishni pasayishigacha 1 burchak tavsifida a no'qtada turg'un ishlaganini taxmin qilsak) 4.85 rasm) Burchak $\theta = \theta_1$. kuchlanish pasayganidan keyin. Rotor inertligi ko'rinishida kuchlanish pasaygandan keyin θ burchak chopish bilan o'zgara olmaydi, shuning uchun generator tomonida tarmoqqa uzatilgan quvvat b belgilangan nuqta miqdorigacha kamayadi.



4.85-rasm. Dinamik turg'unlikni aniqlash.

M_{em} Elektr magnitli moment generator aylanishiga qarshilik ko'rsatuvchi (4.127) ga muvofiq M_{vm} tashqi mexanik momentdan kam bo'ladi. Keragidan ortiq moment rotorni hayday boshlaydi va θ burchak 2 burchakli tavsif bo'yicha osha

boshlaydi. Rotorni tezlatuvchi ortiqcha moment, s nuqttagacha o'ringa ega bo'ladi, bu yerda aylanayotgan qarshilik va teskari ta'sir etuvchi momentlar teng bo'ladi, ammo s nuqtasida rotor tomonidan to'plangan ortiqcha kinetik energiya θ burchakni oshishini davom ettiradi.

Shuni ko'rsatish mumkinki, to'plangan energiya S_{abe} 4.85-rasmda shtrix bilan ko'rsatilgan egri chiziqli uchburchak abc maydoniga proporsional. s o'ng nuqtada rotor tormozlana boshlaydi, chunki s elektr magnitli tormozlovchi momentni yuqori no'qtasi aylanuvchi generator momentidan ustun keladi. Tormozlashda to'plangan kinetik energiya sarf qilinadi va rotor $\theta = \theta_{burchakda}$ nuqtaga etadi. d nuqtasidagi holat egrichiziqli uchburchak maydoniga tengligidan aniqlanadi va abc va sde sekinlashishiga olib keladi (ana sabab bo'yicha bayon etilgan usul ba'zida maydonlar usuli degan nomga ega). Tormozlashda energiya chegarasi $sdfe$ figura maydoniga proporsional bo'ladi.

Maydon usuli mashina sinxronizmida qoladimi yoki yo'qmi degan savolga javob beradi. Agar abc egri chiziqli uchburchak deb tavsiflangan jadallash maydoni $sdfe$ sekinlashish maydonidan kam bo'lsa, unda mashina sinxronizmni ushlab qoladi. Agar tormozlash maydoni jadallash maydonidan kam bo'lsa, mashina sinxronizmdan tushib qoladi- dinamik turg'un emaslik chegerasiga o'tadi.

Mashina qancha ko'p yuklangan bo'lsa, $\theta_{burchak}$ shuncha ko'p bo'ladi, maydon qancha kam bo'lsa uning ehtimolligi shuncha kam bo'ladi, mashina sinxronizmida ushlanib qoladi. Dinamik turg'unligi zahirasi uncha ko'p bo'lmagan yuklamada ishlovchi mashinada ko'p bo'ladi. Yuklamaning qo'shimcha oshishi odatda kuchlanishni kamayishida ya'ni maksimal elektromagnit momentni kamayishida kuzatiladi. Ilashma oqimni saqlash uchun uyg'otish kuchaytiriladi. Uyg'otishni kuchaytirilishi dinamik turg'unlikni yaxshilaydi. Biroq, uyg'otish cho'lg'ami uncha katta bo'lmagan o'zgarmas vaqtga ega bo'lishi kerak, qo'zg'atuvchi esa 2-2,5 baravar kuchaytirilishga yo'l qo'yishi kerak. Mashina rotori tebranishini tezkor tinchitish so'ndirgich cho'lg'ami va uyg'otishni avtomatik ravishda rostlashga ko'maklashadi.

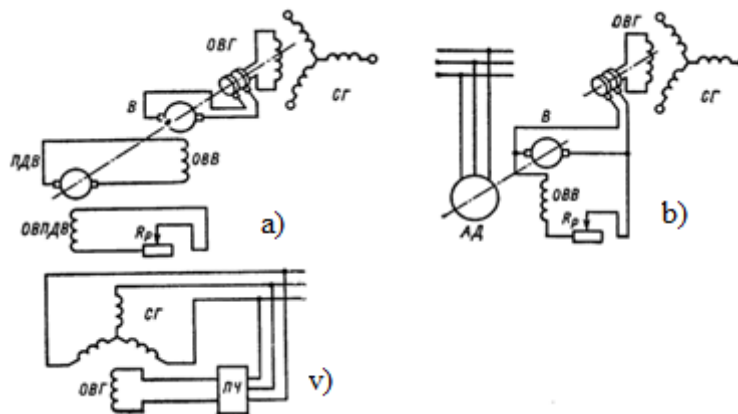
Nazorat savollari.

1. Sinxron mashinada tebranishni qaysi kattaliklar hosil qiladi?
2. Sinxron mashinada dinamik turg'unlikni qaysi holatda hosil qilish mumkin?
3. Dinamik turg'unlikni aniqlash tavsifini tushuntiring?

4.22. Sinxron mashinalarning qo'zg'atish tizimi.

Sinxron mashinalarning uyg'otish sistemasi cho'lg'am qo'zg'atuvchisi va sinxron mashinalarning uyg'otish cho'lg'amida tutashib turgan qo'zg'atuvchi va tokni uyg'otishni rostlash sistemasidan iborat bo'ladi. Uyg'otish sistemasi uyg'otish tokini rostlash, uyg'otishni kuchaytirish, uyg'otish maydoini so'ndirishni bajara turib, sinxron mashinani ishonchli ishlashini ta'minlashi kerak. Bu jarayonlar qudratli mashinalarda avtomatik tarzda amalga oshiriladi. [20]. Uyg'otish sistemasi ikki xilga bo'linadi,- *bevosita va bilvosita*.

Uyg'otish bevosita sistemasida yakor qo'zg'atuvchisi sinxron mashina valiga qattiq ulangan. Bilvosita uyg'otish sistemasida qo'zatuvchi motor aylanishga olib kelinadi, bunda yordamchi generator yoki elektrstansiyaning o'z ehtiyojlari shinasidan oziqlanadi. Yordamchi generator val bilan birga sinxron mashinaga ulangan bo'lishi mumkin yoki avtonom ishlashi mumkin. Bevosita sistema ancha ishonchliroq, energotizimdagi halokati holatlarda rotor qo'zg'atgichi sinxron mashina rotori bilan birga aylanishda davom etadi va uyg'otish cho'lg'ami toksizlanmaydi.



4.86-rasm. Sinxron mashinalarning qo'zg'atish tizimi.

4.86-rasmda sinxron mashinalarning a-v eng ko'p tarqalgan qo'zg'atish sxemasi keltirilgan. 4.86-rasmda, α elektromashinani qo'zg'atuvchisini eng ko'p tarqalgan bevosita sxemasi taqdim etilgan. SG sinxron generatorning uyg'otish OVG cho'lg'amida o'zgarmas tok kontakli halqa orqali yakordan V qo'zg'atgichga uzatiladi. Qo'zg'atuvchining uyg'otish cho'lg'ami yakor ost qo'zg'atgichdan oziqlanadi (OQO). Sinxron generator cho'zg'atish cho'lg'aminin tok bilan boshqarish rezistor R_p , ostqo'zg'atgichni uyg'otish cho'lg'ami zanjiri (OQQCHZ).

Qo'zg'atgich va ostqo'zg'atgich- o'zgarmas tokning generatorlaridir. Ularning yakorlari mufta bilan rotor bilan sinxron generatorga ulangan.

O'zgarmas tokli generatorning uyg'otish cho'lg'ami quvvati generatorning quvvati 0,2-5 % dan iborat bo'ladi. SHuning uchun kaskadli sxemada o'zgarmas tokli ikki generatorni boshqarish sxemasi (4.86, a,-rasm) sinxron generatorni uyg'otish quvvati bir necha foizni tashkil etadi. (10^2 - 10^3) o'zgarmas tokli ikki generator quvvati bo'yicha kuchaytirish koeffitsientini ishlab chiqishni kuchaytirish sxemasi koeffitsientiga teng bo'ladi. 3000 ob/min aylanish chastotasidan o'zgarmas tokli generatorning quvvatlanish chegarasi taxminan 600 kVt. O'zgarmas tokli generator shuning uchun qo'zg'atuvchi sifatida quvvati 100-150 MVt quvvatdagi turbogeneratorlarda qo'llanilishi mumkin qo'zg'atuvchi sifatida o'zgarmas tokli generatorlar sinxron motorlar va avtonom energetik sistemali sinxron generatorlarda keng qo'llanilmoqda.

4.86.b-rasmda qo'zg'atuvchisi bilan bilvosita uyg'otish - mustaqil qo'zg'atgichli o'zgarmas tok generatori sxemasi berilgan. O'zgarmas tokli generator yakori asinxron AD yoki sinxron motorda aylanadi, qaysiki sinxron generator kuchlanishidan bog'liq bo'lmagan o'zgaruchan tok tarmoqqa ulanadi.

Eng ko'p statik o'zgartirgichli qo'zg'atish sxemasi ommalashgan. 50 yillarda gidrogeneratorlar qo'zg'atgichi uchun simobli to'g'rilagichli qo'zg'atish sxemasi qo'llanila boshlandi, oxirgi vaqtlarda esa tristor sxemali qo'zg'atgich keng qo'llanilmoqda. Tiristor sxemali qo'zg'atgich kontaktli va kontaktsiz bo'lishi mumkin.

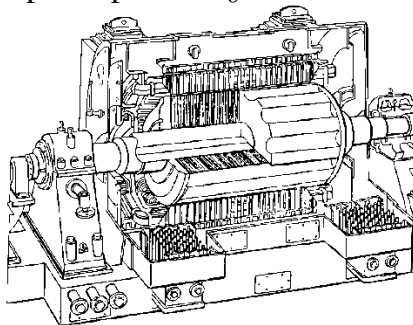
Kontaktli sxemada halqa orqali tristorli qo'zg'atgichdan uyg'otish toki uyg'otish cho'lg'amiga uzatiladi. Shu bilan o'zgaruvchan tok tristorli qo'zg'atgichga yoki elektr mashina qo'zg'atgichdan, tarmoqdan uzatiladi.

Yirik turbogeneratorlarning elektr energiyasini elektr mashina manbasi sifatida yuqori chastotali induktivli generatordan foydalaniladi. (4.87-rasm). Induktorli generatorning rotorini turbogenerator rotorini bilan qattiq bog'langan. Induktorli generatorning rotorida cho'lg'am yo'q, yakor cho'lg'ami esa statorda joylashgan. Induktorli generatorning ta'sir prinsipi 4.23 § da ko'rib chiqiladi.

Yakorni uyg'otish cho'lg'ami va to'g'rilagichlar cho'tkasiz sxemada rotorda turgan bo'ladi. 1000 MVt, ob/min 1500 quvvatli turbogenerator uchun uyg'otish qo'pfazali qilib bajariladi. Qisqamuddatli rejimda qo'zg'atgich quvvati 7,2 MVt va uzoq ishlaganda 2,8 MVt bo'ladi.

Kontaktli sxemada halqa orqali tristorli qo'zg'atgichdan uyg'otish toki uyg'otish cho'lg'amiga uzatiladi. Shu bilan o'zgaruvchan tok tristorli qo'zg'atgichga yoki elektr mashina qo'zg'atgichdan, tarmoqdan uzatiladi.

Yirik turbogeneratorlarning elektr energiyasini elektr mashina manbasi sifatida yuqori chastotali induktivli generatordan foydalaniladi. (4.87-rasm). Induktorli generatorning rotorini turbogenerator rotorini bilan qattiq bog'langan. Induktorli generatorning rotorida cho'lg'am yo'q, yakor cho'lg'ami esa statorda joylashgan. Induktorli generatorning ta'sir prinsipi 4.23 § da ko'rib chiqiladi.



4.87-rasm. Turbogeneratorlarning induktorli qo'zg'atgichi.

Yakorni uyg'otish cho'lg'ami va to'g'rilagichlar cho'tkasiz sxemada rotorda turgan bo'ladi. 1000 MVt, ob/min 1500 quvvatli turbogenerator uchun uyg'otish qo'pfazali qilib bajariladi. Qisqamuddatli rejimda qo'zg'atgich quvvati 7,2 MVt va uzoq ishlaganda 2,8 MVt bo'ladi.

0,75 kV kuchlanishda maksimal tok 9,6 kA ni tashkil qiladi. 500 MVt quvvatli trubogeneratorlarda qo'zg'atish quvvati 2,4 MVt ni tashkil qiladi.

Barcha uyg'otish sistemalarida GOST tomonidan reglamentlangan qattiq talablar qo'yiladi. Avariya rejimida va tarmoqda kuchlanish pasayganida uyg'otishni jadallashtirishni uyg'otish sistemasi ta'minlab beradi. 183-74-GOST ga ko'ra uyg'otish kuchlanishi muayyan chegarasining karraligi (uyg'otishning maksimal

kuchlanishining uyg'otishning nominal kuchlanishga nisbati) yirik generatorlar va sinxron kompensatorlar uchun 1,8-2 ga, sinxron mashinalar uchun -1,4-1,6 ga teng bo'ladi. Uyg'otish sistemasi tez ta'sir qiluvchi bo'lishi kerak. Uyg'otish kuchlanishi o'sishining nominal tezligi ya'ni kuchlanishni nominaldan maksimalgacha o'zgarishi yirik mashinalar uchun 1-1,5 s bo'lishi kerak, boshqalari uchun esa 0,8-1 s.

Uyg'otish tokini rostdash qoida bo'yicha qo'zg'atish kuchlanishini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Qo'zg'atgich to'yinmagan, uyg'otish toki kuchlanishga proporsional o'zgaradi. Faqatgina uncha katta bo'lmagan sinxron mashinalarda uyg'otish tokini rostdash reostatlar orqali amalga oshiriladi.

Favqulodda holatlarda maydonni so'ndirish 0,8-1,5 s AGP bilan ta'minlanadi. Maydonni so'ndirish tufayli vujudga kelgan qarshilik uyg'otish konturi qarshiligidan 5 marta oshib ketadi, o'tish jarayonida unda kuchlanish uyg'otish kuchlanishiga qaraganda 5 martadan ko'p oshmaydi.

Yuqorida ko'rilgan uyg'otish sistemasi bilan bir qatorda yuqori garmonikdan va ketma-ket teskari uyg'otish sistemasi qo'llaniladi.

Elektr mashinalarning tor tirqishda asosiy garmonikdan farq qiluvchi tezlik bilan aylanuvchi maydon garmonikning cheksiz spektri mavjud bo'ladi, yoki asosiy garmonikka nisbati bo'yicha qarama-qarshi aylanadi. Maydon yuqori garmonik sirpanish va garmonik tebranishiga bog'liq bo'lgan rotor cho'lg'amida kuchlanishni yuboradi. Agar rotor cho'lg'aminini to'g'rilagichlarda qisqartilsa, unda yuqori garmonikda pulslangan tok o'qib o'tadi va MYUK F_d dan uyg'otishning doimiy oqimini yaratadi (4.88-rasm).

Uyg'otish uchun odatda 3-chi garmonika maydonidan foydalaniladi va qutblar soni asosiy garmonikka nisbati bo'yicha 3 marta ko'p bo'lgan rotorda maxsus cho'lg'amda bajariladi. 3-chi garmonikadan uyg'otish bilan 100 kVtgacha quvvatli ES sinxron generatorlar rusumsi ishlab chiqariladi.

Teskari maydonni uyg'otishda foydalanish uchun foydalanish qiziqish kasb etadi. Bir fazali motorlarda teskari ketma ketlikdan uyg'otish (4.88- rasm), uch fazali asinxron motorlar tavsifiga yaqin gabaritmassali va energetik tavsifi olinishi mumkin bo'ladi.

Sinxron mashinalarning uyg'otish sistemasi nihoyatda xilma xildir va ko'pincha sinxron mashinaning konstruksiyasini belgilab beradi. Uyg'otish sistemasida ayrim ko'rinishlarni o'zgarish sistemasi maxsus sinxron mashinalarni o'rganishda ko'rib chiqiladi.

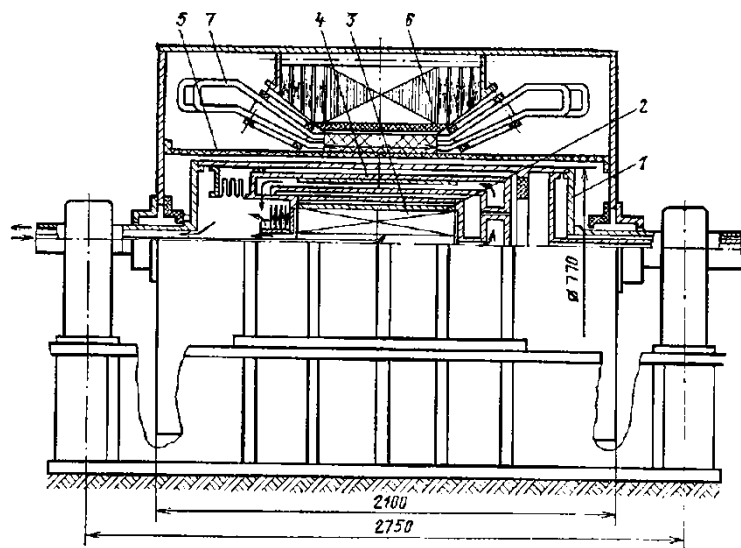
Nazorat savollari.

1. Sinxron mashinalarni o'zg'atish turlarini tushuntiring?
2. Trubogeneratorlarning induktorli qo'zg'atgichi qanday ishlaydi?
3. 3-chi garmonika maydoni qanday hosil qilinadi va nima uchun kerak?

4.23. Maxsus sinxron mashinalar.

O'ta o'tkazuvchanli sinxron mashinalarni uyg'otish cho'lg'ami. Ichki suvli sovutish turbogeneratorlarning quvvat chegarasi rotor va statorda cho'lg'am 2 mln. kVt bilan chegaralanadi. Uyg'otish cho'lg'amida o'tao'tkazuvchanlik qo'llanilganida yagona quvvatli turbogeneratorlarning kelgusidagi o'sish bo'lishi mumkin. O'zlashtirilgan quvvatdagi generatorlarda o'ta o'tkazuvchanlikni uyg'otish cho'lg'ami massani kamaytirish va FIK ni oshirishni ta'minlaydi.

4.89-rasmda 3000 ob/min, 1500 kV·A quvvatli KTG-1,5 trubogeneratorida ko'ndalang kesim berilgan. 1 mashina rotori aylanuvchi vakuumli izolyasiya kriostatini ifoda qiladi. Suyuq geliy uzatish tugun orqali 2 rotor bandaji periferiyasiga tushadi, 3 uyg'otish g'altagida ushlab turuvchi va rotor cho'lg'amini qotirish elementlarida kanallar orqali o'tadi. Markaziy qismda rotorning oxirgi zonasini sovutuvchi geliy bug'lari ikki oqimga bo'linadi, ekran 4 va tokni ishga tushiruvchi gazsimon geliy atrof muhit haroratiga yaqin haroratda rotordan chiqib ketadi. Vakuumlangan makonda rotor aylanadi tashqi sirti shishaplastikdan 5 iborat. Vakuum zichlash yo'li bilan ta'minlanadi. Rotor cho'lg'amidagi o'tao'tkazuvchanlik titanli 3,5x2 mmli misli matritsadan tayyorlangan. Tokning uyg'otish cho'lg'amida qalinlik 100 A/mm²ga etishi mumkin. 6 mashina statori shixtalangan elektr texnik po'latdan qilingan. Stator cho'lg'ami 7 suv bilan sovutiladigan misli simlardan tayyorlangan [3].



4.89 -rasm. 300 ayl/min, 1200 kVt quvvatli cho'qur sovutish trubogeneratori.

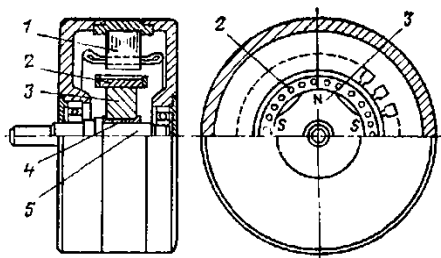
Cho'lg'ami o'tao'tkazuvchan elektr mashinalarda induksiyaning uyg'otish oraliqda 1,3-1,5 Tlga etadi, shuning uchun stator o'zagini tishlaridan bajarish maqsadga muvofiq bo'lmaydi. Cho'qur sovutishli elektr mashinalar statorida shixtalangan ferromagnitli tishsiz ekran qilinadi, u mashina ichidagi magnit maydonini konsentratsiyalaydi. Tirqishsiz mashinalar momenti cho'lg'amga ilova qilingan, bu holat uni yana ham puxtalik bilan qotirish zarurligiga chaqiradi. Tirqish qismiga stator cho'lg'amini qotirish pona tizimi yordamida amalga oshiriladi.

Cho'lg'amning pesh qismi kronshteynda o'rnatilgan shishaplastikadan qilingan bandajli halqaga qotiriladi.

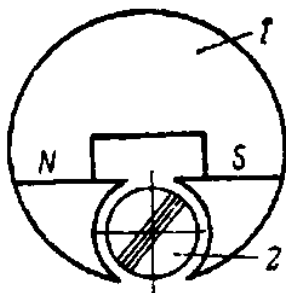
O'ta o'tkazgich cho'lg'amli sinxron mashina uyg'otish generator va motor rejimlarida ishlashi mumkin. cho'qur sovutish motori qo'llanilishi o'lchamlarini pasayishiga va energetik ko'rsatkichlarini oshishiga olib keladi. Biroq geliyning va o'tao'tkazuvchan materiallarning kamyoblighi cho'qur sovutish mashinalarini qo'llashni cheklaydi [6].

O'zgarmas magnitli mashinalar. Uyg'otish cho'lg'ami o'tao'tkazuvchan bo'lgan mashinalarning afzallik tomonlaridan biri shundaki unda uyg'otish cho'lg'amida elektrli isroflar nolga teng. O'zgarmas magnitli mashinalar ham ana shunday ustunlikka ega, ular yana magnit elektrli mashinalar ham deb aytiladi. O'zgarmas magnitli mikromotorlar eng ko'p tarqalgan. Samolet, traktor va avtomobillarda o'zgarmas magnitli generatorlar qo'llaniladi.

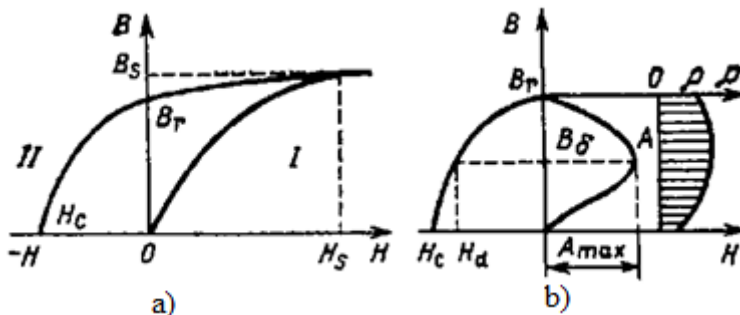
O'zgarmas magnitli 1 motorlarning statori (4.90-rasm) umumiy ahamiyatdagi mashina statoridan farq qilmaydi. Rotorda doimiy magnitlar 3 va 2 qisqa tutashgan ishga tushirish cho'lg'ami joylashgan. Vtulkadagi o'zgarmas magnit 4 valga 5 zichlanadi.



4.90-rasm. O'zgarmas magnitli motorlar



4.91-rasm. Momentli motor.



4.92 -rasmda O'zgarmas magnitning asosiy tavsifi.

O'zgarmas magnitdan rotni bajarish nihoyatda turli tuman bo'lishi mumkin: Yulduzda, silindr, aksial va radial yo'nalishda magnitlangan va boshqa ko'rinishda bo'lishi mumkin. Oxirgi vaqtda mashinaning yuriyotgan qismi sifatida ferromagnitli rezina qo'llanila boshlandi, o'zgarmas magnit rezina tushirilgan bo'lsa, bunda u turli shaklga ega bo'lishi mumkin.

O'zgarmas magnitlar nafaqat rotorda balki u mashina statorida ham joylashgan bo'lishi mumkin. Sinxron motorning konstruksiyalaridan biri o'zgarmas magnitning statorda joylashishi 1 motor momentlarida foydalaniladigan 2 rotorning ko'chishini cheklanishi, 4.91-rasmda ko'rsatilgan.

Magnitli elektr mashinalarni elektr magnit uyg'otishli mashinalarga taqqoslaganda bir qator ustunliklarga ega:aylanuvchi cho'lg'amning yo'qligi tufayli yuqori ishonchlik, yuqori FIK va sirpanuvchi kontakti uyg'otishda isrofning yo'qligi sababli qizishning kamligi, kontaktning yo'qligi sababli radio qabulda xalaqitlarning kamligi.

Biroq bu mashinalar bir qator kamchiliklarga ham ega: generatorlar kuchlanishni rostdash oddiy usuliga yo'l qo'ymaydi (uyg'otish tokini o'zgartirish yo'li bilan), ular 300-400 VT quvvatda hozirda mavjud bo'lgan o'zgarmas magnit rusumsida yuqori bahoga, massa va gabaritlarlarga ega: o'zgarmas magnitli motorlar juda yomon ishga tushirish xususiyatiga ega.

O'zgarmas magnitli mashinaning asosiy kamchiligi shundaki uyg'otish oqimini rostdashning murakkabligidir. Uyg'otish oqimini rostdash uchun ba'zida o'zgarmas magnitlar, oddiy elektrmagnitli uyg'otish, shuningdek stator suyanchig'ini qayta magnitlashlar qo'llaniladi

O'zgarmas magnitli mashinalar konstruksiyasi o'zgarmas magnitning magnitli va texnologik xususiyatlari bilan aniqlanadi

O'zgarmas magnitlar gisterezim ilmog'i bilan tavsiflanadi (4.92.a rasm). O'zgarmas magnit sifatini baholash uchun asosiy ahamiyati shundaki ilmoqning qismi ikkinchi kvadratga ega, bu egri magnitsizlantirish deb aytiladi. Egri magnitsizlantirishning chegarasi V_r (H_c) magnitni mumkin bo'lgan maksimal magnitlanishiga mos keladi.

O'zgarmas magnit V_s to'yinish induksiyasi bilan tavsiflanadi, unga mos keluvchi kuchlanish bilan N_s , qoldiq induksiya V_r va koersitiv kuch bilan N_s , shuningdek qaytaruv ρ koeffitsienti va A_{max} maksimum solishtirma magnit energiyasi. Qaytaruv koeffitsienti

$$\rho = \frac{\Delta B}{\Delta H}.$$

Maksimum solishtirma magnit energiyasi Dj/m^3 (4.92,b rasm)

$$A_{max} = \frac{(BH)_{max}}{2}$$

V_d induksiyaga va H_d kuchlanganlikka mos keladi.

Elektromashinasozlikda qoldiq induksiyali $V_r = 0,2 \div 1,5$ Tl va koersit kuch $N_s = 4000 \div 400000$ A/m o'zgarmas magnitlar quymasi va po'latning yuz xil markasi qo'llaniladi. O'zgarmas magnit xususiyati siyrak erli elementlar mikrodozasi quymalarini legirlashda yaxshilanadi. Samar –kobaltli o'zgarmas magnitlar $N_s = 8000$ A/sm, $V_r \approx 0,8$ Tl va solishtirma energiya $(VN)_{max} = 160 \div 240 \cdot 10^3$ Tl·A/m.

Yuqori solishtirma energiyada o'zgarmas magnitlarni qo'llanilishi yuqori foydalaniladigan elektrli mashinalarni yaratilishiga imkon beradi.

Tumsho'qsimon rotorli mashinalar. Yuqorida ta'kilanganidek, elektr mashinalarda energiyani o'zgartirish tor tirqishda sodir bo'ladi makonda, qaysiki magnet maydonida energiyaning konsentratsiyalanishida. Shu bilan magnet maydoni shakli mashinaning asosiy energetik ko'rsatkichlarini belgilab beradi. Mashinada eng yaxshi tavsiflarni aylana maydonda olish mumkin bo'ladi.

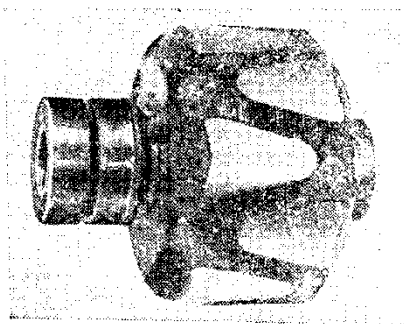
G'altakli cho'lg'am bir erga to'planganida induksiyaning sinusoidal taqsimlanishni oraliqda tor tirqishning ma'lum bir profili hisobiga olish mumkin uning magnetli o'tkazuvchanligida. Tumsho'qsimon rotorli mashinalarda tor tirqishda magnet maydonini taqsimlanishi sinusoidalga yaqin bo'lib, qutbli uchlik profili hisobiga erishiladi.

Konstruksiyani soddalashtirishga intilish va uncha katta bo'lmagan sinxron mashinalarni tayyorlash texnologiyasini ommaviy ravishda ishlab chiqarish tumsho'qsimon (tirnoqsimon) rotorli mashinalarni yaratilishiga olib keldi.(4.93.rasm)

Mashina o'qi bo'yicha joylashgan tumsho'qsimon qutbli uchlik bir g'altakda uyg'otish imkonini beradi, magnet oqimini aksial yo'nalishga o'zgartiradi, tor tirqishda alohida qutblarni radial yo'naltirilgan oqimi va nisbatan uncha katta bo'lmagan rotor diametrda sinxron generatorning ko'p qutbli konstruksiyani olish mumkin. Bunday konstruksiya cho'lg'am uyg'otishida misni sezilarli darajada tejash imkonini beradi.

Qutbli tumsho'qsimon rotor (tirnoqsimon) generatorlarda, traktor va o'rnatiladigan avtomobillarda keng qo'llaniladi.

Avtomobilda generator akkumulyatorli batareyada parallel ishlaydi,



4.93-rasm. Tumsho'qsimon rotor.

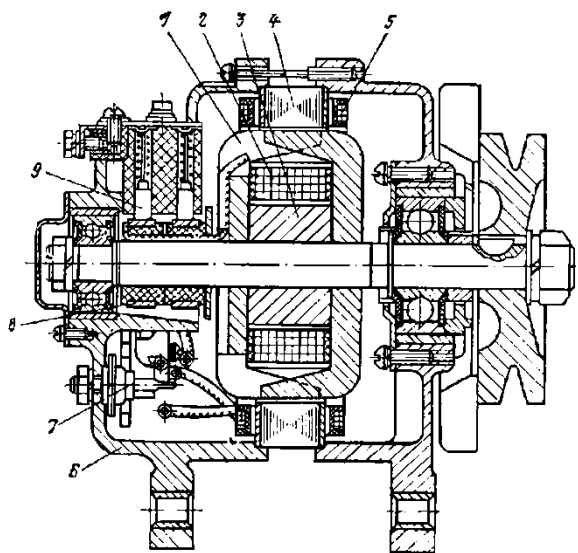
U zaryadlanishi kerak, shuning uchun chiqishda bunday generator o'zgarmas kuchlanishga ega bo'ladi. Avtotraktorli generator – bu ventilli generator bo'lib, kremniyli diodlarda to'g'rilovchi blokda qurilgan. Odatda to'g'rilagichning uchfazali ikki yarim davrli to'g'rilagich qo'llaniladi. To'g'rilagichli blok shunday o'rnatilganki, u intensiv ravishda generatorni sovutuvchi havo oqimida sovutiladi.

Generatorda Yuqori texnologiyaga erishish imkonini beruvchi avtotraktorli generatorlarning boshqa o'ziga xosligi kam miqdordagi faza va tirqishlarga statorning qo'llanilishi hisoblanadi ($q = \frac{z_1}{2p} m \ll 1$).

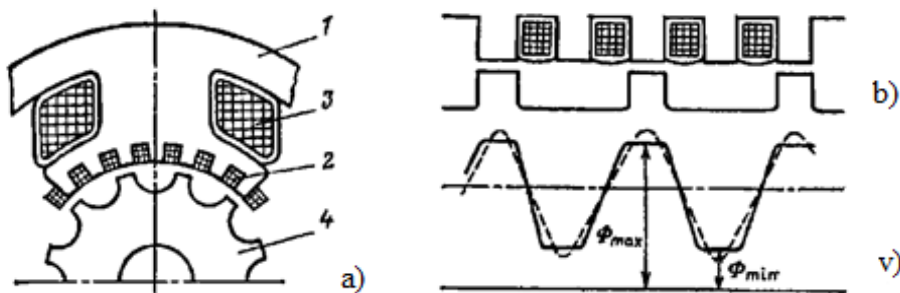
Stator cho'lg'ami bir yoki ikki qavatli qilib bajariladi. $d=1$ bo'lganda g'altak uchta tishchada joylashadi va tirqishda g'altakning bir tomoni yotadi, $d<1$ bo'lganda har bir tish va tirqishda g'altakning ikki tomoni yotadi.

Oxirgi vaqtgacha generatorlar fazalarini uch fazali qilib yulduzga ulangan. Po'latda quvvatning oshishida uchburchak ulash tomonga o'tib ketadi va statorda qo'sh yulduz va qo'sh uchburchak sxemasida qo'llaniladi. Besh baravar ko'p avtotraktorli generatorlar paydo bo'ldi.

4.94-rasmda G-250 tumsho'qsimon rotorli avtomobil konstruksiyasi taqdim etilgan. Ikki tumsho'qsimon qutblik 1 uchlik 12-qutbli magnit sistemasini hosil qiladi. Qutbli uchlik sovo'q qoliplash usulida tayyorlanadi. Uyg'otish cho'lg'ami 2 vtulkaga 3 sig'diriladi. Stator 4 shixtalangan 18 tirqishli. Cho'lg'am statori 5 birqatlam uch fazali $q=0,5$. Korpusi 6 (podshipnik to'sig'i) alyumin quymadan bajarilgan. Uch fazali o'zgaruvchan kuchlanish o'zgarmas to'g'rilagichda o'zgartiriladi 7, uch fazali ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasida to'plangan. Rotorda o'zgarmas tok ikki halqa va ikki cho'tka orqali uzatiladi.



4.94-rasm. G-250 Avtomobil generatori.



4.95-rasm. Induktorli generator.

Garmonik qonun bo'yicha ko'pchilik elektr mashinalarda parametr va toklar o'zgaradi, Agar tok o'zgarsa energiyani o'zgarishi hosil bo'ladi, koeffitsientlar esa

o'zgaruvchan oldidan o'zgarmasga o'tadi. Agar L va M o'zgarsa, toklar esa o'zgarmasga o'tsa elektrmexanik o'zgarishlar bo'lishi mumkin. Bunday elektrli mashinalarga parametrik deb aytiladi. Ular eng ko'p tarqalgan. Ularni yana induktorli mashinalar ham aytishadi. Induktorli mashinalarda energiyani o'zgartirish rotor va stator o'rtasida o'zaro induktiv o'zgarishi oqibatida sodir bo'ladi. Induktorli mashina barcha cho'lg'amlar qo'zg'almasdir, stator cho'lg'amidan o'tib ketadigan magnitli oqim o'zgarishi esa ferromagnitli massaning siljishini chaqiradi. Yulduzcha ko'rinishidagi rotor maksimal miqdordan stator tishlari ostida oraliq o'tkazuvchanlik o'zgarishni chaqiradi, qachon minimalgacha rotor tishlari stator tishlari mos kelsa, unda rotor botiqligi (tirqish) stator tishiga mos keladi[5].

Mos ravishda induksiya tor tirqishda $V\delta_{\max}$ maksimaldan minimal $V\delta_{\min}$ miqdorgacha o'zgaradi. Shunday qilib, induktorli mashina bilan o'zgaruvchan tokli elektr mashinani chaqirish mumkin, salt yurish rejimida unda statorning ichki yuzasi bo'ylab har qanday nuqtasida faqat tebranish bo'yicha o'zgaradi, belgi bo'yicha esa o'zgarmaydi.

4.95 a-rasmda yuqori chastotali induktorli generatorning sxemasi ko'rsatilgan. Ayonqutbli generator statori qutbli uchlikda 1 tirqish va tishlarga ega, ularda esa 2 o'zgaruvchan tok cho'lg'ami joylashgan bo'ladi. 3 g'altakli o'yg'otish cho'lg'ami, undan doimiy tok oqib o'tadi. 4 induktorli generatorning rotori salmoqli tishlar miqdori $z_2 = \frac{1}{2} z_1$, bu yerda z_1 - statoridagi tishlar soni.

Rotor aylanganida tor tirqishning o'zkazuvchanligi o'zgaradi va induksiya tor tirqishda trapetseidal qonun bo'yicha o'zgaradi (4.95v-rasm). egri induksiyaning garmonik qator bo'yicha tizib chiqish va 1-chi garmonikani ajratish mumkin. Cho'lg'amdagi o'zgaruvchan tok induksiyaning o'zgarishi hisobiga EYUK hosil qilinadi teng

$$e = \omega_k \frac{d\Phi}{dt} = \omega \omega_k \Phi_1 \sin \omega t. \quad (4.136)$$

Bu yerda: $\Phi_1 = 0.5(\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) \quad (4.137)$

1-chi garmonika amplitudasi (4.95-rasm, v)

O'zgaruvchan tokda cho'lg'amda EYUK ning amaldagi miqdori

$$E = 2.22 \frac{z_2 n}{60} \omega_k z_s (\Phi_{\max} - \Phi_{\min}), \quad (4.138)$$

z_2 -rotordagi tishlar soni; z_s -ketma-ket ulangan g'altaklar soni.

Yuqori chastotali induktorli generatorlar o'nlab kilogersda va yuzlab kilovatt quvvatda bajariladi. Bunday quvvatlar va yuqori chastotalar elektrotermik qurilmalar uchun, radiolokatsiya qurilmalari va yuqori tezlikdagi elektr yuritmalarni quvvatlash uchun talab etiladi. Induktorli generatorlarda magnit oqimi nafaqat tishlarda balki yarmoda ham pulslanadi, uyg'otish oqimi uchun magnit qarshilik rotor aylanganida o'zgaradi. Magnit o'tkazgichda oqimni pulslanishni kamaytirish ikkita stator 1 (4.96-rasm) bajariladi va 2 ikkita magnito'tkazgichli rotor, bir biriga nisbatan shunday aralashganki, mashinaning umumiy magnit qarshiligi rotor aylanganida deyarli o'zgarmaydi, oqim bo'lsa faqatgina tishli zonada pulslanadi. Aksial uyg'otishli induktorli generatorlarda uyg'otish cho'lg'ami 3 oqim hosil qiladi, aksial yo'nalishda tutashuvchi, tishli zonada radial oqim. O'zgaruvchan tok cho'lg'ami 4 tirqishlarda

joylashgan. Induktorda 5 tishlar mavjud, u o'z navbatida mashina oralig'ida induksiyaning pulslanishi hosil qiladi.

Kontaktsiz induktorli mashinalar yuqori chastotali avtonom energetik sistemalarda qo'llaniladi va yuqori aylanish chastotasida tayyorlanadi. Induktorli generatorlar yirik turbogeneratorlar qo'zg'atgichi sifatida foydalaniladi. Uch fazali yuqori chastotali, qo'zg'atgichi valdan turbogeneratorga ulangan va to'g'rilagichda ishlovchi 2700 kVA quvvatli turbogenerator 4.87-rasmda ko'rsatilgan.

Barcha elektr mashinalar kabi induktorli mashinalar qaytuvchandir. Motor rejimida ular sokin yuruvchi yuqori chastotali va odimlovchi motor sifatida qo'llaniladi. Induktorli motor aylanish sinxron chastotasi tarmoq chastotasi va rotordagi tishlar soniga bog'liq z_2 :

$$n = f / z_2 (4/139)$$

rotorda ko'p miqdordagi tishlarda bajarib, $f=50$ va $z_2=50$ bo'lganda masalan aylanish chastotasini 1 ob/s yoki 60 ob/min ni olamiz. Katta diametrli rotor va mayda tishlarni sutka davomida bir aylanish oborotida aylanish chastotasini olish mumkin. Induktorli motor ikki, uch va bir fazada bajariladi. Uyg'otish cho'lg'amida to'g'rilangan kuchlanish uzatiladi yoki 4.88 rasmdagi sxemadan foydalaniladi. Induktorli motorlarda o'zgarmas magnit ham qo'llaniladi

Bir fazali induktorli motorlarda oddiy bir fazali sinxron motorlar uchun ko'rib chiqilgan barcha ishga tushirish usullari qo'llaniladi.

Rossiyada DSR va ORD rusumsidagi induktorli sinxron motorlar 100 vattgacha quvvatda va aylanish chastotasi 1,2 va 60 ob/min uch va bir fazali bajarishda ishlab chiqarilgan.

Odimlovchi dvigatellar. Odimlovchi yoki impulsli dvigatellar impulsli elektr energiyadan oziqlanadi, rotor bo'lsa impulsning qutbli impulsidan soat strelkasi bo'yicha joyi o'zgartiriladi yoki soat strelkasiga qarshi ma'lum burchak qadar o'zgaradi. Odimlovchi dvigatellar odimda kamquvvatli indikatorlidir. Ularning asosiy vazifasi burchak siljishida elektr signallar hosil qilib elektrli impulsni ishlab berishdan iborat.

Odimlovchi motorlarni boshqarish uchun yarimo'tkazgichli elementlarda fazalarga odimlovchi dvigatel cho'lg'ami uzatadi, impulsni hosil qiluvchi kommutatordan foydalaniladi. Fazalar soni to'rt yoki oltiga teng qilib tanalanadi. Dvigatel qadami 180 dan 1^0 gacha bo'lishi mumkin. Maxsus qurilmalarda qadam bir necha minut bo'lishi mumkin.

Odimlovchi dvigatellar har qanday sinxron motorlarda konstruktsiya asosida bajarilgan bo'lishi mumkin. Odimlovchi motorlarning asosiy talabi signallarni aniq ishlatish va impulsning yuqori chastotasi, ko'pincha odimlovchi motor konstruktsiyasi, induktorli va reaktiv sinxron mashinalar bazasida bajariladi.

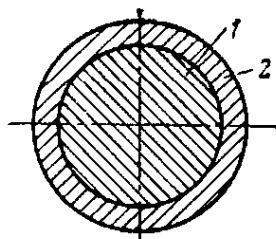
Odimlovchi dvigatellar impuls chastotasi chegarasi bilan tavsiflanadi, chunki motor qadamni o'tkazib yubormasdan ishlov beradi. Odimlovchi motorlarning ishga tushirish hossasi qabul qilishlik chastotasi impulsning maksimal chastotasi bilan tavsiflanadi, Bunda odimlovchi motorlar xiliga qarab va qabul qilishlik chastotasi yuklamasi 10 dan 10^3 Gs tebranadi.

Impulsli quvvatlanishda energiyani o'zgartirishning matematik qayd etish jarayonlari (1.157)-(1.160) tenglama bo'yicha va ularni ko'rinishi o'zgarishida amalga oshiriladi, qachonki kuchlanish shakli impulsiga o'zgarsa.

Gisterezisli dvigatellar. Sinxron motorlarning kamchiligi shundaki ularning yomon ishga tushish xususiyatidir.

Gisterezisli dvigatellar asinxron motorlarning ijobiy sifatlarini va sinxron motorlar – muayyan rejimda yuqori energetik ko'rsatgichlarni o'zida mujassamlashtirgan.

Asinxron va sinxron mashinalarning ijobiy sifatlarini o'zda mujassamlashtirish gisterezisli motorlarda maxsus magnitli materiallarni foydalanish hisobiga erishiladi, boshqasidan motor rotori bajariladi. Vikalli va alni xilidagi po'lat Yuqori chastotalarda o'zlarini xuddi yumshoq magnit sifatida tutadi, rotorning sinxron aylanish chastotasiga yaqinlashishida qachon chastota pasaysa, xuddi qattiq magnitsimondek o'zini tutadi. Shuning uchun rotorda po'lat isrofini yo'l qo'yilganida dovulli tok hisobiga motor asinxron momentni rivojlantiradi. Past chastotalarda rotorda magnitlanish doirasi hosil bo'ladi va rotor sinxron holatga tortadi. Gisterisli motorlarning kamchiligi nominalga yaqin yuklamada, bu magnitlanish doirasi rotor bo'yicha "suzishi" mumkin. Shu bilan mashina sinxronizmdan tushib qoladi[8].



4.97-rasm. Gisterisli dvigatel rotori.

Gisterezisli motorlar o'ngacha vatt quvvatda amalga oshiriladi. Stator konstruksiya oddiy. Rotor disk yoki silindr ko'rinishida bajariladi, yumshoq magnitli materialdan tayyorlangan vtulkadan 1 iborat, vikalla yoki boshqa xususiyatga ega, vikallaga o'xshash magnit materialdan tayyorlangan magnit o'tkazgich 2 (4.97-rasm).

Sinxron motorlar uchib yuradigan to'lqinli rotorda amalga oshiriladi. Sinxron motorlar chiziqli, sigmentli stator bilan,ikki o'lchovli va ko'p o'lchovli bo'lishi mumkin.ularni konstruktiv bajarilishi ko'p bo'lsa-da yangi mashinalar paydo bo'lmoqda. Biroq ularning asosida energiyani elektr mexanik o'zgartirish qonuni yotadi.

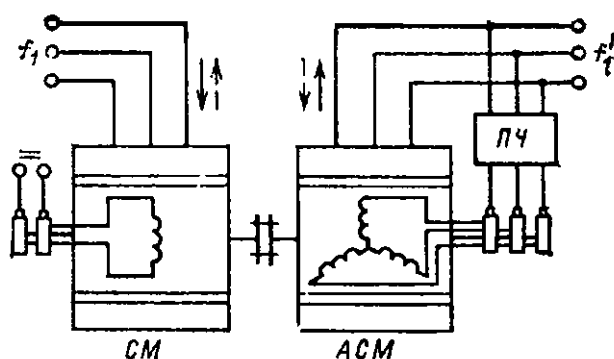
Sinxron mashinaning ikkilangan quvvatlanishi. Agar fazaviy rotor asinxron mashinada stator va rotor cho'lg'omini tarmoqqa shunday ulash lozimki, stator va rotor maydoni qarama-qarshi tomonga aylansin, u holda sinxron aylanish chastotasi yuqori aylanish chastotasini olish mumkin. Rotor va stator maydonining qo'zg'almasligi o'zgaras sharoitda, bunda energiyani elektromexanik o'zgartirish hosil bo'ladi, unda rotor ikki chastotali stator maydoni aylanayotgan tomonga qarab aylana boshlaydi.

Ikkilangan oziqlanishli mashinaning kamchiligi shundaki, rotorni ishga tushirayotgan vaqtda burchakli tezlikni $2\omega_s$ burchakli tezlikkacha olib borish kerak, keyin esa rotorga kuchlantirishni ulash lozim ya'ni mashinani sinxronlashtirish kerak. Agar rotorni chastotani o'zgartirchga ulasak, unda u chiqish qullanishini chastotasi rostdashni amalga oshiradi, unda sinxron aylanish chastotasidan yuqoriga va pastga aylanish chastotasini rostdashga erishish mumkin.

Ikkilangan oziqlanuvchi mashina asinxron mashina konstruksiyaga ega bo'lsada, ammo xuddi sinxron kabi ishlaydi. U uchun vektorli diagramma tuzilishi va o'rin olish sxemasi bo'lishi mumkin bo'lmaydi.

Asinxronlashtirilgan sinxron mashina. Sinxron mashina sinxro-nizmdan tushib qolganida u asinxron rejimga o'tadi va rotor chastotasi $f_2=f_1$ bo'ladi. Agar rotorni chastota o'zgartirgichga ulasak va cho'lg'amda uyg'otishni bo'ylama va ko'ndalang o'q bo'yicha uyg'otishni bajarsak, chastota o'zgartirgichdan cho'lg'amni uyg'otish ikki fazali kuchlanishdan oziqlangan holda mashinani sinxron rejimda ushlab turish mumkin.

Asinxronlashtirilgan sinxron mashina avariya holatlarida turg'unlikni saqlab qoladi va asinxron va sinxron rejimlarda ishlash mumkin bo'ladi.



4.98-rasm. Elektr mexanik ko'rgizma.

Asinxronlashtirilgan sinxron mashinani qo'llashning muhim tomoni shundaki u ikki energosistema aloqasi uchun elektromexanik kirgizma sifatida foydalaniladi, chastota bo'yicha uncha muhim bo'lmagan farq ($f_2 \approx f_1$).

Elektromexanik stavkaning prinsipial sxemasi 4.98 rasmda ko'rsatilgan. SM sinxron mashina chastota bilan tarmoqqa f_1 ulangan, asinxronlashgan sinxron mashina ASM bo'lsa chastota bilan tarmoqqa f_1 ulangan. Asinxronlashgan va sinxron mashinalarning vali muftaga qattiq ulangan va ularning aylanish chastotasi bir xil. CHO' chastota o'zgartirgich asinxronlashtirilgan sinxron mashina uyg'otishni ta'minlab beradi. f_1 tarmoqdan f_1' tarmoqqa energiyani uzatishda sinxron mashina motor rejimida ishlaydi, asinxronlashgan esa generator rejimida. f_1 tarmoqdan f_1' tarmoqqa energiyani uzatishda asinxronlashtirilgan sinxron mashina motor rejimida ishlaydi, asinxronlashgan esa generator rejimida ishlaydi, 4.98-rasmda quvvat yo'nalishi strelkada ko'rsatilgan.

Elektromexanik kirgizma egri yo'nalish shaklini yaxshilaydi, o'tish rejimida tokni irtg'ishlarini silliqilaydi. Elektromexanik kirgizma tarmoqda quvvatli tiristorli

o'zgartirich va boshqa nochiziqli yuklamadan tarmoqda mavjud bo'lgan foydalanishda qachon yuqori garmonik qurish zarur bo'lsa ma'sul iste'molchilarni quvvatlantirish uchun zarur bo'ladi.

Aktiv elektromexanik kirgizmalarni qo'llash qachon sinxron va asinxron mashina bug'li valga yoki gidralik trubinaga ulansa qiziqish kasb etadi. Bunday hollarda ikki mashina ham generator rejimida ishlashi mumkin yoki energiyani bir tarmoqdan boshqasiga uzatish rejimida ishlashish mumkin bunda energosistemada turg'unlikni oshiradi.

Nazorat savollari.

1. Gisterezisli dvigatellarni ishlash prinsipini tushuntiring?
2. Sinxron mashinaning ikkilangan quvvatlanishini tushuntiring?
3. Asinxronlashtirilgan sinxron mashinani ishlash prinsipini tushuntiring?

4.24. Rossiyada ishlab chiqarilgan sinxron mashinalarning turlari

Elektr mashinasozlik qurilishida eng muhim vazifalardan biri shundaki qurilayotgan elektrostansiyalarni turbo va gidrogeneratorlar bilan ta'minlash va qayta ta'mir qilinayotgan stansiyalarda o'z muddatini o'tab bo'lgan mashinani yangi generatorlarga almashtirish hisoblanadi. Elektrostansiyalarda muayyan quvvatning oshishida faqatgina mashina yagona quvvatini oshishida bo'lishi mumkin, shuning uchun ishlab chiqarilayotgan generatorlarning quvvat chegarasi elektr mashinasozlik qurilishida texnik darajaga etganligidan darak beradi.

4.3 jadval. TBB rusum turbogeneratorlarning texnik ma'lumotlari

Turbo generato r tipi	Quvvat, MVt	Kuchlanish, kV	FIK, %	Quvurning ortiqcha bosimi, 10 Pa	Induktiv qarshilik, %				O'lcha m-lar, m		Massa, t
					X_d^n	X_d	X_2	X_o	Uzunlik	Kenglik	

Turbo va gidrogenerator qurilishi sohasida etakchi o'rinlarni egallaydi. Bizning zavodlarda ishlab chiqarilgan turbogenerator va gidrogeneratorlar foydalanishda eng kuchli va ishonchli hisoblanadi.

Stator cho'lg'ami simlarini bevosita suv bilan sovitish va rotor cho'lg'amini vodorod bilan sovutish turbogeneratorlari zavodlarimizda rusumli chiqariladi. 320, 500 va 800 MVt quvvatli mashinalar issiqlik elektr stansiyalarida qo'llaniladigan asosiy mashinalar hisoblanadi.

TBB-320-2 tipidagi ikki qutbli turbogeneratorning umumiy ko'rinishi 4.99 rasmda ko'rsatilgan.

TBB rusum turbogeneratorlarining texnik xarakteristikallari 4.3 jadvalda keltirilgan.

1979-yilda LPEO "Elektr kuchi" da Kostroma GRES ida ishlatilayotgan, 1200 MVt quvvatli turbogenerator chiqarilgan. Bu mashina bazasida 1200 MVt

mashinasida bo'lgan sovitish tizimiga ega 1600 MVt turbogenerator loyihalashtirildi va tayyorlandi.

Yaqin o'n yillikda elektr energiyasini ishlab chiqishning asosiy o'sishi atom stansiyalari quvvati hisobiga bo'lishi kutilmoqda. Mamlakatimizning atom elektr stansiyalarida reaktorlarning ikki tipi qo'llaniladi: suv- energetik reaktor (VVER) va ko'p kanalli bir kontur tipli grafit sekinlashtiruvchiga ega reaktor (RBMK). 1000 MVt quvvatli va 1500 MVt quvvatli RBMK reaktorlarining ikkalasidan ham foydalanilmoqda.

VVER reaktorlar uchun 1000 MVt turbogenerator chiqarilmoqda. RBMK reaktorlar 500 va 800 MVt li ikki va 1600 MVt li bir turbogenerator bilan ishlamoqda.

Atom stansiyalari uchun turbogeneratorlar stator cho'lg'amlarini ichki suv bilan sovitish va rotor cho'lg'amlarining ichki vodorod sovitilishi bilan TBB rusum turbogeneratorlari bazasida ishlab chiqilmoqda. Quvvati 1000 MVt bo'lgan TBB-1000-4 tipdagi atom stansiyalar uchun turbogenerator 1500 ayl/daq aylanish chastotasiga ega. Bug'ning past parametrlari tufayli bug'li turbinani 1500 ayl/daq aylanish chastotasiga bajarish maqsadga muvofiq, shuning uchun turbogenerator to'rt qutbli qilib tayyorlanadi. Turbogenerator 24 kV kuchlanishga moslashgan va 98,8% FIK ga ega, $\cos\varphi = 0.9$, o'tuvchi reaktiv qarshilik $x_d = 0.5$. Rotor massasi 150 t. Turbogeneratorning xizmat ko'rsatish muddati katta va vibratsiya darajasi past.

Atom elektr stansiyalari uchun turbogeneratorlar 1500 va 3000 ayl/daq aylanish chastotasi bilan tayyorlanishi mumkin. Ikki qutbli turbogenerator ancha Yuqori texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega. Quvvati 1000 MVt va aylanish chastotasi 3000 ayl/daq bo'lgan turbogenerator solishtirma material sig'imi 0,5 kg/(kV*A) bo'lganida 98,8% FIK ga ega, aylanish chastotasi 1500 ayl/daq bo'lgan turbogenerator esa – 0,6 kg/(kV*A).

To'liq suvda sovitishning qo'llanilishi turbogenerator qurilishida rivojlanayotgan yo'nalish hisoblanadi: LPEO "Elektr kuch" da stator va rotor oramlarini ichki suvda sovitilishiga ega TBB-800-2 turbogenerator qurilgan. Turbogenerator 24 kV kuchlanishga mo'ljallangan va $\cos\varphi = 0.9$, FIK 98,8% ga teng.

Materiallarning solishtirma sarfi 0,56 kg/(kVxA). Bunday turbogeneratorlarning ikkitasi Ryazan GRES ida muvaffaqiyatli ishlamoqda. Bu mashina bazasida 1000 MVt quvvatli turbogenerator yaratilmoqda.

Turbogeneratorlarning quvvatini 2000 – 2500 MVt gacha oshirish muammosi yuqori o'tkazuvchilardan foydalanishda echilishi mumkin. 1982-yilda VNII elektromashda quvvati 20 MVA va aylanish chastotasi 3000 ayl/daq bo'lgan krioturbogenerator ishlab chiqilgan va sinalgan. Bu mashina sinovlarining natijasini hisobga olgan holda 300 MVt quvvatli krioturbogenerator yaratilmoqda.

Sobiq ittifoq davrida gidrogeneratorlarning rivojlanishi agregatlarning yagona quvvatini oshirish, ishonchlilikni oshirish, tuzilish va tayyorlash texnologiyasini mukammallashtirish yo'lidan bormoqda.

Faol qismlarni sovutish intensivlikatsiyasi – gidrogeneratorlarning mukammallashtirishini ta'minlovchi asosiy omillardan biri.

Stator cho'lg'omini bevosita suvda sovutilishi va rotor cho'lg'omining forslangan sovutilishi birinchi marta dunyo amaliyotida 1961-yilda Volj GES i uchun 160 MVt generatorida qo'llanilgan. Natijada bu generatoridan foydalanish amaliyoti asosida quvvati 500 MVt bo'lgan Krasnoyarsk GES i uchun va quvvati 640 MVt bo'lgan Sayano-Shushensk GES lari uchun dunyodagi eng yirik gidrogeneratorlar qurildi.

4.4-jadvalda so'ngi 20-yilda qurilgan eng yirik gidrogeneratorlarning ma'lumotlari keltirilgan.

Rotor cho'lg'omining suvda sovutilishi birinchi marta Voljskiy GES ida o'rnatilgan tajribaviy gidrogeneratorida qo'llanilgan. Keyinchalik sovitishning bu usuli Sheksinskiy GES uchun kapsula gidrogeneratorida va Ingursk kaskadi gidrostansiyasi uchun gidrogeneratorlarda qo'llanilgan.

Qutb Yurakchalarining suvda sovutilishi Saratov GES ining tajribaviy kapsula gidrogeneratorlarida va 1975-yilda "Djeniper" (Kanada) va 1981-yilda "Djerdap-Temir darvoza II" (Yugoslaviya, Ruminiya) GES lari uchun tayyorlangan generatorlarda qo'llanilgan.

4.4. jadval. Eng yirik gidrogeneratorlarning texnik ma'lumotlar

GES nomi, mamlakat	Quvvati, MVt	Aylanish chastotasi, ayl/daq	Kuchlanish, kV	FIK, %	$\cos \varphi$	Massa, t	Ishga tushirilgan yili
Krasnoyarsk (Sobiq ittifoq davrida)							
Sayano-shushenskiy (sobiq ittifoq davrida)							
Grand Kuli (AQSH)							
Utaypu (Braziliya)							

4.5 jadvalda eng yirik kapsulali gidrogeneratorlarning ma'lumotlari keltirilgan.

Stator yurakchasi qattiqligi muammosi statorni o'rnatish joyida ulanishlarsiz halqaga yig'ish, shuningdek segmentlarni shixtlashning maxsus usuli har bir qatlamda ulanishlarning veersimon joylashuvi yo'li bilan echiladi. Stator cho'lg'amlari uchun termoreaktiv ulovchilardagi izolyatsiyadan foydalaniladi. Sayano-Shushenskiy GES da o'rnatilgan gidrogeneratorlarning tors hududida yo'qotishlar qutblarning nomagnit qisqichli sheklarini va maxsus shaklga ega tishlarning qo'llanilishi hisobiga kamaytirilgan. Qoidaga ko'ra, hozirgi vaqtda valsiz tuzilishga ega rotorli zontli bajarilgan gidrogeneratorlar kaskadlari qo'llanilmoqda.

Sobiq ittifoq davrida gidrogeneratorlar uchun eng kuchli asoslar ishlab chiqilgan va singdirilgan – $3,5 \cdot 10^7$ N yuklanishga. Asoslar eksentrisitning boshqarilishi va generator ishga tushirilganda va to'xtatilganida bosim ostidagi

moyning berilishiga yo'l qo'yadi. Yangi asosli gidrogeneratorlar generatorlarning sutka davomida ishga tushirilishi va to'xtatilishiga yo'l qo'yadi.

LPEO "Elektr kuchi" da to'liq suvda sovitiladigan kapsulali gidrogeneratorlar rusumi ishlab chiqarilmoqda. Qator generatorlarda qo'zg'atishning tiristor tizimlari singdirilgan. 1000 MVt quvvatli gidrogeneratorlarni yaratish bo'yicha ishlar olib borilmoqda.

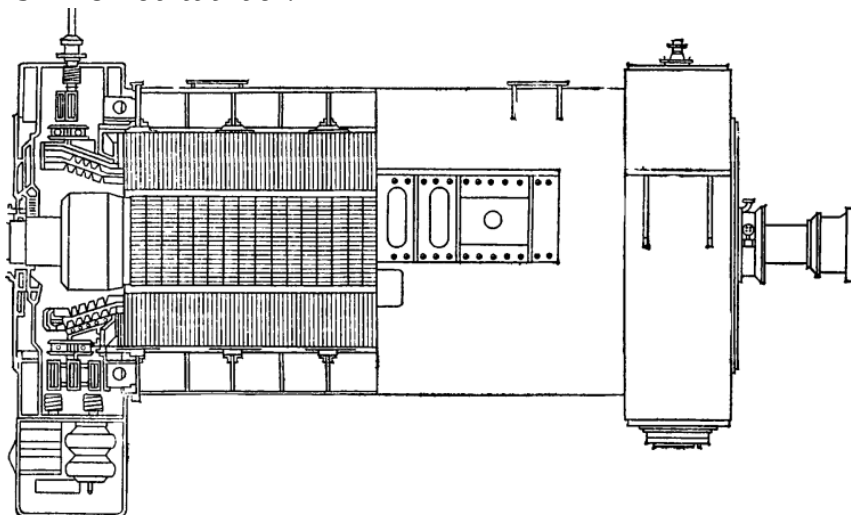
Umumiy vazifadagi sinxron generatorlardan avtonom energetik sharoitlarda foydalaniladi. Ular dizel yoki ichki yonish motorlari bilan birga ishlaydi.

ECC, SGD, STN rusum generatorlari himoyalangan yoki ochiq tayyorlangan rotorda ifodalangan qutblarga ega gorizontaal ko'rinishda ishlab chiqarilmoqda. Qo'zg'atuvchi generator valiga tegadi yoki ilmoq tasmali uzatmaga ega. Sinxron generator SGD ning umumiy ko'rinishi 4.100 rasmda ko'rsatilgan.

50 Gs chastota, $\cos \varphi = 0,8$ bo'lgan ECC, SGD, STN rusumli generatorlarning texnik ma'lumotlari 4.6-jadvalda keltirilgan. Misol uchun eng kichik, o'rta va eng katta quvvatli generatorlar olingan. ECC rusum generatorlari kuchlanishni boshqarishning avtomat tizimiga ega. Boshqaruv bloki generator korpusiga o'rnatiladi.

Energotizimlarning ishonchli ishini ta'minlash uchun stansiyalarda nafaqat generator quvvatining zahirasiga, balki energotizimda reaktiv quvvatning turg'unlashgan miqdoriga ega bo'lish zarur.

Reaktiv quvvatning ortiqchasini generatsiyalash va iste'mol qilish uchun sinxron to'ldiruvchilar qo'llaniladi. sinxron to'ldiruvchilar yopiq, havoli yoki vodorod sovitishli sinxron generatorlar asosida bajariladi va yopiq binolarda ishlashga mo'ljallanadi. Pasaygan kuchlanishda (40–50% gacha) to'ldiruvchilarning asinxron yoqilishi ko'zda tutiladi.



4.98b-rasm.

4.5 jadval. Eng yirik kapsulali gidrogeneratorlarning texnik ma'lumotlari

GES nomi, mamlakat	Quvvati, MV*A	Aylanish chastotasi, ayl/daq	Kuchlanish, kV	FIK, %	$\cos \varphi$	Massa, t	Ishga tushirilgan yili
Krasnoyarsk (sobiq ittifoq davrida)							

“Djennper” (Kanada)							
“Djyerdap – Temir darvoza II” (Ruminiya, YUgoslaviya)							

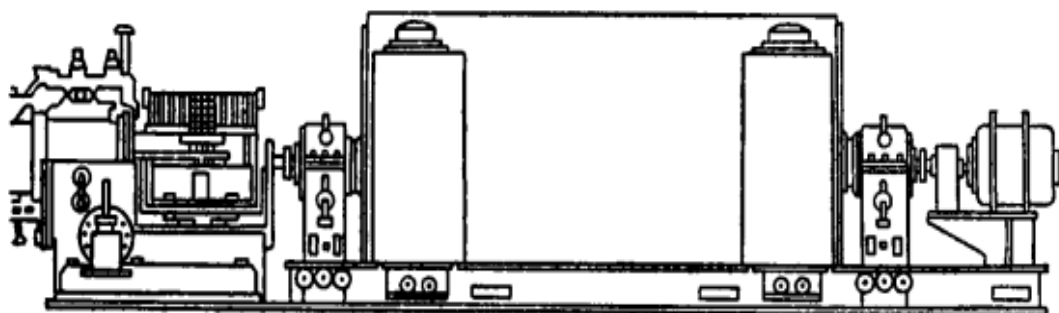
4.6 jadval. Umumiy vazifadagi generatorlarning texnik ma’lumotlari

Nominal quvvati, kV*A	Aylanish chastotasi, ayl/daq	Nominal kuchlanish, kV	FIK, %	O’lchamlari, m		Massa, t
				Uzunlik	Kenglik	

4.7-jadvalda KP (havoli) va KSV (vodorodli) sovitiladigan rusum sinxron to’ldiruvchilarining texnik ma’lumotlari keltirilgan. To’ldiruvchilar maksimal quvvatga qo’zg’alganda chiqadi (oldinlovchi $\cos\varphi$ bilan ishlaganda).

4.7 jadval. KS va KSV rusum to’ldiruvchilarining texnik ma’lumotlari

To’ldiruvchi tipi	Quvvat, MVt	Kuchlanish, kV	Aylanish chastotasi, ayl/daq	Yo’qotishlar, kVt	Induktiv qarshilik, %				O’lchamlar , m		Massa, t
					X_d^n	X_d	X_2	X_0	Uzunlik	Kenglik	



4.99- rasm. TBB-320-2 tip turbogeneratori/

Umumiy vazifadagi katta quvvatli sinxron motorlar bir nechta rusumlarda chiqariladi va nasos uzatmalari, ventilyator va doimiy tok generatorlarida qo’llaniladi.

SD va SDN rusum sinxron motorlari himoyalangan yoki ochiq o’zini ventilyatsiyalash bilan ochiq qutbli, gorizontaal, ikki shitli yoki ikki turuvchi podshipniklar bilan tayyorlanadi. Qo’zg’atuvchi motor vali bilan ilmoq tasmasi bilan yoki bevosita ulangan. Oldinlovchi $\cos\varphi$ bilan ishlashda SD va SDN rusummotorlarining texnik xarakteristikallari 4.8-jadvalda keltirilgan.

Mamlakatning yoqilg’i-energetik kompleksi uchun quvvati 630 dan 12 500 kVt gacha va aylanish chastotasi 3000 ayl/daq bo’lgan STD va STDP rusum sinxron motorlari chiqariladi. Bu motorlar elektr uzatmasi bilan nasoslarida va gaz

kompressor, neft va gaz quvurlari, kimyoviy zavodlarda va sanoatning boshqa sohalarida qo'llaniladi.

4.8-jadval. SD va SDN rusum sinxron motorlarining texnik ma'lumotlari

Quvvati, kV*A	Aylanish chastotasi, ayl/daq	Kuchlanish, kV	FIK, %	Yoqish toki karraliligi	Yoqish momenti karraliligi	O'lchamlari, m		Massa, t
						Uzunlik	Kenglik	

Eslatma. Barcha motorlar uchun maksimal moment karraliligi.

$$\frac{M_{max}}{M_{nom}} = 1.8 \div 2.$$

Motorlar tiristr va shitsiz qo'zg'atuvchilarning tez ishlovchi tizimiga ega. Motor kuchlanishlari 6 va 10 kV.

4.9-jadvalda STD rusum motorlarining texnik ma'lumotlari keltirilgan. Rusumda hammasi bo'lib 16 motor, ular turli modifikatsiyalarga ega ikki kuchlanishda bajarilgan.

4.9-jadval. Umum sanoatda foydalaniladigan STD motorlarning texnik ma'lumotlari

Motor tipi	Quvvat		FIK, % ...bo'lganida		O'lchamlari, m	
	kVt	kVt*A	6 kV	10 kV	Uzunlik	Kenglik

Eslatma. Motor massasi ventilyatsiyasining yopiq sikli uchun va qo'zg'atuvchi massasini hisobga olmay ko'rsatilgan.

4.10-jadval. DS rusum mikromotorlarning texnik ma'lumotlari

Motor tipi	Quvvat, Vt	Fazalar soni	Kuchlanish, V	Aylanish chastotasi, ayl/daq	FIK, %	$\cos \varphi$	$\frac{Mn}{Mnom}$	$\frac{Myuq}{Mnom}$	Massa , kg

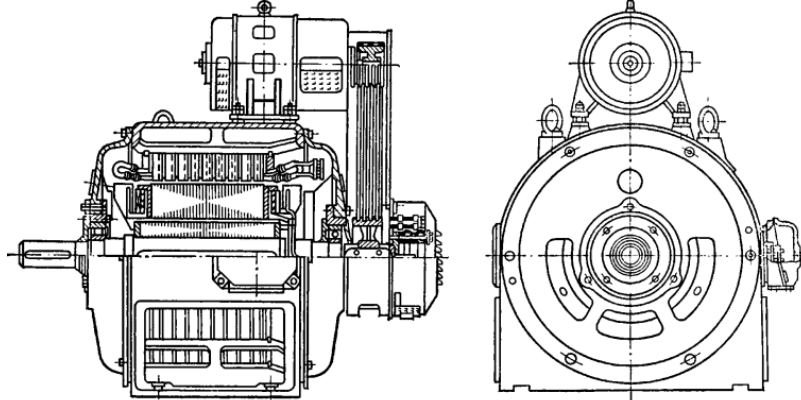
Portlashga xavfsiz bajarilgan STD va STDP rusum turbomotorlari 1250 – 12500 kVt quvvatda, 6 va 10 kV kuchlanishda chiqariladi; eng katta motorning FIK i 97,8%, massasi 29,5 t.

4.11 jadval. G va GT rusum gisterezis motorlarning texnik ma'lumotlari

Motor tipi	Quvvat, Vt	Fazalar soni	CHastota, Gs	Kuchlanish, V	Aylanish chastotasi ayl/daq	Massa, kg

Metallurgik zavodlarning domen pechlari va konvertorlarining kuchli havo oqimli uzatmasi uchun 0,6 dan 1,2 nominalgacha boshqariladigan aylanish

chastotasiga ega 20, 40, 63 MVt va undan ortiq quvvatli TDS rusum turboelektromotorlari yaratiladi. Quvvati 20 va 31,5 MVt, kuchlanishi 10 kV bo'lgan TDS rusummotorlari 98% ga teng FIK, 57 va 83 t massaga ega.



4.100-rasm. SGD sinxron generator.

Sinxron mikromotorlar rotor tuzilishiga qarab doimiy magnitlar bilan chiqariladi. Doimiy magnitli sinxron motorlar rotorda yoqiladigan qisqa yopiq cho'lg'am va doimiy magnitga ega. 4.10-jadvalda 50 Gs chastotadagi DS rusum doimiy magnitli sinxron motorlarning ba'zi texnik ma'lumotlari keltirilgan.

Gisterezistor motorlar uch va bir fazali qilib 50 va 400 Gs chastota rusumsida chiqariladi. 4.11-jadvalda G va GT (issiqlikka chidamli) rusumning alohida gisterezistor motorlarning ba'zi ma'lumotlari keltirilgan.

Shuningdek aylanish chastotasining elektromagnit reduksiya shovqinsiz motorlar va reaktiv-gisterezistor motorlar chiqarilmoqda.

IV-BOB XULOSASI

Bu bobda talabalar sinxron mashinalar bilan tanishib chiqadilar. Sinxron mashinalar elektr generatorlari, dvigetellari va reaktiv quvvat kompensatorlari sifatida ishlatiladi. Barcha elektr mashinalari kabi ular ham qaytuvchanlik husuiyatlariga ega. Sinxron mashinalar, asosan, barcha elektr stansiyalarida quvvati 800 kVa (kilovatt) va undan ortiq bo'lgan generatorlar o'rnatilgan. Gidravlik elektr stansiyalaridagi generatorlarning quvvati birmuncha kam bo'lib, 500 — 600 kVA ni tashkil etadi. Atom elektr stansiyalarida esa bitta blokning quvvati 1.5 ming MVA(Megavoltamper — transformator elektr toki kuch birligi)ga yetadi.

Mashina o'qiga mahkamlangan kontakt halqalariga rotor cho'lg'aminin ikki uchi mahkamlangan bo'lib, halqalar sirtida qo'zg'almas to'k o'lchovi cho'tkalar sirpanadi. Rotor uchun doimiy tok manbai sifatida quvvati uncha katta bo'lmagan o'zgarmas tok generatori — uyg'otgich ishlatiladi. Odatda, uyg'otgichning quvvati sinxron mashina quvvatining(1-3)% ini tashkil etadi. Ayrim hollarda sinxron generator hosil qilgan tokni to'g'irlash yo'li bilan doimiy to'k hosil qilinadi. Shu sababli sinxron mashinalarni o'rganib chiqish zarur sanaladi.

V- BOB.

O'ZGARMAS TOK MASHINALARI.

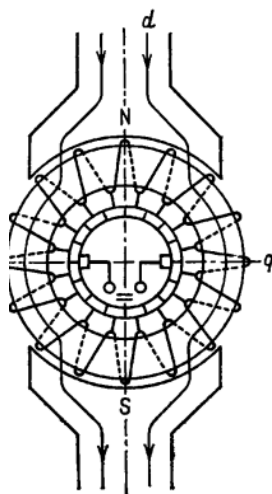
5.1. O'zgarmas tok mashinalarida energiyani o'zgartirish jarayonlari.

Iste'mol qilish turi bo'yicha elektr mashinalari o'zgaruvchan va doimiy tok mashinalariga bo'linadi. O'zgarmas tok mashinalari doimiy tok tarmog'iga ulanadi. Avtonom tizimlarda doimiy tok mashinalari generator rejimida doimiy tok manbalari hisoblanadi, motor rejimida esa doimiy tok manбайдan energiya iste'mol qiladi[8].

Umumlashtirilgan elektr mashinasi modelidan (1.28 rasmga qarang) doimiy tok mashinasini agar ikki fazali cho'lg'amga ega yakorni chastota o'zgartirgich orqali ulansa, qo'zg'atuvchi cho'lg'amingi esa bevosita doimiy tok tarmog'iga ulab olish mumkin (1.31 rasmga qarang). Barcha elektr mashinalarida bo'lgani kabi, o'zgarmas tok mashinalarida yakor va stator maydonlari (qo'zg'algandan so'ng) bir-biriga nisbatan qo'zg'almas.

O'zgarmas tok mashinalarida doimiy tokni ko'p fazali o'zgaruvchan tokka o'zgartirilishi chastotaning mexanik o'zgartirilishi kollektor bilan amalga oshiriladi. O'zgarmas tok mashinalariga aynan doimiy tok kollektor mashinalari kiradi. Chastotaning o'zgarishi yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlar bilan amalga oshiriladigan mashinalarni ventilli mashinalar yoki yarim o'tkazgich kommutatorli mashinalar deb atashadi; ular yana qator nomlarga ega.

O'zgarmas tok mashinalarida energiyaning o'zgarish jarayonini ko'rib chiqishni torodial grammovskiy cho'lg'ami sxemasidan boshlaymiz (5.1 rasm). Bu mashinada yakor cho'lg'amingi har bir tarmog'i kollektor plastinasiga ulangan. Kollektor plastinalar yakor cho'lg'amlari tarmog'ining ketma-ket ulanishini amalga oshiradi.



5.1-rasm. Yakorning toroidal cho'lg'amiga ega doimiy tok mashinasi.

O'zgarmas tok mashinasida yakor cho'lg'ami bo'lmalarining soni kollektor plastinalar soniga teng. Bo'lma ketma-ket ulangan bir yoki bir nechta tarmoqlardan tashkil topgan.

Kollektor plastinalari bir-biridan izolyatsiyalangan va mashina aylanganida cho'tkalar sirg'aladigan silindrni hosil qiladi. Qo'zg'almas cho'tkalarga doimiy kuchlanish ulanadi. Kollektor plastinasidan cho'tka va silindr kollektor-cho'tka tugunini hosil qiladi. Cho'lg'am bo'lmalari mashinaning ishonchli ishini ta'minlash

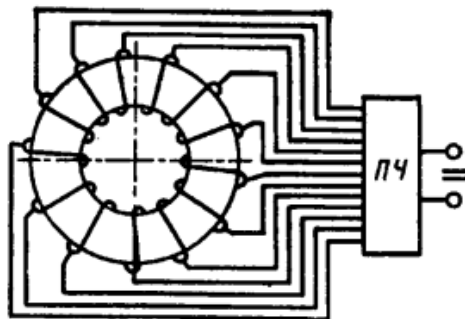
uchun kollektor plastinalarga chiqariladi. Cho'tkalar bevosita chulg'am simlari bo'yicha sirg'alishi mumkin. Bir-biridan izolyatsiyalangan kollektor plastinasidan tuzilgan silindrsiz, o'tgan asrning oxirida birinchi mashinalar ishlab chiqarilgan. Odatda, kollektor haqida gap ketganida, shuningdek qoniqarli kommutatsiya uchun zarur mexanik va elektr xossalarni ta'minlovchi tugunlarni ham nazarda tutishadi.

Kollektorda cho'tkalar soni mashina qutblari soniga teng. Mashinani faqat shimoliy yoki janubiy qutbli qilish mumkin bo'lmaganidek, faqat bir musbat yoki manfiy cho'tkaga ega bo'lish ham mumkin emas.

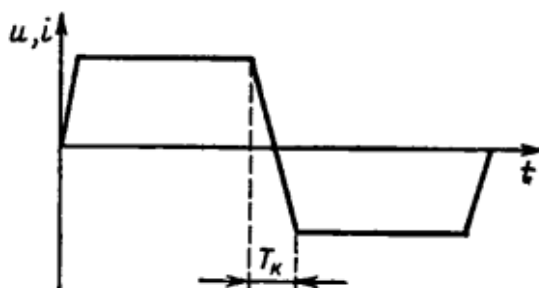
Mashina yakorining cho'lg'amida tok ikki parallel tarmoqqa bo'linadi, a cho'lg'am parallel tarmoqlarining soni r qutb juftliklari soniga teng. Cho'lg'am parallel tarmoqlarining soni $2a = 2r$ (1.67-rasmga qarang).

Mashina yakori aylanganida cho'lg'am bo'lmalari (tarmoqlari) bir parallel tarmoqdan boshqasiga o'tadi. Bunda ularda tok yo'nalishi o'zgaradi. Bo'lmaning bir parallel tarmoqdan boshqasiga o'tishi kommutatsiya deb taladi. Kommutatsiyada kommutatsiyalanadigan bo'lmalardagi tok o'zgaradi, parallel yakordagi tok va yakor toklari bilan yaratiladigan yakor maydonlari deyarli o'zgarmaydi. Parallel tarmoqlarda tok pulsatsiyasining tebranishi ketma-ket ulangan va yakor cho'lg'amlari parallel tarmoqlarini, va kommutatsiyada bo'lgan bo'lmalar sonini tashkil qiluvchi yakor cho'lg'amlari bo'lmasiga bog'liq.

Doimiy tok prinsipial sxemasining o'rnini egallovchi yarim o'tkazgichli kommutatsiyaga ega ekvivalent sxema (5.1-rasm) 5.2-rasmda ko'rsatilgan mashina sxemasi hisoblanadi. Bu sxemada yakor cho'lg'amlari bo'lmasi doimiy tokni ko'p fazali o'zgaruvchan tokka o'zgartiruvchi PCH chastota o'zgartiruvchisiga ulangan.



5.2 -rasm. Yarim o'tkazgichli kommutatorga ega o'zgaras tok mashinalari.



5.3- rasm. Yakor cho'lg'amlari bo'lmasida tok va kuchlanishning o'zgarishi.

5.2-rasmdan o'zgaras tok mashinasida fazalar soni m yakor cho'lg'amlari bo'lmalari soniga teng deb hisoblash mumkin. 5.2-rasmda keltirilgan doimiy tok mashinasi cho'lg'amidan ko'rinib turibdiki, faza – bu ko'p fazali tizimlarda

kuchlanishlar o'rtasidagi burchak yoki qo'shni bo'lmalar o'rtasidagi burchak. Doimiy tok mashinasi yakor cho'lg'amida kuchlanish tarmoqlarining maksimal soni cho'lg'am bo'lmalari soni yoki kollektor plastinalari soni (5.1-rasm) bilan aniqlanadi.

O'zgaruvchan tok mashinalaridagi kabi, yakor cho'lg'ami bo'lmalarida tok chastotasi qutblar jufti soni va aylanish chastotasi $f = rn/60$ bilan aniqlanadi.

Agar ko'p fazali o'zgaruvchan tok mashinasida fazadagi tok, qoidaga ko'ra, sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarsa, doimiy tok mashinasida bo'lmada (faza) tok va kuchlanishning o'zgarishi to'g'ri to'rtburchakka yaqin (5.3 rasm). kommutatsiya vaqti T_k milli va mikrosoniyani tashkil etadi, yakor bir aylanishni esa soniyaning bir hissasida amalga oshiradi, shuning uchun bo'lmalarda kuchlanish chastotasi o'n yoki yuz gers. Doimiy tok mashinasining fazasida kuchlanishning trapetsiya egri chizig'ini garmonik qatorga qo'yish va 1-garmonikani ajratish mumkin.

Yakorning ko'p fazali cho'lg'amida o'zgaruvchan toklar qo'zg'atish cho'lg'amiga nisbatan qo'zg'almas aylanuvchi maydon yaratadi, chunki yakor maydonining yakorga nisbatan aylanish chastotasi yakor aylanish chastotasiga teng ($\omega_c = \omega_p$). Doimiy tok mashinasi yakorining ko'p fazali cho'lg'ami ikki fazalikka o'tkazilishi mumkin.

Qoidaga ko'ra, doimiy tok mashinalaridagi cho'tkalar geometrik neytralda o'rnatiladi qutblar o'qiga perpendikulyar chiziq (5.1-rasmga qarang), shuning uchun yakor maydoni qo'zg'alish maydoni kuch chiziqlariga perpendikulyar. Birinchi yaqinlashuvda doimiy tok mashinalarida yuklanishda ko'ndalang bo'ylama magnitlanish o'ringa ega va yakor maydoni qo'zg'alish maydoniga ta'sir qilmaydi deb hisoblash mumkin, ya'ni doimiy tok mashinasida maydon yuklanishda buziladi, oqim esa yakordagi tok nolga teng bo'lgan holatdagidek, erkin yurishda o'zgarmas qoladi. Doimiy tok mashinalarida energiyani o'zgartirish jarayoni toza faol yuklanishda sinxron mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayoniga yaqin.

Barcha elektr mashinalari kabi, doimiy tok mashinalari qayta tiklanadigan, ya'ni ular generator va motor rejimida ishlay oladi.

Doimiy tok motorlari ko'pgina mexanizmlarning talablariga javob beruvchi yuqori elektr ko'rsatkichlar va mexanik xarakteristikalarda aylanish chastotasini boshqarishning katta chegaralarini ta'minlaydi. Doimiy tok motorlaridan transport (elektrovoz, teplovoz, tramvay, trolleybus, motor-g'ildirak), stanoklar, kranlar, kemasozlik uskunalari va boshqalarda foydalaniladi. Doimiy tok motorlari shuningdek aviatsiya, avtomobil, traktor va kosmik texnikada keng qo'llaniladi. ular akkumulyator batareyasi va quyosh elementlaridan ta'minot olishi mumkin. Ko'pgina avtonom energetik tizimlar doimiy tok tizimlari va doimiy tok motorlari ularda ko'proq qo'llanilmoqda.

Doimiy tok generatorlari elektroliz va galvanik o'rnatmalarni ta'minlash va sinxron mashinalarning qo'zg'atish cho'lg'amlarini ta'minlash uchun qo'llaniladi. Ko'pgina avtonom uskunalarda doimiy tok generatorlari kemalar, teplovozlar va boshqa ko'chma uskunalarining elektr harakatini ta'minlash uchun zarur quvvatning katta qismini ishlab chiqaradi.

Payvandlash, poezdlarni yoritish, ekskavator uzatmalari, kuchli impuls olish va boshqalar uchun zarur maxsus xarakteristikalariga ega generatorlar keng tarqalgan.

Doimiy kuchlanishni to'g'irlagichlarda ishlaydigan sinxron generatordan foydalanib olish mumkin. Bunday tizimlar kollektorga ega emas va avtonom energotizimlarda keng qo'llaniladi.

Doimiy tok mashinalarining kamchiligi ularning nisbatan qimmat narxi, shuningdek cho'tka va kollektor ko'rinishidagi sirg'aluvchi kontakt borligi hisoblanadi. Chastotaning mexanik o'zgartirgichi kollektor mashinaga ichki o'rnatilgan va u bilan bir butunni tashkil qiladi. Ichki o'rnatilgan chastota o'zgartirgichning borligi doimiy tok mashinasining asinxron va sinxron mashinalar bilan taqqoslaganda baland narxini aniqlaydi.

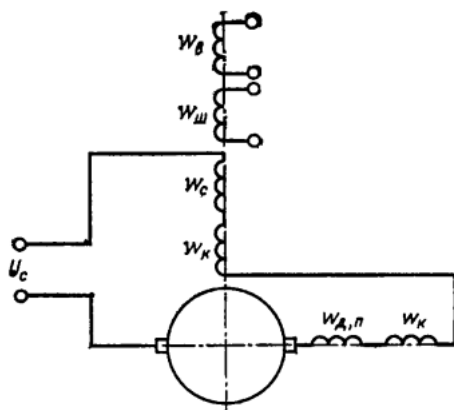
Yarim o'tkazgichli qurilmalarda chastota o'zgartirgichni yaratishga yo'naltirilgan katta jamoalarning urinishlariga qaramasdan, bunday o'zgartirgichli va asinxron yoki sinxron motorli elektr uzatmalar doimiy tok motorlari elektr uzatmalariga qaraganda 1,5 – 2,5 marta og'irroq va qimmatroq. Mashinasozlik tarixida doimiy tok mashinalari o'z o'rnini o'zgaruvchan tok mashinalariga bo'shatishi kerak deb hisoblangan bir nechta davrlar bo'lgan. Lekin bu sodir bo'lmadi, doimiy tok mashinalarining chiqarilishi o'zgarmas oshib bormoqda va ular qo'llaniladigan ko'p sohalar ochilmoqda. Doimiy tok mashinalari kelajakda keng qo'llaniladi va ularning nazariyasi va qo'llanilish amaliyotini o'rganish muhim ahamiyatga ega.

Nazorat savollari.

1. Yakorning toroidal cho'lg'amiga ega doimiy tok mashinasi sxemasini tushuntiring?
2. Yarim o'tkazgichli kommutatorga ega o'zgarmas tok mashinalari qanday ishlaydi?
3. Yakor cho'lg'amlari bo'lmasida tok va kuchlanishning o'zgarishini tavsiflang?

5.2. O'zgarmas tok mashinalarining tenglamasi.

O'zgarmas tok mashinalari ko'p cho'lg'amli elektr mashinalar. Mashina statorida qo'zg'atishning bir nechta cho'lg'amlari bajarilishi mumkin: mustaqil qo'zg'alish cho'lg'ami ω_B , ketma-ket ω_c yoki parallel qo'zg'alish ω_{sh} cho'lg'ami, to'ldiruvchi cho'lg'am ω_k , qo'shimcha qutblar cho'lg'ami $\omega_{d,p}$ (5.4-rasm). Garchi yakorda bir cho'lg'am joylashsada, ba'zan uyurma toklarni hisobga olish lozim. O'tish jarayonlarida stator magnit uzatmasining po'lat qismlarida konturlarni hisobga olish zarur.



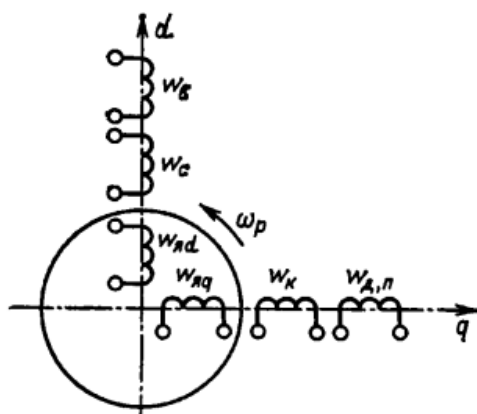
5.4-rasm. O'zgaras tok mashinasining sxemasi.

O'zgaras tok mashinasining sodda sxemasi 5.5-rasmda ko'rsatilgan. Yakorning ko'p fazali cho'lg'ami ikki fazaliga o'tkazilgan va ω_{yad} va ω_{yaq} bilan belgilangan. Sinxron kabi, doimiy tok mashinalarini d, q koordinatalarda o'rganish kerak. Sxemasi 5.5-rasmda keltirilgan mashina uchun quyidagi differensial tenglamalar yozilishi mumkin:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_B = \frac{d\Psi_B}{dt} + i_B r_B; \\ u_C = \frac{d\Psi_C}{dt} + i_{ya} r_C; \\ u_{D,P} = \frac{d\Psi_{dip}}{dt} + i_{ya} r_{d,p}; \\ u_K = \frac{d\Psi_K}{dt} + i_{ya} r_K; \\ u_{YA} = \frac{d\Psi_{ya}}{dt} + i_{ya} r_{ya} + e; \end{array} \right. \quad (5.1)$$

Bu yerda: $u_B, u_C, u_{d,p}, u_K, u_{ya}$ – mos ravishda mustaqil qo'zg'alish, ketma-ket qo'zg'alish, qo'shimcha qutblar, to'ldiruvchi cho'lg'am va yakor cho'lg'aming kuchlanishlari; i_B, i_{ya} – mustaqil qo'zg'alish cho'lg'ami va yakordagi toklar (yakor bilan ketma-ket ulangan $\omega_C, \omega_{d,p}, \omega_K$ cho'lg'amalrda yakor toki o'tadi), bunda ω_{yad} va ω_{yaq} cho'lg'amlardagi toklar bir xil, i_{ya} ga teng; $r_B, r_C, r_{d,p}, r_K, r_{ya}$ – mustaqil qo'zg'alish, ketma-ket qo'zg'alish, qo'shimcha qutblar, to'ldiruvchi cho'lg'am va yakor cho'lg'aming faol qarshiliklari; e – aylanish EYUK:

$$e = c\omega_p\phi; \quad (5.2)$$



5.5 -rasm. Doimiy tok mashinasining matematik modeli.

Bu yerda: c – mashina tuzilishiga bog'liq koeffitsienti; F – oraliqda magnit oqimi; ω_p – yakorning aylanish chastotasi. Cho'tkalar ostida kuchlanishning tushishi aylanish EYUK da hisobga olinadi; $\Psi_B, \Psi_C, \Psi_{d,p}, \Psi_k$ va Ψ_{ya} - mustaqil, ketma-ket qo'zg'alish cho'lg'amlari, qo'shimcha qutblar, to'ldiruvchi cho'lg'am va yakor cho'lg'aming uzatma oqimi;

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Psi_B}{dt} = \frac{L_H di_B}{dt} + \frac{M_{B,C} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{B,ya} di_{ya}}{dt}; \\ \frac{d\Psi_C}{dt} = \frac{L_C di_{ya}}{dt} + \frac{M_{C,B} di_B}{dt} + \frac{M_{C,ya} di_{ya}}{dt} \\ \frac{d\Psi_{d,p}}{dt} = \frac{L_{d,p} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{D,P,K} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{D,P,ya} di_{ya}}{dt} \\ \frac{d\Psi_k}{dt} = \frac{L_k di_{ya}}{dt} + \frac{M_{K,ya} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{k,ya} di_{ya}}{dt} \\ \frac{d\Psi_{ya,d}}{dt} = \frac{L_{n,d} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{ya,c} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{ya,B} di_B}{dt} \\ \frac{d\Psi_{ya,q}}{dt} = \frac{L_{ya,q} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{ya,k} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{ya,d,p} di_{ya}}{dt}, \end{array} \right. \quad (5.3)$$

Bu yerda: $L_H, L_C, L_{d,p}, L_k, L_{yad}$ va L_{yaq} – cho'lg'amlarning bo'sh induktivligi; $M_{B,C}, M_{B,ya}, M_{C,B}, M_{C,ya}, M_{D,P,K}, M_{D,P,ya}, M_{K,ya}, M_{ya,c}, M_{ya,B}, M_{ya,k}, M_{ya,d,p}$ – cho'lg'amlar o'rtasidagi o'zaro induktivliklar. Cho'lg'amlar indeksini o'zaro induktivliklar xarakterlaydi. Masalan, $M_{C,ya}$ – series cho'lg'ami va yakor cho'lg'ami o'rtasidagi o'zaro induktivlik va hokazo.

O'zgarmas tok mashinasining yakor cho'lg'ami geometrik neytralda joylashgan cho'tkalarning bir juftiga ega. Cho'tkalarda kuchlanishni aniqlash uchun bo'ylama o'q bo'yicha uzatma oqimini bilish yetarli. (5.1) da u_{ya} ni aniqlash uchun mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yakor cho'lg'ami uzatma oqimidan foydalaniladi. (5.3) da mashinaning ko'ndalang va bo'ylama o'qlari bo'yicha yakor cho'lg'ami uzatma oqimi yozilgan. Bunda yakor tokining mashinaning ko'ndalang va bo'ylama o'qlari bo'yicha mashina maydoniga ta'siri hisobga olinadi.

(5.1) ga uzatma oqim qiymatini qo'yib, doimiy tok mashinasining kuchlanishlar tenglamasini olamiz. Elektromagnit moment tenglamasi mashinaning ko'ndalang va

bo'ylama o'qlari bo'yicha barcha ko'paytmalarini o'z ichiga oladi. Kuchlanishlar tenglamasi tizimi va harakat tenglamasi, elektr mashinalarning boshqa tiplari kabi energiyani o'tish va o'rnatilgan rejimlarda o'zgarish jarayonlarini ta'riflaydi. Lekin bu tenglamalar nochiq koeffitsientlarsiz qo'pol va doimiy tok mashinalarini o'rganishda kam qo'llaniladi.

Energiyaning o'zgarish jarayonlarini tahlil qilish uchun o'zgarmas tok mashinalarini o'rganishda statorda qo'zg'atishning bir cho'lg'amli va rotorda bir cho'lg'amli sxemasida ko'rib chiqish etarli (5.6-rasm). 5.6-rasmdagi sxema uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$\begin{cases} u_B = \frac{L_H di_B}{dt} + \frac{M_{B,ya} di_{ya}}{dt} + i_B r_B; \\ u_{ya} = \frac{L_{ya} di_{ya}}{dt} + \frac{M_{ya,B} di_B}{dt} + i_{ya} r_{ts,ya} + e, \end{cases} \quad (5.4)$$

Bu yerda: u_B , u_{ya} – qo'zg'atish va yakor cho'lg'amlaridagi kuchlanish (faqat u_{ya} bilan belgilanadigan, mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha kuchlanish ko'rib chiqiladi); L_B , L_{ya} – qo'zg'atish va yakor cho'lg'amlarining to'liq induktivligi; $M_{B,ya}$, $M_{ya,B}$ – qo'zg'alish va yakor cho'lg'amlari va yakor va qo'zg'alish cho'lg'amlari o'rtasidagi o'zaro induktivliklar; $r_{ts,ya}$ – yakor cho'lg'ami zanjirining faol qarshiligi:

$$r_{ts,ya} = r_{ya} + r_c + r_{d,p} + r_k, \quad (5.5)$$

Yakor cho'lg'amlari, qo'zg'alish cho'lg'ami ketma-ketligi, qo'shimcha qutb va to'ldiruvchi cho'lg'am faol qarshiligini o'z ichiga oladi. Cho'tkalar ostidagi kuchlanish tushishi (5.4), aylanish e EYUK ga kiradi.

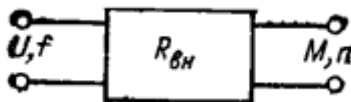
O'tish va o'rnatilgan rejimlarni ta'riflovchi differensial tenglamalardan (5.4) o'rnatilgan rejim tenglamalariga o'tish uchun (5.4) da o'zgaruvchan tok mashinalaridagi kabi ω ga ko'paytirib emas, a'zolari nol hosilalariga tenglashtirish kerak. Mashina doimiy tok tarmog'iga ulangan va hisoblar chastota o'zgartirgich doimiy tok tomonidan kollektorga nisbatan o'tuvchi yakor toki bo'yicha olib borilayotgan ekan, o'rnatilgan rejimda energiyani o'zgartirish jarayonlarining tahlilini faqat doimiy toklarni hisobga olgan holda olib borish mumkin.

(5.4) da o'rnatilgan rejimda o'zgarmas tok mashinasining tenglamasi:

$$U_B = I_B R_B; \quad U^* = E \pm I_{ya} R_{ya}; \quad (5.6)$$

$$E = c \omega_p \Phi, \quad (5.7)$$

Bu yerda: R_B – qo'zg'alish cho'lg'ami va qo'zg'alish konturiga ulangan boshqaruv rezistorining qarshiligi; R_{YA} – yakor zanjiridagi barcha ketma-ket qarshiliklarni o'z ichiga oluvchi mashinaning ichki qarshiligi; e – aylanish EYUK (mashinaning erkin yurishida kuchlanish), (5.2).



5.7-rasm. O'zgarmas tok mashinasining to'rt qutbli sifatidagi oddiy ko'rinishi.

Yuklanishda mashinada maydon ham qo'zg'alish cho'lg'ami toki, ham yakor toki bilan yaratiladi. Mashinada natijalovchi oqim yuklanish va qo'zg'alish

cho'lg'amlari ulanish sxemasiga bog'liq (5.4-rasmga qarang). Yuklanish tokining qo'zg'alish maydoniga ta'sirini kamaytirish uchun, doimiy tok mashinalarida cho'lg'amlar to'ldirilishini amalga oshirishadi. Yuklanish o'zgarishida tor tirqishda oqim o'zgaradi: $\Phi = f(I_B I_{ya})$. Yuklanishni o'zgarishida oqimning o'zgarishi o'zgarmas tok mashinasini tuzishda hisobga olinadi.

Aslida (5.6), (5.7) va magnit oqimning mashina cho'lg'amlarida oqayotgan tokga chiziqli bog'liqligi o'zgarmas tok mashinalarida energiyaning o'zgarish jarayonlari matematik modeli hisoblanadi.

Generator rejimda $E > U$, bu yerda U – tarmoq kuchlanishi. Uzoq davom etadigan rejimda $U > E$. Shuning uchun (5.7) da kuchlanish tushishidan oldin ichki qarshilikda plus va minus belgilar turadi.

O'zgarmas tok mashinasida validagi moment

$$M_{EM} = c\Phi I_{ya}. \quad (5.8)$$

Tenglamalar mashinaning ikki elektr va ikki mexanik chiqishli to'rt qutbli ko'rinishidan olinishi mumkin (5.7-rasm). 5.7-rasmda keltirilgan mashinada, o'zgaruvchan tok mashinalaridagi kabi elektr chiqishlarda ($f=0$) tarmoqqa yoki yakor cho'lg'amidagi toklarga tegishli bo'lgan f chastota mavjud, $f=rn/60$.

Doimiy tok ($I_{ya}=0$) generatorining erkin yurishida mashinada maydon I_B doimiy tok o'tadigan qo'zg'alish cho'lg'amida yaratiladi. Bunda $U=E$. aylanishning elektr harakatlantiruvchi kuchi (yoki EYUK-qarshi) tarmoq kuchlanishini tenglashtiradi. Generator rejimda mustaqil qo'zg'alishli mashina uchun generator yakoridagi tok

$$I_{ya} = \frac{E - U}{R_{BN}} \quad (5.9)$$

Mashina valiga olib kelinadigan mexanik energiya elektr energiyasiga o'zgaradi. Motor rejimida elektr energiyasi mexanikka o'zgaradi. Motor rejimida tok

$$I_{ya} = \frac{U - E}{R_{BN}} \quad (5.10)$$

Erkin yurishda motor ish rejimida mashina elektr quvvatini erkin yurish yo'qotishlarini qoplashga ketadigan tarmoqdan iste'mol qiladi, va

$$I_{ya} \neq 0, U \neq E.$$

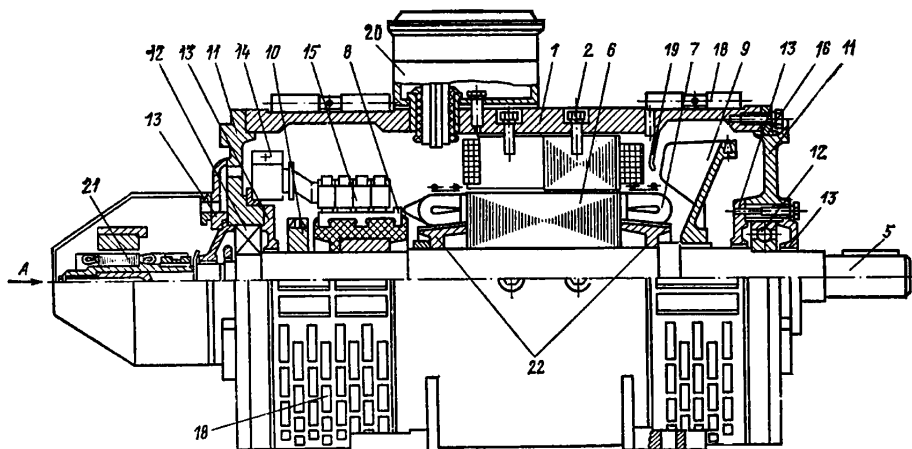
Nazorat savollari.

1. O'zgarmas tok mashinasining sxemasi va tenglamasini izohlang?
2. Doimiy tok mashinasining matematik modelini tavsiflang?
3. O'zgarmas tok mashinasining to'rt qutbli sifatidagi oddiy ko'rinishidan qanday maqsadda foydalaniladi?

5.3. O'zgarmas tok mashinalarining tuzilishi.

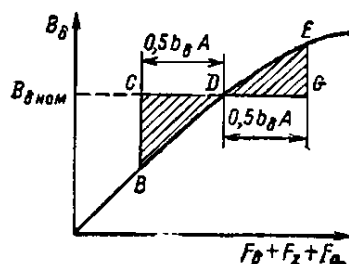
Pachinotti – Gramma yakori (5.1-rasmga qarang) qator kamchiliklarga ega. Misdan yomon foydalanish, tayyorlashning qiyinligi. Misdan foydalanishni yaxshilash uchun, magnit maydonning kuch chiziqlarini kesmaydigan yakorning ichki qismida yotuvchi cho'lg'am bo'lmalari qismlarini yakorning tashqi qismiga chiqarish lozim. Bu cho'lg'am bo'lmalari silidr yakorning tashqi qismida yotgan

baraban yakorida bajarilgan (1.58 rasmga qarang). Deyarli barcha zamonaviy mashinalar tashqi sirtida tirqishali silindrik yakorga ega. Gramm cho'lg'amlarining doimiy tok mashinalarining ikki qatlamli cho'lg'amlariga keltirilishi 1-bobda ko'rib chiqilgan.



5.8-rasmda 2PAT rusumli taxogenerator.

5.8-rasmda 2PAT rusum taxogeneratoriga ega 2P rusum motorlarining ko'ndalang va bo'ylama kesmalari keltirilgan. Motorning staninasiga 1 boltlar 2 bilan bosh 3 va qo'shimcha 4 qutblar mahkamlangan. Motorning valida 5 yakor cho'lg'amiga 7 ega yakor magnit simi 6 joylashgan. Yakor cho'lg'amlarining bo'lmali kollektorga 8 ulangan. Motor valiga ventilyator 9 va turg'unlashtiruvchi halqa 10 presslangan. Mashina yakorini stator bilan qopqoqlar 13 bilan mahkamlangan podshipniklar 12 joylashgan podshipnik tishlari 11 bog'laydi. Podshipnik shitlaridan biriga cho'tka ushlagichlar 16 bilan cho'tka barmoqlari 15 joylashgan traversa 14 mahkamlanadi. Cho'tka ushlagichlarda aylanganda kollektor bilan sirg'aluvchi kontakti ta'minlovchi cho'tkalar 17 joylashgan.



5.30-rasm. Yakor reaksiyasiga magnitsizlantirish ta'sirini miqdoriy aniqlash.

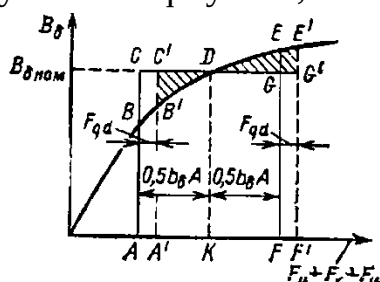
To'yingan mashinada qutbning bir chekkasi ostida maydonning kamayishi va boshqasi ostida esa maydonning oshishi bilan to'ldiriladi.(3 egri chiziq). Ammo to'yingan mashinada maydonni tuzilishida kam bo'lmagan miqdor hosil bo'ladi, maydonlarini ayirishda unga ko'ra kamayadi.(4 egri chiziq).

Shunday qilib, yakorning ko'ndalang reaksiyasi 5.29-rasmda shtrixlangan maydon oh'lchamiga yuzaga kelgan natija oqimni kamaytiradi.

Yakorning ko'ndalang reaksiyasiga magnitsizlantirish harakati mashina tavsifiga ta'sir qiladi, va bunda albatta mashinani o'zgarmas tokda ishlashini tahlil qilish kerak va uni loyihalashtirishni e'tiborga olish zarur bo'ladi.

Yakorning ko'ndalang reaksiyasiga magnitsizlanish harakatini miqdoriy hisobi grafo analitik usulda aniqlanadi. Yakorning ko'ndalang F_{qd} reaksiyasini tashkil etuvchi bo'ylamani aniqlash uchun qisman yoki o'tish tavsifini qurib olamiz $B\sigma = f(F\sigma + F_z + F_a)$ (5.30-rasm) ya'ni tishli bir qutbga va tor tirqish MYUKdan induksiyaning tor tirqishga bog'liqligi. Tor tirqishda yakorning ko'ndalang reaksiyasi oqimi va tishlari mos keladi yoki qo'zg'atish oqimiga qarama-qarshi yo'naltirilgan va natija yuzaga kelgan maydonga sezilarli ta'sir qiladi, qutblarda va yakor yarmosida natija yuzaga kelgan ko'ndalang bo'ylama magnitsizlanish muhim o'rin tutadi, bunda yakor reaksiyasi oqimi ta'siri zaiflashadi. Shuni e'tiborga olish lozimki, $F\sigma + F_z + F_a$ mashina magnet zanjirini hisoblaganda 70-80% $\sum F$ ni tashkil etadi va bunday bo'lishni birinchi navbatda hisoblash vaqtida e'tiborga olish zarur.

$V\sigma_{nom}$ bo'yicha o'tish tavsifida ishchi nuqta D ni topgach, undan to'g'ri kesikni $0,5 b\sigma A$ ikki tomon bo'yicha olib qo'yamiz, A-chiziqli yuklama



5.31-rasm. F_{qd} ko'ndalang yakor reaksiyasini tashkil etuvchi bo'ylamani aniqlash ya'ni tokning yakor aylanasi uzunligi birligiga :

$$A = \frac{I_{ya} N}{2\pi D}; \quad (5.11)$$

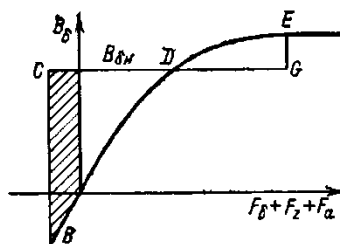
bu yerda:

$d\sigma$ - qutbli to'sin (qutbli yoy).

Shunday qilib $d\sigma A$ yakor reaksiyasining ko'ndalang MYUKni tavsiflaydi. Shu bilan birga asosiy qutb orasida joylashgan cho'lg'amlardan oqib o'tuvchi yakor toki yakorning ko'ndalang reaksiyasi oqimini yaratmaydi, deb hisoblashadi, chunki bu zonada juda katta tor tirqish mavjud. VSD uchburchagi magnitsizlanish ta'sirini ifodalaydi, DEG- bo'lsa yakorning ko'ndalang reaksiyasiga qo'shimcha magnitlashning ta'siridir. VSD uchburchagi maydoni DEG uchburchagi maydoniga nisbatan ko'pdir. Yakorning ko'ndalang reaksiyasidan iborat bo'lgan bo'ylamani F_{qd} topish uchun, yakorning ko'ndalang reaksiyasiga magnitsizlantirishni ifodalovchi ta'sirini VSD va DEG uchburchaklarini to'g'riga yangi $V^1 S^1 D^1$ va $D^1 E^1 G^1$ uchburchaklarning maydoni ravon bo'lmagunga qadar suradi. Bunday holatda salt yurishdagi oqimni ifodalovchi ASGF uchburchaklar maydoni va $A^1 V^1 D^1 E^1 F^1$ figuralari oqimni tavsiflovchi yuklamada bir xilda bo'ladi. F_{qd} magnet yurituvchi kuch to'yinish va yakordagi tokka bog'liq bo'ladi. F_{qd} ni analitik aniqlash beso'naqay va grafoanalitik usulga taqqoslash bo'yicha kam xatolikni beradi, u amaliy hisoblashlarda qo'llaniladi.

Yakorning ko'ndalang reaksiyasi ta'siri kompensatsiyalash uchun (5.19) bo'yicha salt yurishga mo'ljallangan cho'lg'am MYUKni qo'zg'atish kerak bo'ladi, F_{qd} qo'shganda MYUK cho'lg'amdagi qo'zg'alish teng bo'ladi:

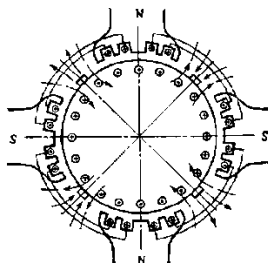
$$F_B = \sum F + F_{qd} \quad (5.12)$$



5.32-rasm. Pazda maydonni to'ntarilishi.

Yakorning qo'ndalang reaksiyasi tor tirqishga bog'liq bo'ladi. Qancha ko'p oraliq bo'lsa, F_{qd} shuncha kam bo'ladi, shunday qilib katta oraliqda po'latli uchastkalar o'tish tavsifiga kuchsiz ta'sir qiladi. VSD va DEG uchburchaklari maydoni o'tish tavsifida bir-biriga va liniyaga yaqin bo'ladi.(5.30-rasmga qarang). Shuning uchun F_{qd} kamaytirish uchun yaxshisi katta tor tirqishni tanlash kerak bo'ladi, biroq katta oraliqda $\sum F$ ham, binobarin qo'zg'atish g'altagi massasi va hajmi ham kattalashadi. O'zgaras tokda ishlovchi mashinalarda optimal tor tirqish 5-10 marta oraliqdan ko'p, shuning uchun mexanik sharoitlar zarur bo'ladi. Yakorning ko'ndalang reaksiyasi kompensatsiyasi uchun MYUK bilan qo'zg'atish cho'lg'amidan ketma-ketlikda foydalanish mumkin, taxminan F_{qd} ga teng. O'zgaras tokli motorlarda qo'llaniladigan cho'lg'am stabillovchi cho'lg'am deb aytiladi.

Oqimlarni qo'zg'atish va yakorning reaksiyasi biri-biri bilan uchrashishga yo'naltirilgan qutb qismi ostida katta chiziqli yuklama tufayli nafaqat sezilarli darajada induksiyada o'zgarish bo'ladi balki maydon yo'nalishi o'zgarishi- maydon to'ntarilishida ham o'zgarish sodir bo'ladi. 5.32-rasmda mashinaning holati ko'rsatilgan. VSD uchburchagining shtrixlangan maydoni maydon to'ntarilishini ifodalaydi. Generator rejimida maydonning to'ntarilishida kuchlanishni keskin pasayishi sodir bo'ladi, mashinaning parallel tarmoq cho'lg'ami qismida EYUK turli belgilarga ega bo'ladi va pasayish o'qida boshlanadi. Motor rejimida maydon to'ntarilishi elektromagnit momentini kamayishiga va motorni to'xtab qolishiga olib keladi.



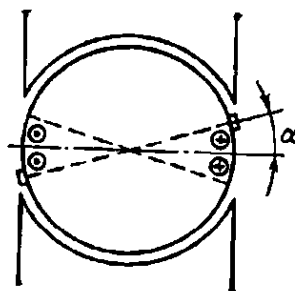
5.33-rasm. Ko'ndalang reaksiyani kompensatsiyalash

Generatordagi kabi motor rejimida ham maydon to'ntarilishi avariya rejimi deb aytiladi, kollektorda aylanma olovni kelib boshqa kollektorlar esa elektr bilan qoplanishi kuzatilishi mumkin.

Kompensatsiyalovchi cho'lg'amni qo'llagan holda yakordagi ko'ndalang reaksiyani kompensatsiyalash mumkin. (5.12-rasm). Kompensatsiyalovchi cho'lg'am

asosiy qutblar uchida joylashadi. (5.33-rasm). Yakorning ko'ndalang reaksiyasi maydoni qutblarga nisbatan qo'zg'almasdir. Shuning uchun stator cho'lg'ami tirqishasida joylashgan qaysiki MYUK yakor cho'lg'ami MYUKga qarama-qarshi yo'naltiriladi, yakor reaksiyasi maydonini kompensatsiyalash mumkin. Muayyan va o'tish rejimida yakorning ko'ndalang reaksiyasi maydonini kompensatsiyalash uchun kompensatsiyalovchi cho'lg'am yakor cho'lg'amida birin-ketin ulanadi va MYUK kompensatsiyalovchi cho'lg'am taxminan yakorning ko'ndalang reaksiyasi MYUKga teng bo'ladi, ya'ni bunda kompensatsiyalovchi cho'lg'am misining hajmi va yakor cho'lg'ami taxminan bir xil bo'ladi[4].

30-60 kVt gacha bo'lgan quvvatdagi o'zgarmas tokli mashinalarni loyiha-lashda yakorning ko'ndalang reaksiyasini stabillashtiradigan cho'lg'am bilan kompensatsiyalanadi, 50-60 kVt yuqori quvvatli mashinalar va kommutatsiyasi og'ir sharoitlardagi mashinalar uchun kompensatsion cho'lg'am orqali bajari-ladi. O'zgarmas tokli mashinalarda cho'tkalarni geometrik neytral bo'yicha siljishida yakorda bo'ylama reaksiya sodir bo'ladi. Agar cho'tkalar o'zgarmas kuchlanish manbasi ulansa.



5.34-rasm. Cho'tkalarni geometrik neytral bo'yicha siljishida yakorda reaksiyani vujudga kelishi to'g'risidagi masalaga.

va ularni geometrik neytralga nisbatan o'g'irganda yakor cho'lg'ami MYUK taxlanadi yoki cho'lg'am qo'zg'alishi MYUKdan ayirib tashlaydi. (5.34-rasm)

Generator cho'tkasining aylanish yo'nalishiga burilishi va motor cho'tkasining aylanishiga qarshi yo'nalishida yakorning bo'ylama magnit-sizlantirish reaksiyasi kelib chiqadi. Teskari yo'nalishga cho'tkalarni surganda yakorda bo'ylama magnitsizlantirish reaksiyasi kelib chiqadi. Shunday qilib, MYUK cho'tkasini siljishi yo'nalishiga bog'liq bo'lgan yakorning bo'ylama reaksiyasi MYUK qo'zg'atish cho'lg'amida taxlanadi yoki uni ayirib tashlaydi. Bir-ikki kollektorli plastinalarga geometrik neytral bo'yicha cho'tkalarni siljitish mumkin. Katta siljitishlarda kommutatsiya yomonlashadi. Ana shunday sharoitlarda bo'ylama yakorning reaksiyasini quyidagi ifodadan aniqlab olish mumkin.

$$F_d = cA \quad (5.13)$$

Bu yerda: $c \approx 0.4(\tau - b_\sigma)$

$\tau - b_\sigma$ -bu yerda: asosiy qutblar oralig'idagi masofani ko'rish qiyin emas.

Yakorning natija yuzaga kelgan reaksiyasi

$$F_{r,ya} = F_{qd} \pm F_d \quad (5.14)$$

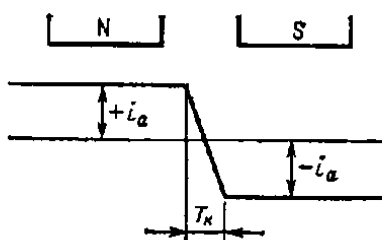
Odatda cho'tkalar shunday o'rnatiladiki, yakorning bo'ylama reaksiyasi qo'zg'atish cho'lg'ami MYUKdan joylashishi kerak bo'ladi. Cho'tkalarni boshqa tomonga siljishi kommutatsiyani yomonlashishiga olib keladi.

Nazorat savollari.

1. Yakor reaksiyasiga magnitsizlantirish ta'sirini miqdoriy qanday aniqlash mumkin?
2. Pazda maydonni to'ntarilishini tavsiflanadi?
3. Cho'tkalarni geometrik neytral bo'yicha siljishida yakorda reaksiyani tushuntiring?

5.4.Kommutatsiya.

Parallel tarmoqli cho'lg'amdan biridan boshqasiga o'tishda seksiyalarda tok yo'nalishini o'zgarish jarayoniga kommutatsiya deyiladi. kommutatsion jarayonlar deb cho'tka ostidagi jarayonlarga aytiladi. Kommutatsion jarayonlar o'zgarmas tok mashinalarda ularning o'lchamlari va qo'llash imkoniyatlari bilan u yoki bu elektr yuritmalarda ishni ishonchliligini belgilab beradi,



5.35-rasm. Kommutatsiyalangan seksiyalarda tokning o'zgarishi.

O'zgarmas tokli mashinalarda kommutatsiya kollektor – chastotani mexanik o'zgartirgich bilan amalga oshiriladi (5.3. rasmga qarang). Kollektor yoki kommutator yana boshqa konstruktiv bajarishlarga ega bo'lishi mumkin.

Yarim o'tkazgich elementlar bazasida kommutatorlar ya'ni tranzistor yoki tiristorlar, genkonlar, magnitli boshqarish bazasida bajarilgan ma'lum kommutatorlar bajariladi. Biroq, chastotani mexanik o'zgartirgichi o'zining yaxlit gabaritli, energetik va boshqa ko'rsatkichlarli bo'yicha eng yaxshisi bo'lib qoladi.

Tok kommutatsiyalanganda seksiya o'z yo'nalishini o'zgartiradi $+i_a$ dan $-i_a$ gacha i_a - yakor cho'lg'aming parallel cho'lg'amida tok (5.35 rasm). Seksiya bir qutb ostidan ikkinchi birtasiga o'tishi vaqtida T_k - kommutatsiya jarayonida tokda tezroq o'zgarish sodir bo'ladi. Kommutatsiya davri aylanish chastotasi va kollektorlar plastinasi miqdoriga bog'liq bo'ladi. Odatda T_k - sekundning mingdan bir ulushidan iborat bo'ladi. Cho'tka bilan tutashgan seksiya kommutatsion seksiya deb aytiladi. T_k kommutatsiya davrida kollektorni cho'tka kengligi bo'yicha joyini o'zgartirishini aniqlash mumkin:

$$T_k = \frac{b_{sh}}{v_k}, \quad (5.15)$$

b_{sh} - bu yerda: cho'tkaning kengligi; v_k -kollektorning aylanma tezligi

$$v_k = \pi D_k n = b_k K n; \quad (5.16)$$

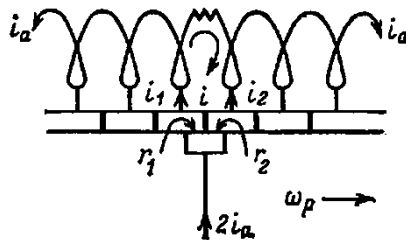
bu yerda: D_k -kollektor diametri; b_k - kollektor plastinasining kengligi; K -kollektor plastinasi miqdori.

Bunda
$$T_k = \frac{b_{sh}}{b_k K n} = \frac{\beta_k}{K n}; \quad (5.17)$$

Bu yerda: $\beta_k = b_{sh}/b_k$ umumsanoatda bajariladigan mashinalar uchun cho'tkalik qoplash $\beta_k=2\div4$, murakkab cho'lg'amli mashinalar uchun $\beta_k=6\div7$

$\beta_k=2,5$ bo'lganida $n=1500$ ob/min = 25 ob/s va $K=100$ oddiy sirtmoqsimonli cho'lg'amli mashinalarda $T_k=0,001$ s. Shunday qilib, kom-mutatsion jarayonning davriy chastotasi $f_k=1/T$ 100-300 GS chegarasida bo'ladi.

5.36-rasmda oddiy sirtmoqsimon cho'lg'amli seksiyalarni bir parallel tarmoqdan boshqasiga o'tish jarayoni ko'rsatilgan. Cho'tkalarni harakatlani-shida cho'lg'amlar bir yoki ikki seksiyada tutashadi. Soddalashtirish uchun kommutatsion jarayonlarni ko'rib chiqamiz.



5.36-rasm. Seksiyalarning bir parallel tarmoqdan boshqasiga o'tish jarayoni.

Cho'tkalarning kengligi kollektor bo'linishiga teng. i kommutatsiya toki kommutatsion seksiya bilan tutashadi, i_a tokni mashinaning parallel tarmog'iga qo'yish. Buning uchun

$$i_1 = i_a + i; \quad i_2 = i_a - i \quad (5.18)$$

Bu yerda: i_1 va i_2 cho'tka kontaktida oqib o'tib, cho'tkaning chekkasiga bostirib keluvchi va yugurib boruvchi va kollektor plastinalariga mos keluvchi toklar.

Cho'tkaning chekkasiga yuguruvchi – kollektor plastinasiga boruvchi o'sha qirrani 5.36 rasmda tasavvur qilish mumkin, cho'tka harakatlanmoqda, cho'lg'am esa qo'zg'almas, yuguruvchi qirra o'ng tomonda bo'ladi, cho'tkali kontakning qarshiligi r_2 , cho'tka qirrasiga bostirib keluvchi chapda, r_1 qarshilik. Yakor cho'lg'aming qo'zg'almas cho'tkasi strelka ko'rsatgan tomonga aylanadi. Qisqa tutashuvchi konturning qarshiligi kollektor va cho'tka oralig'idagi o'tish kontakti qarshiligi bilan aniqlanadi, seksiyaning aktiv qarshiligi esa kollektorlar plastinasi va cho'tkasiga e'tibor bermasa ham bo'ladi.

Qisqa tutashgan kontur uchun faqat Kirxgofni quyidagi tenglamasini yozish mumkin:

$$i_1 r_1 - i_2 r_2 + i r_k = \sum e, \quad (5.19)$$

r_1 - konturning qisqa tutashuv qarshiligi; $\sum e$ -EYUK summasi, kommutatsiya seksiyaga to'g'rilash.

(5.47) tok nisbati yoniga qo'yib (5.46) dan (r_k e'tibor qilmasdan) quyidagini olamiz:

$$(i_a + i)r_1 - (i_a - i)r_2 = \sum e, \quad (5.20)$$

Yoki

$$i_a r_1 + i r_1 - i_a r_2 + i r_2 = \sum e; \quad i(r_1 + r_2) - i_a(r_2 - r_1) = \sum e,$$

Bu yerdan

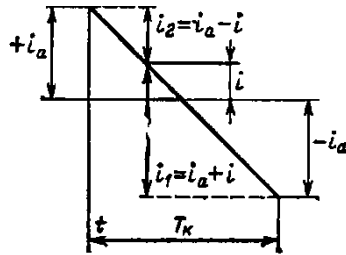
$$i = i_a \frac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2} + \frac{\sum e}{r_1 + r_2} = i_n + i_d, \quad (5.21)$$

i_n -o'tish toki; i_d -qo'shimcha tok.

Agar $\sum e = 0$,

$$\text{bo'lsa, } i_d = 0 \text{ va } i = i_n = i_a \frac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2} \quad (5.22)$$

Kommutatsiyaning klassik nazariyasi taxmin qilinishicha, cho'tkalik kontaktning qarshiligi cho'tkaning barcha uzunligi bo'yicha bir tekisda bo'ladi va r_1 va r_2 cho'tka maydoniga proporsionaldir S_1 va S_2 bostirib keluvchi va cho'tka qirralariga yugurib boruvchi. Shu bilan taxmin qilish mumkinki cho'tka ostidagi tok i_1 va i_2 bir tekisdan taqsimlangan va S_1 va S_2 maydonlariga proporsionaldir.



5.37-rasm. To'g'ri chiziqli kommutatsiya.

Kommutatsiyaning boshlash vaqtini $t=0$ deb hisoblasak, kommutatsiya tugash vaqti $t=T_k$ YU, qo'shni kontaktorli plastinalar bilan kontaktlashuvchi cho'tka maydoni, quyidagiga teng:

$$S_1 = \frac{T_k - t}{T_k} S; \quad S_2 = \frac{t}{T_k} S, \quad (5.23)$$

S –bu yerda cho'tkaning kontakt maydoni, $S=S_1+S_2$.

$$r_1 + r_2 = r_{sh} \quad (5.24)$$

bu yerda r_{sh} - cho'tka kontaktining umumiy qarshiligi.

Bunda

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= r_{sh} \frac{S}{S_1} = r_{sh} \frac{T_k}{T_k - t}; \\ r_2 &= r_{sh} \frac{S}{S_2} = r_{sh} \frac{T_k}{t}, \end{aligned} \right\} \quad (5.25)$$

Bu bilan o'tish tokini hisobga olgan holda (5.53)

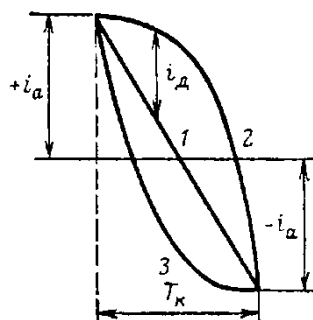
$$i = i_a \frac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2} = i_a \frac{1 - \frac{t}{T_k}}{1 + \frac{t}{T_k}} = i_a \frac{T_k - 2t}{T_k} = i_a \left(1 - \frac{2t}{T_k}\right) \quad (5.26)$$

Yuqorida yo'l qo'yilgan tok t-vaqtning chiziqli funksiyasi (5.37-rasm). Bu o'sha to'g'richiziqli kommutatsiyadir. Qachonki $\sum E \neq 0$ bo'lsa, egri chiziqli kommutatsiya o'ringa ega, 5.38-rasmda egri 2 va 3. Taqqoslash uchun 5.38-rasmda 1- egri to'g'ri chiziqli kommutatsiya ko'rsatilgan. Cho'tka ostidagi tok to'g'ri chiziqli kommutatsiyada bir maromda taqsimlanadi, egrichiziqli kommutatsiyada notekis emas. Kommutatsiyalanayotgan seksiyaga EYUK seksiyani o'zida tokni o'zgarishi hisobiga to'g'rilashi mumkin e_L qo'shni seksiyalarda e_m , tashqi magnit maydoni aylanishi hisobiga e_v :

$$\sum e = e_L + e_M + e_B. \quad (5.27)$$

O'zi induksiya EYUK summasi va o'zaro induksiya reaktiv EYUK deb aytiladi

$$e_p = e_L + e_M \quad (5.28)$$



5.38-rasm. Egri chiziqli kommutatsiya.

e_L elektr yurituvchi kuch seksiyani o'zida tok o'zgarishi hisobiga

$$e_L = -L_c \frac{di}{dt}, \quad (5.29)$$

L_0 seksiyaning induktivligi.

Tokning o'rtacha qiymati

$$(di/dt)_{sr} = -2i_a / T_k. \quad (5.30)$$

e_L EYuK o'rtacha qiymati

$$e_{Lsr} = 2L_c i_a / T_k. \quad (5.31)$$

O'zaro induksiyaning elektr yurituvchi kuchi

$$e_M = \sum_1^n e_{Mn} = -\sum M_n \frac{di_n}{dt}, \quad (5.32)$$

M_n - bir vaqtning o'zida kommutatsiyalanayotgan seksiya oralig'idagi o'zaro induktivlik; i_n - n-kommutatsiyalanayotgan seksiyadagi tok.

EYUKning o'zaro induksiyadagi o'rtacha qiymati

$$e_{Msr} = \frac{2i_a}{T_k} \sum M_n. \quad (5.33)$$

Reaktiv EYuK kommutatsiyalangan seksiyada tokning o'zgarishini sekinlashtirishga harakat qiladi.

Seksiyalarda tokni o'zgarishi, qachonki hosil bo'luvchi kommutatsiya zonasida tashqi magnit maydoni bo'lishi mumkin. Maydonni paydo bo'lishi sababi yakor ko'ndalang reaksiyasi maydoni bo'lishi mumkin yoki qo'shimcha qutblar maydoni kommutatsiyani yaxshilash uchun mashinada maxsus o'rnatiladi.

Tashqi maydonni elektr yurituvchi kuchi (5.2) o'xshash formula bo'yicha aniqlanadi:

$$e_B = 2B_k \omega_c l_\delta v_a, (5.34)$$

V_k - kommutatsiya zonasidagi induksiya.

O'tish jarayonlarida kommutatsiyalangan seksiyada asosiy qutblardagi oqimni o'zgarishida transformatorli EYUK yuritiladi.

$$e_T = -\omega_c \frac{d\Phi_\delta}{dt}. (5.35)$$

Reaktiv EYUK va aylanish EYuK joylanadi va ayriladi, shu bilan e_r ko'p bo'lishi yoki e_v kam bo'lishi mumkin. Bu mashina kommutatsiyasi tavsifiga ta'sir qiladi.

Agar $e_r, e_v=0$ ya'ni aylanish EYuK e_r kompensatsiyalaydi, to'g'ri chiziqli kommutatsiya (to'g'ri 1, 5.38 rasm). Agar $e_r > e_v$ bo'lsa sekinlangan kommutatsiya (2 egri, 5.38 rasm) (Agar $e_v > e_r$ bo'lsa, bu jadallashgan kommutatsiya (egri 3, 5.38-rasm).

Aylanish EYuK sekinlashgan kommutatsiyada $e_r > e_v$ ni kompensatsiyalamaydi. Eng yomon holat qachon aylanish EYuK va reaktiv EYuK joylashilsa, qachonki geometrik neytraldagi cho'tka o'rnatilsa qo'shimcha qutblar bo'lmaydi, yakorning ko'ndalang reaksiyasi reaktiv EYuKdan bir belgida EYuKga olib boradi.

Kommutatsiyalanayotgan seksiyada sekinlashgan kommutatsiyadagi tok nolgacha kamayishiga ulgurmasdan, cho'tka bo'lsa kollektor plastinasidan chiqib ketadi. Tok kommutatsiyasi tutashgan kontur yorilib ketadi va yugurayotgan cho'tkaning qirrasida uchqun chiqadi. Sekinlashgan kommutatsiyada yugurayotgan cho'tkaning qirrasida o'ta yuklanish sodir bo'ladi.

Kommutatsiyaning tezlanishida ($e_v > e_r$) yugurayotgan cho'tkaning qirrasida tok bilan ortiqcha yuklanishlik hosil bo'ladi. Tezlanishli kommutatsiya amalda faqatgina qo'shimcha qutbga ega bo'lgan mashinada bo'lishi mumkin.

Etarli darajada soddalashtirilgan kommutatsiyaning nazariyasi asosi ko'rib chiqilgan. Ana shunday ko'rinishdagi klassik nazariya E.Ariold, L.Dreyfus, K.I.Shenfer va boshqa olimlar tomonidan o'tgan asr boshida ishlab chiqilgan.

Kommutatsiya nazariyasini rivojlantirish uchun va uni amaliyotga qo'llash uchun sovet olimlari V.S.Kulebakin, M.P.Kostenko, V.T.Kasyanov, M.F.Karasev, O.B.Broi, O.G.Vegier va boshqalar juda ko'p ishlarni amalga oshirishgan.

Oxirgi yillarda kommutatsiya nazariyasi rivojlanmoqda, aniqlanishicha EXMda kommutatsiyani hisoblash uchun dasturlar tuzilgan, ammo uslubiy munosabat kommutatsiyaning klassik nazariyasi kommutatsiya jarayonlarini tushunish uchun eng yaxshisi bo'lib qolaveradi.

Nazorat savollari.

1. Seksiyalarning bir parallel tarmoqdan boshqasiga o'tish jarayoni tushuntiring?
2. To'g'ri chiziqli kommutatsiya tavsifini tushuntiring?
3. Egri chiziqli kommutatsiya tavsifini tushuntiring?

5.5. Kommutatsiyani yaxshilash usullari.

Kommutatsiyaning klassik nazariyasi cho'tkalik kontakt qarshiligini cho'tkani uzunligi bo'yicha bir tekisda rostlanishini ko'zda tutadi. Ammo jarayonlarni tadqiq qilish qarama-qarshi kartinani berdi cho'tka ostidagi tok keskin notekis rostlanadi. Mexanik kontaktning notekisligi tufayli ayrim nuqtalarida kollektorli plastina bilan cho'tkaga tegish holati sodir bo'ladi. Bu nuqtalarda tokning qalinligi va harorat sezilarli darajada. Bu nuqtalarda ionli o'tkazuvchanlik sodir bo'ladi, bu o'z navbatida kollektor bilan cho'tka kontaktida qulay sharoit yaratilishini ta'minlaydi.

Nuqtali kontaktlarning joylashgan joyi va miqdori to'xtovsiz o'zgaradi, chunki sekundning mingdan bir ulushida kollektorli plastinani qoplab oladi va bu vaqt ichida kontakt holati o'zgaradi. Bundan sharoitlarda cho'tkaning barcha uzunligi bo'yicha kontaktning paydo bo'lishi teng ehtimol va klassik nazariyada qabul qilinganicha tokni cho'tka ostida ravon taqsimlanishi odilona bo'lib qoladi, agar cho'tka bilan kollektor orasida kontakt ionli o'tkazuvchanlik hisobiga amalga oshirilsagina shunday deb hisoblash mumkin bo'ladi. Kommutatsiyaga birinchi navbatda cho'tkaga va kollektor yuzasiga va cho'tka va kollektor plastinasi materialini to'g'ri tanlashiga ta'sir qiladi. Kollektorli plastinalar misdan, og'ir kommutatsiya sharoitlarida ishlovchi mashinalarda esa kadmiyli qo'shilma bilan misdan tayyorlanadi. Cho'tkalar ko'mir va grafitli kukunlarni presslash yo'li bilan tayyorlanadi. Cho'tkalar to'rtta guruhga bo'linadi: ko'mir-grafitli, grafitli, elektragrafitli va metallagrafitli.

EG4, EG8, EG14, EG61, EG74 markasidagi elektrografitli cho'tkalar eng ko'p qo'llaniladi, ularda cho'tka ostida tok qalinligi 150 A/sm^3 va chiziqli tezlik 60 m/s bo'ladi. Bu cho'tkalar qiyin kommutatsiya sharoitli va o'rtacha generator va motorlar uchun qo'llaniladi. Cho'tkalar markasi bo'yicha to'g'ri tanlanada va o'zgarmas tokda ishlovchi mashinani to'g'ri ekspluatatsiya qilishda elektroliz natijasida kollektorda mis oksidlaridan iborat bo'lgan politura hosil bo'ladi. Kollektorda politurani mavjudligi mashinaning yaxshi kommutatsiyalanganidan darak beradi.

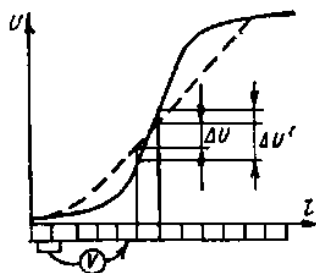
Kommutatsiyaga mexanik sabablar sezilarli darajada ta'sir qiladi, kollektorning urilishi, yomon ishlov berish, so'lakning chiqishi, cho'tkani cho'tka ushlagichni tebranishi. Mexanik sabablar tez yuruvchi mashinalarning kommutatsiyasiga juda ham alohida kuchli ta'sir qiladi.

O'zgarmas tokli mashinalarni ekspluatatsiya qilish sharti kollektorning ifloslanishi, namlik, atmosfera bosimi, atrof muhitda kimyomiy moddalarning mavjud bo'lishi shunday kommutatsiyaga sezilarli ta'sir qiladi. Atmosfera bosimini pasayishida kommutatsiya yomonlashadi. Samolyotlarda maxsus baland cho'tkalar qo'llaniladi. Kerosinda ishlaydigan cho'tkalar o'zgarmas tokli cho'ktirma mashinalar qoniqarli kommutatsiya bilan ta'minlanadi. Biroq kommutatsiya va boshqa suyuqliklar va gazlarni puxtalik bilan tadqiq qilishga to'g'ri keladi. Yomon kommutatsiyaning sabablaridan biri bu kollektorda uchqun chiqishi potensial uchqun hisoblanadi, u kollektor plastinalari orasida katta kuchlanishni kelib chiqishi bilan bog'liq bo'ladi. O'zgarmas tokli mashinalarni hisoblashda kollektorli plastinalarini sharoitdan kelib chiqib tanlanadi, negaki o'rtacha kuchlanish kollektor plastinalarida 15-20 V dan oshmasligi kerak.

Salt yurishda kollektor plastinasi orasida kuchlanish ifoda bilan aniqlanadi

$$U_k = 2B_\delta \omega_c l_\delta v_a. (5.36)$$

Yuklamada yakorning ko'ndalang reaksiyasidagi tor tirqishda maydon buziladi (5.29-rasmga qarang) va kollektorda kuchlanish notekis taqsimlanadi. (5.39-rasm). Kollektorda potensial tavsif voltmetr yordamida echib olinadi, qachonki voltmetrning o'lchash oxiri cho'tkaga ulansa, ikkinchisi esa kollektor bo'yicha sirpanib tushadi. 5.39-rasmda egri shtrixli kuchlanishni salt yurishda rostlanishi kerasatilgan, yoppasiga yuklamada $\Delta U' > \Delta U$ bo'ladi.



5.39-rasm. Kollektorning potensial diagrammasi.

Katta miqdordagi $gradU$ tufayli alohida plastinalar orasida izolyasiyalik oraliqni sinash mumkin, o'z navbatida boshqa plastinalarni sinash uchun jalb qilish mumkin va kollektorda aylana olovning paydo bo'lishi, unda cho'tka oralig'ida o'q paydo bo'ladi. Aylanma alanga odatda mashinani ishdan chiqishiga va kollektorni erishiga olib keladi.

Tor tirqishda maydonni rostlanishi kommutatsiyaga ta'sir qiladi. Yakor reaksiyasi tufayli maydonni to'ntarilishi kommutatsiyani buzilishiga olib kelishi mumkin.

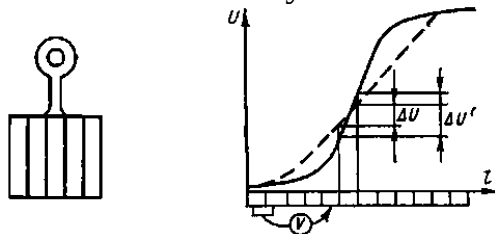
Kompensatsiyali cho'lg'am yakorning ko'ndalang reaksiyasi maydonini kompensatsiyalaydi, xuddi shunday tor tirqishda maydonning buzilishini bartaraf qiladi va kollektorda kuchlanishni rostlanishini saqlab qoladi, salt yurishdagidek. 5.7.§ rasmda ko'rsatilgan kommutatsion seksiyadagi tok aniqlanadi (5.49). Agar $i_d=0$ bo'lsa to'g'ri chiziqli kommutatsiya va kollektor plastinasidan cho'tka tushishi momentida kommutatsiya toki nolga teng bo'ladi. Kommutatsiya uchqunlanishsiz bo'lishi uchun qoniqarli kommutatsiyada qo'shimcha tokni pasaytirishga harakat qilish kerak:

$$i_d = \sum e / \sum r, (5.37)$$

$\sum e$ - kommutatsiya seksiyasida EYUK summasi; $\sum r$ - kommutatsiyalanayotgan seksiyada kontur qarshiligi summasi.

i_d ni pasaytirish uchun $\sum e$ ni kamaytirish yoxud $\sum r$ ni oshirish kerak. Kommutatsiyani yaxshilashga cho'tkani to'g'ri tanlash yo'li bilan erishiladi. Kommutatsiyani yaxshilash uchun yuqori aktiv qarshilikka ega cho'tkani tanlash kerak, ammo cho'tkada qarshilikni oshirilishi isrofni oshishiga olib keladi va cho'tkani qizitadi va bu kommutatsiyani yomonlashishiga olib keladi. Kommutatsiyani hisoblashda qarama-qarshi talablarni to'g'ri qondirish zarur.

Cho'tkalar ni loyihalashtirish GOST 2332-75 ga muvofiq tanlanadi, unda u yoki bu markadagi cho'tkani ayniqsa boshqalardan ko'p qo'llanilishi ko'rsatilgan, o'tishda kuchlanishni tushishi, cho'tka ostida tokning qalinligi, joiz tezlik va cho'tkada bosim prujinasi. Cho'tkadan foydalanishda to'plangan tajribani hisobga olib va mashina to'g'ri hisoblash bilan o'zgar mas tokli ko'pchilik mashinalarda og'ir sharoitlarda qo'llash uchun qanoatlanarli kommutatsiyani ta'minlash kerak bo'ladi.



5.60-rasm. Qatlamli cho'tka.

Kommutatsiya konturi qarshiligini oshirish uchun ba'zida bir nechta yupqa bo'lingan qistirmali qatlamlangan cho'tka qo'llaniladi. (5.40 rasm). Kommutatsiyalangan seksiyada ventil va rezistorni ulash, ammo mashinani tayyorlash murakkabli uchun va isrof yuqori bo'lgani uchun u kam qo'llaniladi. $\sum e$ kamayishiga bir nechta yo'llar bilan erishiladi. Asosan reaktiv I_p EYuKning pasayishi va MYuK ga kirish, reaktiv kompensatsiyalovchi EYuK ta'minlanadi. Reaktiv EYuK (5.56)-(5.59) seksiyada tarmoqlar sonini va tirqish konfiguratsiyasi to'g'ri tanlashi hisobiga pasayadi.

e_r ni kamaytirish uchun seksiyada cho'lg'amlar sonini minimal miqdoriga erishishga harakat qilish kerak, katta ochiq tirqishda, imkoni boricha ochiq tirqishni qo'llagan holda, chunki shu bilan L_0 seksiyada induktivlik kamayadi. Yarim yopiq tirqishli mashinalarda geometrik tirqishni to'g'ri tanlanishi e_r pasaytiradi va qo'shicha qutblarni qo'llanishiga yo'l qo'ymaydi.

Reaktiv EYuK ni loyihalashtirish formula bo'yicha hisoblanadi

$$e_p = 2\omega_c l_\delta A v_a \lambda \cdot 10^{-6}. (5.38)$$

ω^0 - seksiyadagi cho'lg'amlar soni; l_δ - yakor uzunligi; A - chiziqli yuklama. A/m; ω_0 - aylanma tezlik, $\frac{m}{s}$; λ - tirqish sochilish magnitning solishtirma o'tkazuvchanligi.

Kommutatsiyani yaxshilash uchun chiziqli yuklamani va kommutatsiyalanayotgan seksiya induktivligini pasaytirish lozim.

Reaktiv EYuKning ahamiyati mashinalarni kommutatsiyalash bevosita baholash hisoblanadi. Uncha katta bo'lmagan quvvatdagi mashinalar uchun maksimal reaktiv EYUK 12 V gacha yetishi mumkin.

e_r ni pasaytirish uchun T_k ni oshirish mumkin faqat cho'tkaning kengligi hisobiga emas, balki cho'tkalar sonini oshishi va cho'tka barmoqlarida ularni siljishi hisobiga, toki ular cho'tka kabi katta kenglikdagi yuzani qoplab olsin.

Mashina parallel cho'lg'amlaridagi tok muhim ahamiyatga ega, chunki qoniqarli kommutatsiyani ta'minlash uchun, aylanish chastotasi va kollektor diametridan bog'liq bo'lgan kollektorli plastina va kollektordagi chiziqli tezlik 250-350 A chegarasida tanlanadi.

O'zgaras tokli mashina kommutatsiyasini yaxshilashning asosiy vositasi qo'shimcha qilingan va qo'shimcha qutblarni qo'llanilishi hisoblanadi, ular kommutatsiya zonasida reaktiv EYuK kompensatsiyalovchi tashqi maydon hosil qiladi.

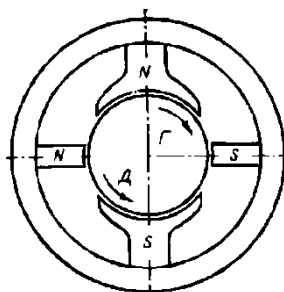
Asosiy qutblar bilan kommutatsiya zonasi oralig'ida qo'shimcha qutblar o'rnatiladi. Qo'shimcha qutblarning cho'lg'ami yakor cho'lg'amiga birin-ketin ulanadi, shuning uchun qo'shimcha qutblar cho'lg'ami MYuK muayyan va o'tish jarayonlarida yakorda tokni o'zgarishini kuzatadi.

e_r ni kompensatsiyalash uchun kommutatsiya zonasida yakor reaksiyasi maydonini kompensatsiyalab maydon hosil qilish kerak, e_r dan bir necha marta katta e_i olish uchun yoki (unda $e_v + e_r = 0$) e_r ga qarama-qarshi yo'naltirilgan va ravon, kommutatsiyalanayotgan seksiyaga aylanayotgan EYuK olib boriladi. Bunday sharoitlarda mashina to'g'ri chiziqli yoki tezlatish kommutatsiyasida bo'ladi.

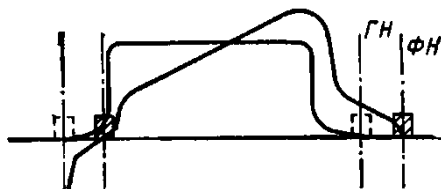
Aylanishning elektr harakatlanuvchi kuchi (5.62) da aniqlab olinadi: $V_k \sim I_{ya}$. Unda $e_v \sim I_{ya} v \alpha$. Qo'shimcha qutblar ostidagi induksiya asosiydagiga ko'ra kam bo'ladi va 0,5-0,25Tl ga teng. V_k uncha katta bo'lmaganligi, magnit zanjiri qo'shimcha qo'tblarga to'yinmagani tufayli e_v oralig'idagi chiziqli bog'liqlikni va tokni yuklama bilan ta'minlaydi

Shuni alohida qayd qilish lozimki yuklama tokida e_r chiziqqa bog'liq bo'ladi. Shuning uchun e_r ni o'zgaras tokda mashinaning barcha ish rejimlarida kompensatsiyasi ta'minlanadi.

Qo'shimcha qutblar asosiy qutbga o'zaro nisbati bo'yicha ma'lum tartibga ega rioya qilishi kerak. 5.41-rasmda asosiy va qo'shimcha qutblar G-generatorli va D dvigatel rejimida.-



5.41-rasm. Qo'shimcha qutblarning joylashuvi.



5.42-rasm. Geometrik neytral bo'yicha cho'tkalarni siljishi.

GN-geometrik neytral; FN-fizikaviy neytral.

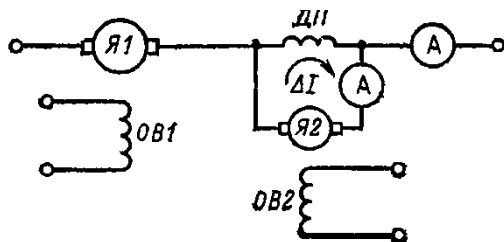
1 kVt dan yuqori quvvatli o'zgaras tokli barcha mashinalarni qoniqarli kommutatsiya bilan ta'minlash uchun qo'shimcha qutblar ishlab chiqariladi.

Uncha katta bo'lmagan quvvatdagi mashinalar EYuK reaktiv kompensatsiyalash cho'tkalarni geometrik neytral bo'yicha siljitish yo'li bilan amalga oshiriladi. Yakorning qo'ndalang reaksiyasida mashinadagi maydon buziladi (5.42-rasm) geometrik neytraldagi kommutatsiya zonasida maydon paydo bo'ladi. Agar cho'tkalarni geometrik neytral bo'yicha qoldirsak, bunda ana shu maydondan olib chiqilgan aylanish EYuK e_r ga mos keladi va mashinada noqulay sharoitdagi sekinlashgan kommutatsiya hosil bo'ladi, unda reaktiv EYuK va aylanish EYuK yig'ilib qoladi.

e_r bilan e_v ayirib tashlanishi uchun cho'tkani fizik neytral bo'yicha siljitish zarur, bunda maydon o'z belgisini almashtiradi. Generator rejimida cho'tka bir-ikki aylanish yo'nalishi bo'yicha kollektorli plastinaga siljiydi, ammo motor rejimida esa aylanish yo'nalishiga qarshi siljiydi. Kommutatsiyaning yaxshilangan bu usuli e_r bir rejimda kompensatsiyalanishi bilan bog'liq kamchilikka ega. Qo'shimcha qutblari bor bo'lgan mashinalarda yuklamani o'zgarishidagi avtomatik sozlashda neytraldan cho'tkani siljishi yo'q bo'ladi.

Ko'rib chiqilgan kommutatsiyani asosiy yaxshilangan usullari murakkab tez oqib o'tuvchi kommutatsiya jarayonlari ta'siri imkoniyatlarini tugatmaydi.

183-74 GOST bo'yicha kommutatsiya daraja bo'yicha uchqunlanish beshta sinfga bo'linadi: 1- uchqunlanishning mavjud emasligi (qorong'i qommutatsiya); $1^{1/4}$ - cho'tqaning uncha katta bo'lmagan qismida zaif nuqtali uchqunlanish; 2- cho'tkani barcha qirrasida ostida uchqunlanish; 3- cho'tkaning barcha qirrasida ostida katta va uchuvchi zarrachali uchqunlanish. Uchqunlanish darajasi ko'z bilan aniqlanadi.



5.43-rasm. Qo'shimcha qutblarni itarib kirgizish sxemasi bo'yicha kommutatsiyani sozlash.

3 uchqunlanish darajasi kollektorni sezilarli darajada qorayishiga olib keladi, benzin bilan kollektor yuzasini artib bo'lmaydi. Bunday uchqunlanish cho'tkani ko'yib ketishiga va uni buzilishiga olib keladi. 3 mashinani uchqunlanish darajasida ishlashi mumkin emas.

2 uchqunlanish darajasida faqatgina qisqa vaqtli rejimda ishlashiga va o'ta yuklanishda yo'l qo'yiladi. Bunday uchqunlanishda kollektorda benzin bilan artib bo'lmaydigan qorayish izlari paydo bo'ladi.

1 va $1^{1/4}$ - uchqunlanish darajasida kollektorda qorayish izlari paydo bo'ladi, uni kollektor yuzasidan benzin bilan osonlikcha o'chirish mumkin bo'ladi.

1 va $1^{1/4}$ - uchqunlanish darajasida mashinani uzoq ishlashi kollektorni qorayishiga va cho'tkalarda qasmoq paydo bo'lishiga olib kelmaydi. Uzoq muddatli

rejimda ishlayotgan mashinalarni kommutatsiyasini sozlashda uchqunlanishning ana shu ikki darajasini ta'minlash zarur.

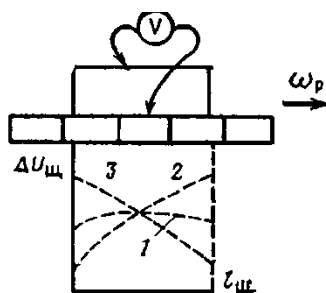
Mashinalarni loyihalash jarayonlarida qoniqarli kommutatsiyani ta'minlashga hamma vaqt ham erishib bo'lmaydi, shuning uchun tajriba namunalari tayyorlangach kommutatsiya tajribaviy sozlash amalga oshiriladi. Kommutatsiyaning asosiy sozlash usuli qo'shimcha qutblarni to'yinish usuli va cho'tka ostidagi egri potentsiallari olib tashlash usulidir.

Qo'shimcha qutblarni boshqarish 5.43-rasmdagi sxema bo'yicha amalga oshiriladi. Rasmda Ya_1 - mashina yakori, u bilan kommutatsiyani sozlash orqali amalga oshiriladi, QQ(DP)- qo'shimcha qutblar, Ya_2 -qo'shimcha qutblarni singishini ta'minlovchi yordamchi generator yakori, OV1- tadqiq qilinayotgan mashinaning qo'zg'atish cho'lg'ami, OV2- yordam generatorning qo'zg'atish cho'lg'ami

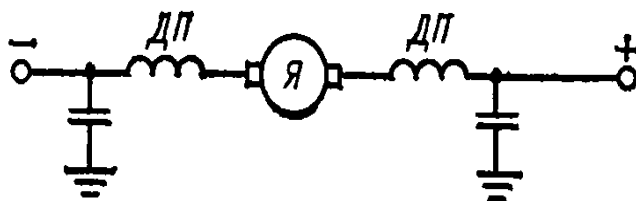
Qo'shimcha qutblar cho'lg'ami orqali boshqarishda singishning qo'shimcha toki o'tadi ΔI , u o'z navbatida o'qib oladi yoki tok bilan yig'iladi, yakor I_a . ΔI singish tokini o'zgartirib 1 yoki $1\frac{1}{4}$ turli yuklamalarda uchqunlanish darajasiga erishadi.

Egri singishni tavsiflovchi daraja qo'shimcha qutblarni ta'siri zaiflashishi va zarur darajasini oshirishni o'rnatish imkoni beradi. Qo'shimcha qutblarning ishlashini tor tirqish va cho'lg'amlar miqdorini o'zgartirish yo'li bilan rostlash mumkin, o'lchamlarni ferromagnitli stanina va qo'shimcha qutb oralig'iga qo'yiladigan qistirma yordami ham o'zgartirish mumkin. Oxirgi usuldan ko'p qo'llaniladi, chunki odatda qo'shimcha qutblar cho'lg'ami miqdori katta bo'lmaydi va ular miqdorini o'zgartirish qo'shimcha qutblar cho'lg'ami MYUKni keskin o'zgarishiga olib keladi.

Egri chiziq singishni darajasi tavsifi yuklama ostida bir necha soat davomida cho'tkani qayta yaxshilab ishlatilib, keyin uchqunlanishning mexanik sabablarini bartaraf qilgandan keyin olib tashlanadi.



5.44-rasm.Cho'tka ostidagi egri chiziq potentsialni olib tashlash.



5.45-rasm.radioshovqinlarni bartaraf qilish uchun mashinadan chiqishda filtrlarni qo'shish.

Cho'tka ostidagi potensial egri chiziqlarni olib tashlashda kollektorlar va cho'tka o'rtasida ΔU_{sh} kuchlanishni tushishi o'lchanadi (5.44-rasm). Shu bilan voltmetrning bir uchi mashina yuklamasida ishlovchi kollektor bo'yicha ko'chiriladi.

Potensial egri chiziqlar 5.44-rasmda ko'rsatilganidek ko'rsatilgan strelka yo'nalishida kollektorning harakatlanishida kommutatsiyaning tavsifi haqida fikr yuritish imkonini beradi. 1 egri chiziq to'g'ri chiziqli kommutatsiyadan darak beradi, 2-egri sekinlashgan (cho'tkaning yugurayotgan qirrasini ortiqcha yuklangan), 3-egri chiziq tezlatilgan kommutatsiya (bostirib keluvchi cho'tkaning qirrasini ortiqcha yuklangan). Egri cho'tka potentsiali bo'yicha kommutatsiyani xarakterini aniqlagach, MYuK qo'shimcha qutblarni almashtirgan holda kommutatsiyada sozlashni amalga oshirish mumkin.

Kommutatsiyani sozlashda bir necha jadallashgan kommutatsiyaga intilish kerak, chunki kollektorni aylanishida qochuvchi cho'tka qirrasini qo'tarib qo'yishdagi va bostirib keluvchini qisib qo'yuvchi mexanik kuchlar yuzaga keladi. Shuning uchun cho'tkaning qochuvchi qirrasini bir oz yuklash va to'g'ri chiziqli kommutatsiyadan qochish kerak bo'ladi.

Kommutatsiya (1-3 kGs) yuqori chastotadagi elektr magnitli tebranishni hosil qiladi, natijada radioshovqinlar kelib chiqadi. Ayniqsa yomon kommutatsiyalarda radio shovqinlarni bartaraf etish uchun o'zgarmas tokli mashina yakori zanjiriga filtrlar ulanadi.(5.45-rasm). Shu bilan mashinaning induktivligidan foydalaniladi, kondensatorlar bo'lsa chiqarma qutisiga sig'diriladi.

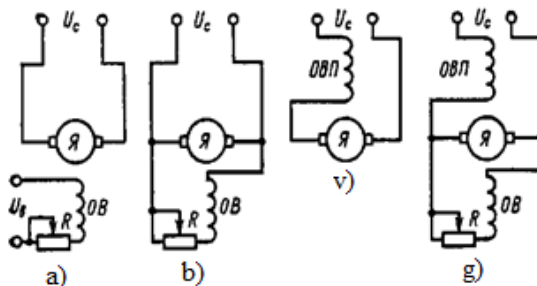
O'zgarmas tokli mashina geometriyasi, ishonchli bo'lib, uni qo'llash doirasi ko'pincha kommutatsiya bilan belgilanadi. Shuning uchun kommutatsiya nazariyasi rivojlantirish, kollektor tugunlarini takomillashtirish o'zgarmas tokli mashinalarda qo'llash doirasini kengaytirishda muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

Nazorat savollari.

1. Kollektorning potensial diagrammasini izohlang?
2. Geometrik neytral bo'yicha cho'tkalarni siljishini tavsiflang?
3. Cho'tka ostidagi egri chiziq potentsialni olib tashlashdan maqsad nima?

5.6. O'zgarmas tok generatorlari.

O'zgarmas tok generatorlari mexanik energiyani, mashina valiga olib boruvchi, o'zgarmas tokning elektr energiyasini o'zgartirib beradi.



5.46.Rasm. Generatorlarni qo'zg'atish sxemasi.

a- mustaqil; b-parallel; v- ketma-ket; g- aralashtirilgan qo'zg'atish

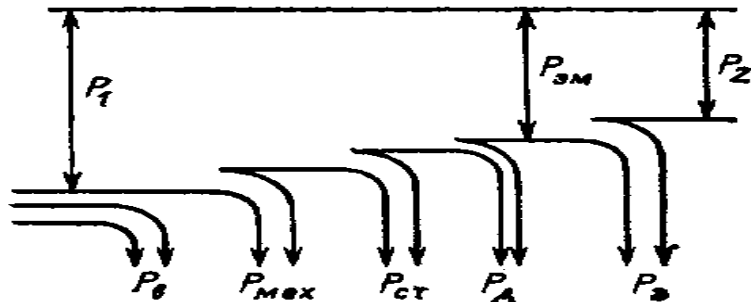
O'zgarmas tok generatorlarni qo'zg'atish usuli mustaqil qo'zg'atishli va o'z o'zidan qo'zg'atiladigan generatorlarga bo'linadi.

Mustaqil qo'zg'atishli generatorlarga o'zgaruvchan va o'zgarmas tokda ishlovchi barcha elektr mashinali qo'zg'atgichlar kiradi. O'zgarmas magnitli generatorlar magnit energetik generatorlarga tegishlidir, o'zgarmas tokdan qo'zg'aladigan generatorlar esa elektrmagnit qo'zg'atgichli generatorlar deb aytiladi.

O'z o'zidan qo'zg'atiladigan generatorlar qo'zg'atish cho'lg'omini ulash sxemasiga bog'liqligi parallel generatorlar (shuntli), ketma-ketlikdagi (servisli) va aralashgan (kompanuandli) qo'zg'atishga (5.46 rasm) bo'linadi.

Mustaqil va parallel qo'zg'atish cho'lg'ami QCH (OV) (5.46 a va b-rasm) ingichka simlardan tayyorlanadi va juda ko'p cho'lg'amga ega bo'ladi, (OVP) KQCH ketma ketlikdagi qo'zg'atish cho'lg'ami 5.36 v-rasm bir nechta cho'lg'amdan iborat, ammo undan yakor toki o'tadi va katta kesimdagi cho'lg'amlardan bajariladi. Cho'lg'am zanjirida tokni qo'zg'atishni rostlash uchun mustaqil va parallel qo'zg'atishda rostlash rezistori ulanadi R (5.46 a,b,v,g-rasm). O'zgarmas tok generator qo'zg'atish quvvati mashina quvvatining 1-5 % ni tashqil qiladi. Parallel qo'zg'atishga ega genaratorlarda qo'zg'atish toki 1-5 % ga teng $I_{va,nom}$.

5.47-rasmda o'zgarmas tok generatorning mustaqil qo'zg'atishli energetik diagrammasi berilgan.



5.47-rasm. generatorning energetik diagrammasi.

Generator valiga olib boruvchi mexanik quvvat, P_2 elektrli quvvatga o'zgaradi. Bunda yo'qotish yig'indisi $\sum P$:

$$\sum P = P_{mex} + P_{st} + P_e + P_d; (5.39)$$

Bu yerda: P_{mex} - mexanik yo'qotishlar; P_{st} - po'latni isroflanishi; P_e - yakor cho'lg'amida elektr isroflar; P_d -qo'shimcha isroflar.

Qo'zg'atishdagi isroflar P_e qo'zg'atish cho'lg'omini quvvatlovchi manbaga tegishli bo'ladi.

Elektrmagnitli quvvat – P_{em} - havoli tirqishdagi quvvat:

$$P_{EM} = P_1 - P_{mex} - P_{st} - P_d, (5.40)$$

O'zgarmas tok mashinalarda mexanik isroflar, boshqa elektr mashinalardagi kabi poshipnikdagi ishqalanishdagi isrofni o'z ichiga oladi, shamollatishdagi isrof va havo haqida yakor ishqalanishidagi yo'qotish. O'zgarmas tok mashinalarda qo'shimcha kollektordagi ishqalanishdagi isroflar ham bor. Cho'tkadagi cho'tkani

ushlash dastagi prujinasini bosishga bog'liq isroflar barcha mexanik isroflarning 25-30 % ni tashkil qiladi.

O'zgarmas tok mashinalardagi asosiy magnit isroflari yakor po'latidadir. Magnit o'tkazgichning aylanishida o'zgarmas tokli mashinalarda bo'lgani kabi po'latning qayta magnitlanish tishlarida, yakor yarmosida sodir bo'ladi, uyurmалан tok va gisterezisda ham yo'qotishlar bo'ladi. Po'latdagi isroflar ya'ni o'zgarmas tokli mashinalar uchun bo'lgan o'sha formula bo'yicha hisoblanadi. (1.166) va (3.69) mashina yakoridagi tishlar va tirqishlarning mavjudligi hisobiga qutb uchi yuzasidan pulsatsion isrof bo'ladi, u asosiy magnit isroflarini 5-10 fozini tashkil qiladi. Qutbli uchda tirqishlarning mavjudligida mashina kompensatsiyalovchi cho'lg'amga ega bo'ladi, yakorning yuzasida pulsatsion isroflar bor bo'ladi.

Qo'shimcha isroflarga yakor cho'lg'amiga va cho'lg'am dastagiga qotiriladigan bandajdagi isroflar kiradi. Qo'shimcha isroflarga yana kommutatsiya va yuklamadagi maydon buzilishi bilan bog'liq bo'lgan isroflar kiradi. Odatda qo'shimcha isroflarni 0.5% generatorga berilayotgan quvvatga teng qilib qabul qilinadi, bunda mashinada kompensatsiyalovchi cho'lg'amsiz 1% va kompensatsiyalovchi cho'lg'am mavjud bo'lishi kerak.

O'zgarmas tok mashinalarda elektrli isroflar xuddi boshqa elektrli mashinalarda bo'lgani kabi mashinaning barcha yo'qotishlarini 50 % ini tashkil qiladi.

Unga yakor cho'lg'amida elektr isroflari, kompensatsiyalovchi cho'lg'amda, qo'shimcha qutblar cho'lg'amida va ketma-ketlikdagi cho'lg'amda shuningdek cho'tka ostidagi elektr isroflari kiradi:

$$P_{ESH.} = \Delta U_{SH} I_n. (5.41)$$

ΔU_{sh} bu yerda: cho'tka kontaktida o'tish kuchlanishini tushishini bildiradi.

ΔU_{sh} kuchlanishni tushishi cho'tkaning markasiga bog'liq bo'ladi va GOST-2332-75 bo'yicha bir juft cho'tkalar tavsiya qilinayotgan tok qalinligida keltiriladi. Burchakli va grafitli cho'tkalar $\Delta U_{sh}=3$ V, metall-burchakli cho'tkalar $\Delta U_{sh}=0,5$ V.

Cho'lg'amda misni isrofi (1.164) bo'yicha hisoblanadi. Cho'lg'amdagi isroflarni J tok qalinligi va cho'lg'am massasini bilgan holda aniqlash mumkin(izolyasiyasiz)

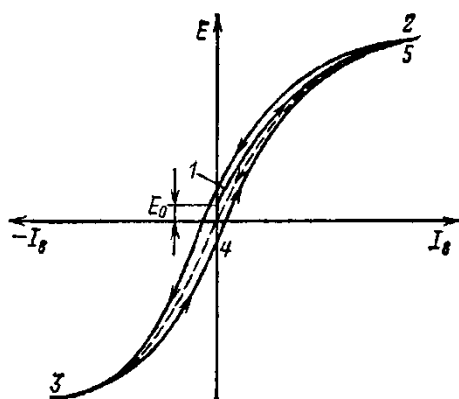
$$P_E = I_{Ya}^2 r_{Ya} = I_{Ya}^2 \frac{\rho l}{S} = \left(\frac{I_{Ya}}{S}\right)^2 \frac{\rho l S \gamma}{\gamma} = \frac{\rho}{\gamma} J^2 G. (5.42)$$

O'zgarmas tokning foydali koeffitsienti ta'siri

$$\eta = 1 - \sum P / (P_2 + \sum P). (5.43)$$

va $\eta = f(P_2)$ bog'liqlik boshqa mashinalardagi kabi ham shunday ko'rinishga ega bo'ladi (1.91. rasm qarang). $P_{max}+P_{st}$ elektr isrof P_a yig'indisiga tengligida FIK maksimalga tobora yaqinlashadi. Mustaqil qo'zg'atish generatorlar uchun $P_{max}+P_{st}$ ni doimiy isroflar deb qabul qilish mumkin, P_e ni bo'lsa o'zgaruvchan deb. Quvvati 10 kVt o'zgarmas tok generatorda quvvati $\eta = 83 \div 87$ % bo'lsa, quvvati 1000 kVt $\eta = 92 \div 96$ % bo'ladi.

Barcha qo'zg'atish sistemalarida o'zgarmas tokli generatorlar salt yurish tavsifi

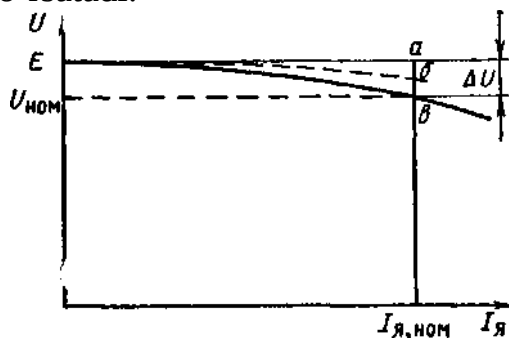


5.48-rasm. Salt yurish tavsifi.

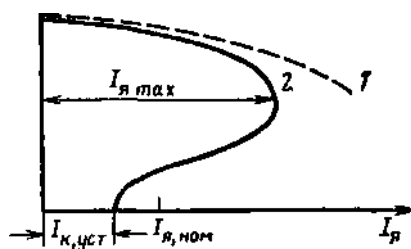
O'zgarmas aylanish chastotasini olib tashlaydi va qo'zg'atishga bog'liq bo'lmaydi, qachonki qo'zg'atish cho'lg'ami o'zgarmas tok manbasiga ulansa, tokni noldan $I_{v,nom}$ gacha o'zgartirishga ruxsat beradi. O'zgarmas tokli mashina salt yurishining tavsifi 5.48 rasmda taqdim etilgan. Salt yurish tavsifini 1 nuqtadan boshlab olib tashlash boshlanadi. Kachonki I_v nolga teng bo'lsa, yakorda E_0 qoldiq kuchlanish bor. Keyin yuqoriga ko'tarilgan tarmoq 1, 2 olib tashlanadi, keyin yuqoridan pastga tarmoq 2, 3 va yana I_v kamaytiriladi va 3, 4, 5 tarmoq olib tashlanadi. 4 nuqtada qo'zg'atish toki, xuddi 2 nuqtadagi kabi riverslanadi. 5.48 rasmda siniq chiziqda ko'rsatilgan tarmoq salt yurishning asosiy tavsifi deb ataladi. O'zgarmas tok mashinaning salt yuritish tavsifining o'ziga xosligi shundaki xuddi sinxron mashinalar kabi EYuK ning qoldig'i mavjudligi hisoblanadi va gisterezisda ilmoq nisbatan keng.

Salt yurish tavsifini olib tashlashdan oldin ishonch hosil qilish zarurki, cho'tkalar geometrik neytral bo'yicha turgan bo'lishi kerak. Buning uchun yakor cho'lg'ami chiqarmasiga qachonki yakor aylanmasa o'zgarmas tok o'rtasidagi shkalasida nol bo'lgan voltmetri ulansa, cho'lg'amdagi qo'zg'atish toki bo'lsa ulanadi va o'chiriladi. Geometrik neytral bo'yicha o'rnatilgan cho'tkada kuchlanishni sakrashi nolga teng yoki eng kamga teng. Odatda geometrik neytraldagi cho'tka zavodda o'rnatiladi. Cho'tkaning traversida va to'siqda neytral holatini qayd qiluvchi xavf-xatar bo'ladi.

Generatorning tashqi tavsifi $U=f(I_{ya})$ $n=const$ bo'lganda va $I_v=const$ kuchlanishni bog'liqligini ko'rsatadi.



5.49 – rasm. Tashqi tavsifi.



5.50 – rasm. Parallel (2) va mustatil qo'zg'atishli(1) generatorlarning tashqi tavsiflari.

5.49–rasmda ozod qo'zg'atishli generatorining tashqi tavsifi berilgan. $I_{ya} = 0$ (salt yurish) – generatorning chiqishida salt yurish E ning E_{YuKsi} . Yuklamasi ortishi bilan avval kuchlanish chiziqli qonun bo'yicha tushadi, asosan mashinaning ichki qarshiligining kuchlanishining tushishi evaziga, bundan keyin esa nominalga yaqin, yuklama sohasida chiziqli bo'lmagan qonun bo'yicha yakorning bo'ylama ta'siri harakatida magnitsizlanishi evaziga.

Nominalning taqriban yarmiga teng yuklamalardagi yakor ta'siri mashinaning maydoniga kuchsiz ta'sir qiladi va tashqi tavsifi chiziqli. Katta yuklamalarda yakorning ko'ndalang ta'siri mashinaning maydonini kuchsizlantiradi va kuchlanish yakor ta'siri evaziga o'zgaradi, shuningdek ichki qarshilikning pasayishi evaziga ham. 5.49 – rasmda ab qirqim ichki qarshilik evaziga kuchlanishning tushishini tavsiflaydi (I_{ya} dan chiziqli bog'liqligi), bv qirqimi esa yakor ta'siri evaziga (I_{ya} dan chiziqli bo'lmagan bog'liqligi). ΔU kuchlanishning pasayishi tashqi tavsifning bikirligini aniqlaydi. Foizlarda ifodalangan nominalli kuchlanish, ΔU qancha kam bo'lsa, shuncha tashqi tavsifining bikirligi shuncha yuqori.

Parallel qo'zg'atishli generator tashqi tavsifi (5.50– rasmdagi 2 egri chiziq) ozod qo'zg'atishli (1 egri chiziq) generatorning tavsifidan pastda yuradi, chunki parallel qo'zg'atishi bilan generatorining qo'zg'atish cho'lg'amida kuchlanish, kuchlanish o'sishida tushadi va qo'zg'atish toki kamayadi. Qo'zg'atish cho'lg'ami zanjiriga ulangan muvozanat rezistorining o'zgarmas qarshilikda tashqi tavsifi olinadi. Parallel qo'zg'atishli generator (2 egri chiziq) tashqi tavsifining ko'rinishi yuklama ortib ketganda ozod qo'zg'atishli (1 egri chiziq) generator tashqi tavsifidan farqlanadi. Yuklama ortib ketganda parallel qo'zg'atishli generatorning maydoni to'ntariladi va o'rnatiladigan tok qisqa tutashuvda $I_{k,ust}$ ortiqcha magnit oqimida aniqlanadi. $I_{k,ust}$ ning qiymati $I_{n,nom}$ dan kichkina bo'lishidan qat'iy nazar, parallel qo'zg'atishli generatorlarining qisqa tutashuvi xavfli, chunki qisqa tutashuvning o'tuvchi toki I_{yamax} sezilarli darajada ko'p bo'ladi. $I_{n,nom}$ dan I_{yamax} ning miqdorli oshib ketishida kollektorda aylanma olov yuzaga kelishi mumkin.

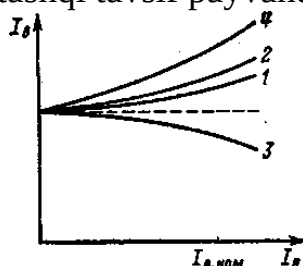
5.51 rasmda har xil qo'zg'atish sxemalarda o'zgarmas tok generatorining tashqi tavsiflari tasvirlangan.

Ketma – ket qo'zg'atishli generatorning tashqi tavsifi (3 egri chiziq) boshlanishida chiziqli sohaga ega, nominalga yaqin bo'lgan toklarda esa to'yinganlik egallab boradi va kuchlanishning o'sishi sekinlashadi. Ketma – ket qo'zg'atishli generatorlarni kamdan-kam qo'llashadi. Aralash qo'zg'atishli generatorlarida ketma –ket va parallel qo'zg'atishli cho'lg'amlari (5.46 – rasmda qarang) ularning MDS bir

biriga mos bo'lsa va ketma–ket cho'lg'am MDSi parallel qo'zg'atishli cho'lg'am MDSdan ayiriladigan bo'lib muqobil bo'lishiga muvofiq tarzda ulanishi mumkin. Qo'zg'atishli cho'lg'amlarini muvofiq tarzda ulanganda yuklama ortishi bilan kuchlanish o'sib boradi (4 egri chiziq). Cho'lg'amlarni muqobil tarzda ulaganda tashqi tavsif yumshoq bo'ladi (5 egri chiziq).

Aralashma qo'zg'atishlarda tashqi tavsif ko'rinishi ketma–ket va parallel cho'lg'amlarining MYUK larining o'zaro nisbatlariga bog'liq. Muvofiq tarzda ulanganda ketma–ketdi cho'lg'am shunday mo'ljallanganki, nominal yuklamada uning MYUK kuchlanishning pasayib ketishini va mashinaning ichki qarshiligida kuchlanishning pasayishini (5.52-rasm) yakorning ta'siri evaziga qoplaydi yoki havo bo'shlig'ida yuklamada kuchlanishning o'sishini ta'minlaydi oqimni yuzaga keltiradi (5.51 – rasm, 4 egri chiziq). $I_{ya,nom}$ dagi $\Delta U = 0$ bilan tashqi tavsifini olish uchun 5.51 – rasmda 4 egri chiziqda aniqlangandagi MDS bilan solishtirish bo'yicha MYUK ni bir necha marta kamaytirish kerak. Qo'zg'atish cho'lg'ami zanjirida to'g'irlagichsiz bikir tashqi tavsifni hamma I_{ya} o'zgarish oralig'ida $\Delta U = 0$ olib bo'lmaydi, chunki yakor ko'ndalang ta'sir bo'ylama tarkibi F_{qd} chiziqli bo'lmagan qonun bo'yicha, ketma–ket cho'lg'amining MYUK esa $F_s = I_{ya}\omega_s$ - chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradi.

Parallel va ketma–ket qo'zg'atish cho'lg'amini muqobil ulash maxsus tavsiflarni olish uchun qo'llaniladi. Eksponitsial tavsif deb nomlanuvchi tavsif yakorning tokini chegaralashni ta'minlaydi, shu bilan birga yuklama ortib ketganda momentni ham (5.53 - rasm). Shuningdek bunday tashqi tavsif payvandlash generatorlarida kerak.

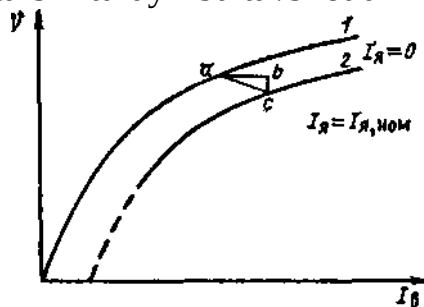


5.53 – rasm. Ketma – ket qo'zg'otishli cho'lg'amni muqobil ulashdagi tashqi tavsifi.

$U = \text{const}$ va $n = \text{const}$ bo'lgandagi rostdash $I_v = f(I_{ya})$ tavsifi kuchlanish o'zgarishsiz qolishi uchun yuklamaning o'zgarishidagi qo'zg'atish tokini qanday o'zgartirishni ko'rsatadi. 5.54 – rasmda har xil qo'zg'atish tizimlari bilan generatorlari uchun rostdash tavsiflari berilgan. Ketma–ket qo'zg'atish generatorlari uchun rostdash tavsiflari olinmaydi.

$U = 0$ va $n = \text{const}$ bo'lgandagiqisqa tutashuv $I_v = f(I_{ya})$ tavsifini yopiq yaqin yakor masofadagi cho'lg'amida oladi (5.55 – rasm). Qisqa tutashuv tavsifi chiziqli, chunki mashina to'yinmagan bo'ladi. Qisqa tutashuv toki $I_{ya,nom}$ ($1,2 \div 1,25$) dan oshib ketmasligi shart. Qisqa tutashuv tavsiflarini olishda yakor ruxsat etilgan miqdordan tokning oshib ketishida zanjirining uzulishini ta'minlovchi choralar ko'rilishi shart. Ortiqcha maydon $I_v = 0$ dagi qisqa tutashuv tokini aniqlaydi. Qisqa tutashuv tokining boshlang'ich qiymati juda ko'payib ketmasligi uchun tavsilotlarni olishdan oldin mashinani magnitsizlantiradi. Buning uchun qo'zg'atish cho'lg'amini uncha ko'p bo'lmagan vaqtga o'zgaruvchan kuchlanishga ulaydi. Elektromagnit

yuklamasi sathi bilan bo'lgan mashinalarda yo'nalishni o'zgartiruvchi bo'limlarda tokning sezilarli darajadagi ta'siri tufayli bu tavsilotlarni olib bo'lmaydi.

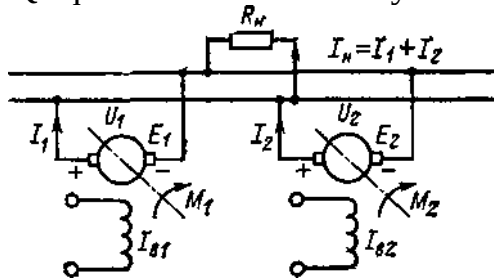


5.56 – rasm. Yuklamali tavsif.

5.56 – rasmda ko'rsatilgan salt yurish tavsifi (1 egri chiziq) va $I_{ya} = \text{const}$ va $n = \text{const}$ (2 egri chiziq) bo'lgandagi $U = f(I_v)$ kuchlanish tavsiloti reaktiv uchburchak deb ataluvchi abc to'g'riburchakli uchburchakning katetlarini aniqlashga imkon beradi. Qo'zg'atish tokining o'zgarishidagi kuchlanish tavsilotlarini olishda yakordagi tok o'zgarishsiz yo'li yakor zanjiridagi kuchlanish qarshiligini o'zgartirish bilan saqlanadi.

Reaktorli uchburchakda bc kateti – mashinaning ichki qarshilik $I_{ya}R_{vn}$ kuchlanishining tushushi, ab kateti – esa yakor ko'ndalang ta'sir etuvchisi ko'ndalang tarkib etuvchisining magnitsizlanish ta'siri evaziga tushadigan kuchlanishni tavsiflaydi.

O'zgaras tok generatorining asosiy tavsifi salt yurish, tashqi va to'g'irlash tavsilotlarini tashkil etadi. Qisqa tutashuv tavsifi va yordamchi yuklama tavsilotlar.



5.57 – rasm.

Mustaqil qo'zg'atishli generatorining parallel ishinig geometrik neytrali bilan shetkaning siljishidagi yakorning bo'ylama ta'siri shetkaning siljish yo'nalishiga qarab, parallel qo'zg'atish cho'lg'amida hosil qilinadigan maydon bilan mos yoki muqobil ravishda ta'sir etadigan mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha maydon hosil qiladi. Geometrik neytral bilan shetkaning siljishi evaziga yakor tomonidan mashina qo'zg'atishlanadi, va bunda statorda ketma – ketli cho'lg'am kerak emas. Biroq shetkalarning geometrik neytral bilan aralashishi kommutatsichning yomonlashishiga va yakor misining ishlatilishi kamayishiga olib keladi[8].

O'zgaruvchan tok mashinasi kabi o'zgaras tok generatori bir biri bilan parallel ishlashi mumkin. Odatda parallel ishlashiga ikkita va ba'zida bir nechta generatorlar ulanadi. Shuningdek cheksiz quvvat o'zgaras tok tarmog'iga faqatgina transportli tarmoqlarigina kirgizishimiz mumkin, shuning uchun generatorlarning bir biriga ta'sirini tahlil qilish kerak.

Parallel ish uchun mustaqil, parallel va aralash qo'zg'atishli generatorlar qo'llaniladi. Qoidaga binoan parallel ishga bir xil qo'zg'atish tizimidagi quvvati bo'yicha bir-biriga yaqin bo'lgan generatorlar ulanadi.

5.57 rasmda ozod qo'zg'atishli generatorlarning parallel ishlash sxemasi ko'rsatilgan. Generatorlarning parallel ishiga ulashda kuchlanish qutbliligi bir xil bo'lishi shart va $U_1 \approx U_2$. Generatorni umumiy shinaga ulaganda

$$\Delta U = U_1 - U_2 \text{ qancha kam bo'lsa shunchatok sakrashi kam bo'ladi.}$$

Generatorlarning parallel ishlashida generatorlarda va shinalarda kuchlanish yuklamalar bir xil va U ga teng. Parallel ishlashga ulangan ikkita generatorlar uchun:

$$U = E_1 - I_1 R_{vn1} = E_2 - I_2 R_{vn2}, \quad (5.44)$$

bu yerda: R_{vn1} va R_{vn2} muvofiq ravishda birinchi va ikkinchi generatorlarning ichki qarshiligi.

Birinchi va ikkinchi generatorlarining elektr yurutuvchi kuchi:

$$E_1 = c_{e1} \Phi_1 n_1; \quad (5.45) \quad E_2 = c_{e2} \Phi_2 n_2; \quad (5.46)$$

Generatorlarning birida yuklamani o'zgartirish uchun E_1 yoki E_2 o'zgartirish kerak. (5.74) va (5.75) dan kelib chiqib, EYUKni aylanish chastotasi va oqimini o'zgartirish yo'li bilan o'zgartirish mumkin.

Agar birinchi generatorga qo'yilgan M_1 momenti oshsa, birinchi generatorning aylanish chastotasi oshadi. M_1 oshishida E_1 oshadi va birinchi generator toki I_1 oshadi. Generator validagi momentni o'zgartirish uchun bug' turbinasiga, dizelga yoki boshqa motorga generatorni harakatga keltirishi uchun yuboriladigan aktiv quvvatni muvozanatlash kerak.

Qo'zg'atish tokining o'zgarishida oqim va EYUK o'zgaradi. Shuning uchun birinchi generatorning qo'zg'atish toki oshganda birinchi generatorning yuklama toki va E_1 o'sadi, bunda I_2 kamaymasa, M_1 oshishi kerak.

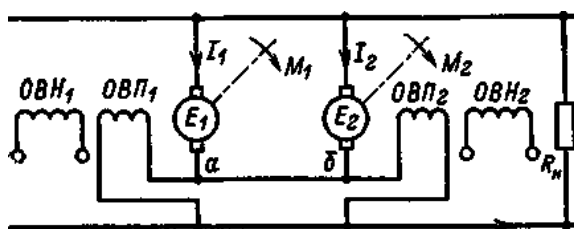
Parallel ishni tahlil qilayotganda shuni unutmaslik kerakki, tarmoqqa beriladigan o'zgarimas tok, generatordagi yo'qotishlarning ayimasi evasiza yuritmal motorlarning quvvatiga teng. Shuning uchun o'zgarimas tok shinalari o'zgarimas yuklamalarda birinchi generatorda yuklamani oshirish ikkinchi generatorning yuk ortib ketishiga olib keladi va teskarisi.

Parallel ishga har xil miqdorli qutblarga va aylanish chastotasiga ega generatorlar ulanishi mumkin, (5.73) dan ko'rinib turibdiki, parallel ishlashda EYUKlar bir xil bo'lishi shart.

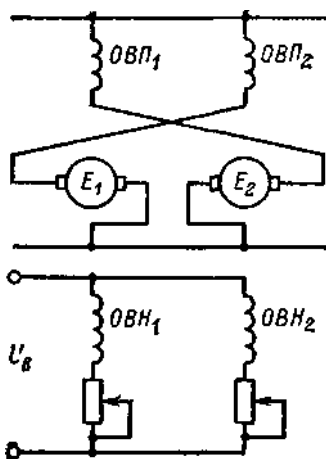
Parallel ishlashda generatorlarning tashqi tavsiflari bir xil bo'lishi lozim. Har xil bir biridan farqlanadigan tashqi tavsiflarda yuklamalar notekis taqsimlanadi, chunki I_n yuklama toki birinchi va ikkinchi generatorlardagi toklar yig'indisiga teng (5.58 – rasm). Bikir tashqi tavsifga ega bo'lganda generatorda yuk ortib ketadi. Bu holatda yuklamalarni to'g'irlashda birinchi generatorda qo'zg'atish tokini oshirish kerak. Har xil quvvatli generatorlarni parallel ishlashga ulaganda nisbiy birliklarda qurilgan tashqi tavsiflar iloji boricha bir biriga yaqinlashishi kerak. Parallel qo'zg'atishli generatorlarning parallel ishlashida yuqorida ko'rib o'tilgan qo'zg'atishga bog'liq bo'lmagan generatorlarning ishidan hech qanday farq qilmaydi.

Aralash qo'zg'atishli generatorlar 5.59 – rasm sxemasi bo'yicha parallel ishlashga ulanadi. Tenglovchi simlarsiz ab aralash qo'zg'atishli generatorlarning

parallel ishlashining iloji yo'q, chunki birinchi generatorning yakorida tokni bexosdan oshirib yuborsak bu generatorda ketma–ket ulangan cho'lg'amda OVP_1 da tokning oshishi evaziga oqim ko'payib ketadi. Bu shu generatorning toki oshib ketishiga va yuk oshib ketishiga, ikkinchi generatorda tokning kamayib ketishiga olib keladi. Birinchi generatorning aylanish chastotasining yuk ortib ketgandan so'ng oqim va birinchi generatordagi EYUK tushib ketadi, E_1 oqimdan pasayib ketadi va ikkinchi generatordagi EYUK E_2 yuklamani ikkinchi generator o'ziga oladi va I_2 tok oshadi. Parallel ishning imkonini cheklovchi imkonini cheklovchi tizimida tebranish paydo bo'ladi. Bir qutbli nuqtalarni ulovchi, tenglovchi sim generatorlardagi EYUKni muvozanatlaydi, bu esa umumiy shinadagi ikki generatorlarning turg'un ishini ta'minlaydi.



5.59 – rasm. Tenglovchi sim bilan aralash qo'zg'atishli generatorlarning parallel ishlashi.



5.60 – rasm. Qo'zg'atish cho'lg'amlarini bir-birini kesib o'tadigan qilib ulashdagi aralash qo'zg'atishli generatorlarning parallel ishi.

Gohida aralash qo'zg'atishli generatorlarning parallel ishlarida qo'zg'atish ketma – ket cho'lg'amlarining bir birini kesib o'tadigan qilib ulanishi bilan sxemasi qo'llaniladi (5.60–rasm). Ketma-ket qo'zg'atishli cho'lg'amlarining bunday ulanishi generatorlarning turg'un bo'lgan parallel ishini ta'minlab turadi.

Nazorat savollari.

1. Tenglovchi sim bilan aralash qo'zg'atishli generatorlarning parallel ishlashini tushuntiring?
2. Yuklamali tavsifni izohlang?
3. Ketma – ket qo'zg'atishli cho'lg'amni muqobil ulashdagi tashqi tavsifini tushuntirib bering?

Motorning elektromagnitli momenti

$$M_{em}=P_{em}/\omega_r. \quad (5.49)$$

Elektromagnitli moment mashinaning validagi momentni va yo'qotishlar bilan bog'liq momentlar P_{st} , P_{mex} va P_d tenglashtiradi.

U>E rejimi motori uchun va

$$U=E+I_{ya}R_{vn} \quad (5.50)$$

bu yerdan

$$I_{ya} = (U - E)/R_{vn} \quad (5.51)$$

(5.15) dan shuning dek $E = s\Phi\omega$, unda (5.79) dan aylanish chastotasi

$$\omega = (U - I_a R_{vn})/s\Phi \quad (5.52)$$

Aylanish chastotasi qo'yilgan kuchlanishga proporsional va oqimga teskari proporsional.

Agar (5.8) dan

$$I_{ya} = M/s\Phi_n \quad (5.53)$$

ni aniqlasak, unda (5.82) ni (5.81)ga qo'yib quyidagini olamiz

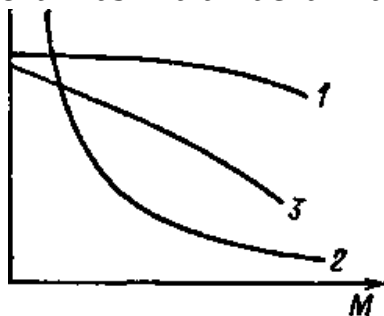
$$\omega = \frac{U}{s\Phi} - R_{vn}M/s\Phi^2 \quad (5.54)$$

Bu ifoda motorning mexanik tavsilotini tavsiflab beradi $U = const$ dagi $\omega = f(M)$.

O'zgarmas tok motorlarining asosiy tavsiflari ish va mexanik tavsiflaridir. Salt yurish va qisqa tutashuv tavsilotlari generatorli rejimdagi kabi olinadi.

Parallel qo'zg'atishli motorning ish tavsifi 5.62–rasmda tasvirlangan. Bu – tarmoqning o'zgarmas kuchlanishdagi U va qo'zg'atish cho'lg'aming zanjiridagi reostatning o'zgarmas holatidagi bog'liqliklar – M , R_1 , ω , I_{ya} va $\eta = f(R_2)$.

Motorning validagi yuklamaning P_2 oshishi bilan motorning validagi momenti M ham oshadi, aylanish chastotasi esa biroz tushadi. Yuklamaning oshishi tarmoqdan olinadigan, quvvatning R_1 o'sishiga olib keladi, va yakor tokining o'sishiga I_{ya} . FIK ning yuklamaga bog'liqligi elektr mashinalari uchun kabi ko'rinishga ega.



5.63–rasm. Har xil g'alayon sxemalaridagi motorlarning mexanik tavsiflari: 1 – parallelli; 2 – ketma – ketli.

R_1 , I_{ya} va $\eta = f(R_2)$ bog'liqliklar har xil qo'zg'atishli sxemalar bilan motor uchun oz o'zgaradi. Faqatgina $\omega = f(R_2)$ tavsiflari farqlanadi.

$\omega = f(M)$ tavsifi tarmoqning o'zgaras kuchlanishidagi va rostlash reostatlarining o'zgaras qarshiliklari motorning mexanik tavsiflari deb nomlanadi. 5.63–rasmda har xil qo'zg'atish sxemalaridagi o'zgaras tok motorlarining mexanik tavsiflari tasvirlangan.

Parallel qo'zg'atishli motorning mexanik tavsiflari – bikirdir. Ketma – ket qo'zg'atishli motor transportli qurilmalar uchun qulay mexanik tavsifga ega, bunda aylanish chastotasining kamayishi bilan moment o'sadi. Aralash qo'zg'atishli motorning mexanik tavsifi ketma – ket va parallelli qo'zg'atish motorining mexanik tavsiflari orasidagi orlig'idir.

Ketma – ket qo'zg'atishli motorlarda qo'zg'atish toki yakor tokiga teng, shuning uchun (5.82) dan

$$M = sk_{\Phi} I_{ya}^2, \quad (5.55)$$

shuningdek $\Phi = k_{\Phi} I_{ya}$.

Parallelli qo'zg'atishli motorlarda moment oqimga proporsionaldir, ketma –ketli qo'zg'atishli motorlarda esa tok kvadratiga, shuning uchun ketma–ketli qo'zg'atishli motorlar katta boshlang'ich momentga va katta qayta yuklanish qobiliyatiga ega.

Ketma–ketli qo'zg'atishli motorlar o'zining mexanik tavsifi xosligi tufayli elektr yuritmalarda qo'llash mumkin emas, bunda qarshilik momenti nolgacha kamayib ketishi mumkin, bu esa yakordagi tokning kamayishiga va oqimning pasayishiga olib keladi va motor tarqatishga ketadi.

Bunda aylanish chastotasi oshadi va mashina ishdan (qatordan) chiqishi mumkin.

Motorning yuklama bilan turg'un ishi motor va yuklama mexanik tavsifining ko'rinishiga bog'liq (5.64 – rasm). Motorning turg'un ishining mezoni

$$\frac{dM}{dn} < \frac{dM_c}{dn}. \quad (5.56)$$

U yoki bu yuklama uchun motorni tanlashda turg'unlik mezoni haqida eslash kerak.

O'zgaras tok motorining aylanish chastotasi (5.81) dan kelib chiqqan holda kuchlanishni o'zgartirish, rotor zanjiriga qarshilikni kiritish va oqimni o'zgartirish yo'li bilan muvozanatlash mumkin.

Aylanish chastotasini rostlashning eng tarqalgan usuli qo'zg'atish cho'lg'aming tokini rostlash yo'li bilan qo'zg'atish oqimini o'zgartirish. Qo'zg'atish tokining rostlashning eng oddiy usuli rostlash rezistorining qo'zg'atish konturida qarshiligini o'zgartirish (5.46 – rasimga a, b ga qarang).

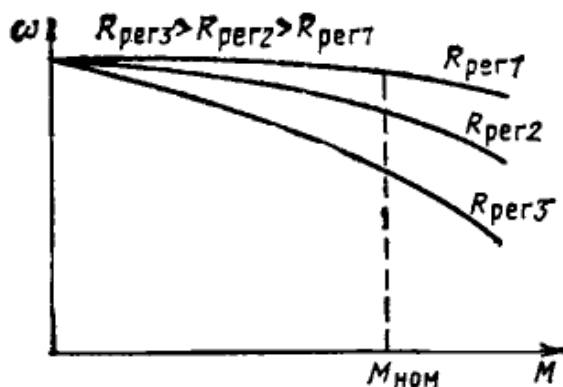
Qo'zg'atish tokining (5.83) ga muvofiq o'zgarishida 5.65–rasmda ko'rsatilganidek mexanik tavsiflarga ega. Bunday usulda aylanish chastotasini 1:1,5, 1:2 chegaralarda rostlash mumkin. Oqimning chuqur kamayishi ruxsat etilmaydi, chunki yakorning yuklamadagi ta'siri qo'zg'atish maydonini “ag'daradi”, bu esa motorning turg'unmas ishiga olib keladi. Oddiy parallelli qo'zg'atishli motorlarda oqimning oshishi maqsadga muvofiq emas, shuningdek motorlarning magnitli tizimi to'yingan. Motorning og'irligi oshgandagi va maxsus choralarni qabul qilishda to'yinmagan motorlarda aylanish chastotasini 1:5, 1:8 gacha rostlash chegaralarini oshirish mumkin. Bu usul nisbatan katta bo'lmagan chegaralardagi aylanish

chastotasini ta'minlasada, aylanish chastotalarining o'zgarish chegaralari katta bo'lmagan bu usul tejimli va keng qo'llanilishga ega.

Aylanish chastotasini R_{reg} kiritish yo'li bilan rostlash keng chegarali aylanish chastotasini o'zgartirishga imkon beradi, ammo bu usul tejimli emas, shuningdek rostlash rezistori kuch zanjiriga ulanadi va unda issiqlik ajraladi, yuklama tokining kvadratiga proporsionaldir.

Bu usuldagi rostlashning mexanik tavsiflari 5.66 – rasmda ko'rsatilgan. Har xil R_{reg} lardagi mexanik tavsiflari bir nuqtadan chiqadi, shuningdek sal yurishdagi ($I_{ya} \approx 0$) R_{reg} kuchlanish pasayishiga amalda ta'sir qilmaydi. Aylanish chastotasini qo'zg'atish tokini o'zgartirish yo'li bilan rostlashda mexanik tavsiflari $I_{ya} = I_{ya,k}$ nuqtasining yaqinida o'xshash, bu yerda $I_{ya,k}$ – qisqa tutashuvining turg'un toki. tarmoqning kuchlanishiga teng qisqa tutashuv toki motorning ichki qarshiligi va kuchlanishi bilan aniqlanadi.

Yakor zanjiriga qarshilikni kiritish yo'li bilan aylanish chastotasini rostlash, ketma-ket va aralash qo'zg'atishli motorlarda qo'llaniladi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorlar uchun aylanish chastotasini rostlash uchun shuningdek aktiv qarshilik bilan qo'zg'atish cho'lg'amini tarmoqlash qo'llaniladi. Xuddi o'sha chegaralarda R_{reg} ni yakor zanjiriga ketma-ket ulash aylanish chastotasini rostlash va qo'zg'atish cho'lg'amining tarmoqlanishi bir xil texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarni beradi.

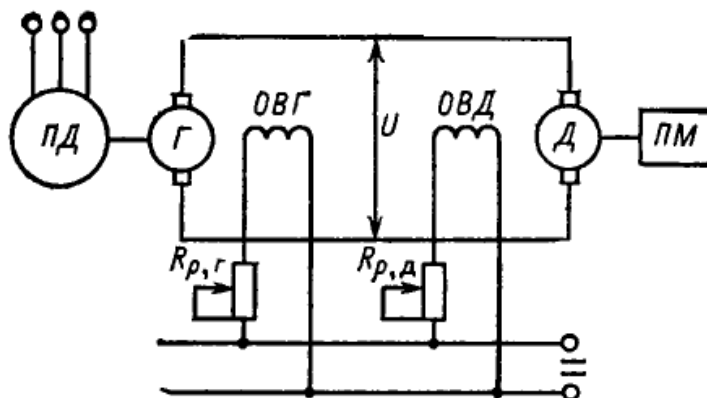


5.66 – rasm. Yakor zanjiridagi qarshilikni o'zgartirish yo'li bilan aylanish chastotasini rostlash.

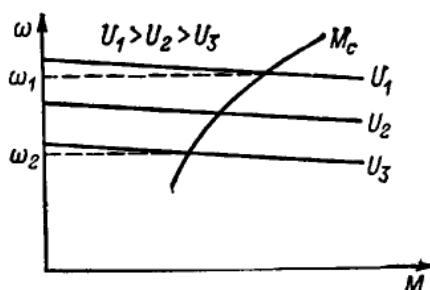
Motorga kuchlanish yuborish evaziga aylanish chastotasini rostlashda o'zgarmas tok motoridagi eng kam yo'qotishlar va eng yaxshi mexanik tavsilotlarga erishiladi. Ammo o'zgaruvchan tok mashinalari kabi bu usulda aylanish chastotasini rostlash kuchlanishni rostlashni ta'minlab beruvchi katta qurilmaga ega bo'lish kerak. Odatda bu elektromashinali qurilma. O'zgaruvchan tok tarmog'i bo'lganda bu qurilma ikkita elektrik mashinalardan iborat: asinxronli yoki sinxronli motorlar va o'zgarmas tok generatoridan. Avtonom tizimlarda o'zgarmas tok generatorini aylantiruvchi yuritmalı elektrmotorining o'rniga dizellar, ichki yonuv motori va bug'li yoki gazli turbinalar qo'llaniladi.

O'zgarmas tok motorining aylanish chastotasini yakorga uzatiladigan kuchlanishni o'zgartirish yo'li bilan rostlash usuli rostlashning keng doirasini ta'minlaydi. Bu usul kelib chiqishi bo'yicha o'zgaruvchan tok mashinalarida chastotali rostlash bilan o'xshash, chunki kuchlanish va chastotaning o'zgarish

qonuni $U/f=\text{const}$ ga yaqin va rostlash o'zgaras oqimda sodir bo'ladi. Chastotani mexanik o'zgartirib beruvchi kollektor yakorda oquvchi, kuchlanishga proporsional bo'lgan, yakor cho'lg'amiga qo'yilgan o'zgaruvchan tokning chastotasini o'zgartiradi. Aylanish chastotasini rostlash klassik sxemasi yakor qo'yilgan kuchlanishi evaziga generator – motor sxemasi hisoblanadi (5.67 – rasm). Bu sxemada ozod qo'zg'atishli generator yakori motorni ta'minlab turadi. Generatorda G va motorda D kuchlanish generatorning OVG qo'zg'atish cho'lg'amida tokning o'zgari evaziga o'zgaradi. Generator yuritmalı motorda aylantiriladi, bunda motor o'zgaruvchan tok tarmog'a bo'lganda asinxronli yoki o'zgaras tok motori bo'lishi mumkin. Generatorning aylanish chastotasi doimiy.



5.67 – rasm. Generator – motor tizimi: PD – Yuritmalı motor; $R_{r,g}$, $R_{r,d}$ – motor va generator cho'lg'amlarining zanjiridagi rezistorlar.



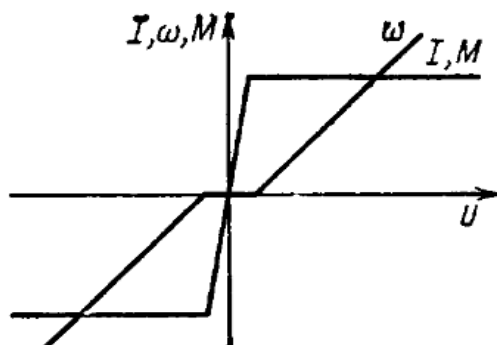
5.68 – rasm. Generator – motor tizimida aylanish chastotasini rostlash.

Motor va yuritmalı mexanizmning PM aylanish chastotasi kuchlanish evaziga rostlangani kabi, hamda motorning qo'zg'atish cho'lg'amidagi OVD tokni rostlashda. Generator–motor sxemasida kuchlanish o'zgariganidagi mexanik tavsilotlari 5.68 – rasmda ko'rsatilgani kabi o'zgaradi.

Generator – motor sxemasi motorning chastotasini 1:25, 1:100 va yuqori sohalarda o'zgartirishga imkon beradi. Bunda tejamli rostlash amalga oshiriladi, ammo uchta elektr mashinasi talab etiladi. Bu sxema qo'zg'atish generatori cho'lg'amida tokning yo'nalishini o'zgartirish yo'li bilan reversni (mashina harakatini teskari tomonga burishga imkon beradigan mexanizm) amalga oshirishga imkon beradi.

5.69–rasmda aylanish chastotasining, tokning, momentning kuchlanishdan o'zgarishi ko'rsatilgan. Generator–motor tizimining ustunligi shundaki, aylanish chastotasini rostdash yakordagi o'zgaras tokda sodir bo'ladi.

Yarim o'tkazgichli texnikalarining muvaffaqiyati bilan bog'liq G – D sxemasini tiristorli elektr yuritmalari siqib chiqarmoqda, bunda yuritmalari motor va generator kuch yarim o'tkazgichli o'zgartirgichga almashtiriladi. Ikkita mashinani kuch o'zgartirgichlarga almashinishiga qaramasdan tranzistorlarda yoki tiristorlarda G – D sxemasi reversivli yuritmalarda qo'llaniladi, chunki Yuqori yuk ortish qobiliyatiga ega bo'lib, tarmoqdagi elektr energiyasining sifatini yomonlashtirmaydi.



5.69 – rasm. Generator – motor tizimida reversdagi aylanish chastotasining, yakor tokining va momentning o'zgarishi.

Oxirgi yillarda o'zgaruvchan tok mashinasini chastotali rostdash joriy qilinmoqda. Biroq yarimo'tkazgichli chastotani o'zgartirgich bilan yangi sxemalarning paydo bo'lishi elektr yuritmalarda avvalgidek keng qo'llanilishga ega bo'lgan doimiy tok motorlarini siqib chiqarolmaydi. Doimiy tok motori bir qancha vattdan 10 000 kVt gacha tayyorlanadi, bunda aylanish chastotasining yuqori chegarasi kommutatsiya bilan chegaralanadi, pastkisi esa ishdagi turg'unlik bilan.

Nazorat savollari.

1. Yakor zanjiridagi qarshilikni o'zgartirish yo'li bilan aylanish chastotasini rostdash deganda nimani tushunasiz?
2. Generator – motor tizimida aylanish chastotasini rostdash qanday amalga oshiriladi?
3. Generator – motor tizimida reversdagi aylanish chastotasining, yakor tokining va momentning o'zgarishini tushuntiring?

5.8. O'zgaras tok mashinalarida o'tish jarayonlari.

O'zgaras tok mashinalarining dinamikasini differensialli tenglamalar (5.1) – (5.4) bo'yicha o'rganish mumkin. Bu chiziqli bo'lmagan tenglamalarni echish uchun EXM ni qo'llash kerak. Xozirgi vaqtda ishga tushirish, parallel qo'zg'atishli generatorlarining o'zi qo'zg'atishlanishi va boshqalar kabi bunday jarayonlar etarlicha obdon o'rganilgan.

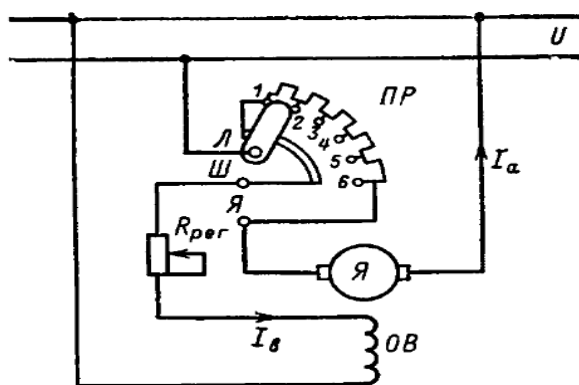
Doimiy tok motorining ishga tushishi uchta usulda amalga oshirilishi mumkin: to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulanish bilan, ishga tushirish rezistori bilan va yakor

zanjirining kuchlanishi pasayganda. Ishga tushirishda tez yurishi uchun etarli bo'lgan motor uchun xavfli bo'lmagan, ishga tushirish momentini ta'minlash kerak.

O'zgarmas tok motorlarining to'g'ridan-to'g'ri ishga tushirilishi katta bo'lmagan quvvatdagi motorlar uchun ruxsat etiladi, chunki ishga tushirishdagi birinchi momentida $n=0$ bo'lganda, mashinaning yakorida katta toklar oqadi. $n=0$ va $E=0$ bo'lganda yakor cho'lg'amidagi tok (5.80) dan:

$$R_{ya} = U/R_{\text{yn}}. \quad (5.57)$$

Ichki qarshilik katta emas, va ishga tushgandagi tok $(50 \div 100) I_{ya, \text{nom}}$ ga etishi mumkin. Bunday toklar kommutatsiyani yomonlashtirishi mumkin, bu kollektor yoyining yopilishiga olib kelishi mumkin. To'g'ridan-to'g'ri ishga tushirishga odatda quvvati yuz vatt gacha bo'lgan mashinalarga ijozat beriladi, ularda ichki qarshilik katta va ishga tushish toki $(5 \div 10) I_{ya, \text{nom}}$ dan oshmaydi, ishga tushirish 1 – 2 s da sodir bo'ladi.



5.70 – rasm. Parallelli qo'zg'atish motorining ishga tushish sxemasi.

Yakor zanjiriga ishga tushirish rezistorini yordami bilan ishga tushirish eng ko'p tarqalgan hisoblanadi. Parallelli qo'zg'atish motorini ishga tushirish sxemasi 5.70 – rasmda ko'rsatilgan.

Motor uchta chiqishga ega ishga tushirish reostati orqali tarmoqqa o'lanadi. L qisqichi tarmoqqa ulanadi, SH – qo'zg'atish cho'lg'amiga, YA – yakorga.

Ishga tushirishning birinchi momentida qo'zg'alish kontakti 1 kontaktga ulanadi va barcha qarshiliklar yakor zanjiriga kiritiladi, qo'zg'atish cho'lg'ami to'g'ridan-to'g'ri tarmoq bilan ulanadi. $n=0$ bo'lganda, yakordagi tok

$$I_{\text{я}} = U / (R_{\text{BH}} + R_{\text{n}}), \quad (5.58)$$

bu yerda: R_{n} - ishga tushirish reostatining qarshiligi.

R_{n} ning qiymati shunday tanlanadiki boshlang'ich momentida yakordagi tok $(1,4 - 2,5) I_{ya, \text{nom}}$ oshib ketmasin. $I_{ya, \text{nom}}$ tokining katta qiymati quvvati katta bo'lmagan mashinalarga tegishli.

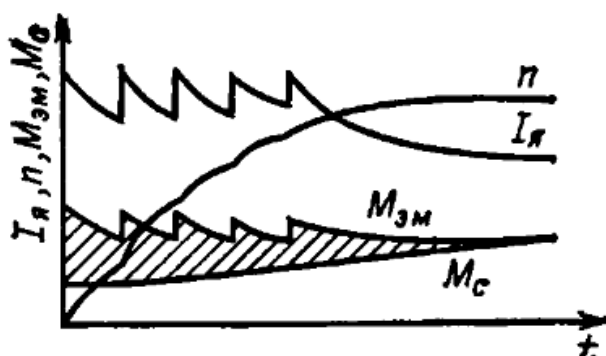
Motoring haydash o'lchami bo'yicha ishga tushirish reostati toboro chiqariladi va motoring yurishining tugallanishi bo'yicha u 6 holatida bo'ladi va yakor to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulanadi. Ishga tushirish bo'yicha tokning uzoq oqishi ruxsat etilmaydi, chunki u qisqa vaqt rejimida ishlashga mo'ljallangan.

Motorning tarmoqdan o'chirilishidagi qo'zg'atish cho'lg'ami yakor zanjiri orqali tutashadi va shu bilan birga qo'zg'atish cho'lg'amida qaytakuchlanishni va kontaktlarda yoyning hosil bo'lishidan xalos bo'ladi.

Sanoat o'zgarmas tok motorining avtomatik ishga tushishini ta'minlovchi boshqaruv stansiyalarini ishlab chiqarmoqda.

Ishga tushish reostatining aktiv qarshiligi ishga tushirishda pog'onalarda o'zgaradi va yakordagi tok tepib (kuchayib pasayib oqib) turadi. Tokning tepishi elektromagnitli momentning tepishini chaqiradi, bunda u qo'zg'atish oqimining va yakordagi tokning ko'paytirishga teng. Tok va momentning tepishi aylanish chastotasining tepishini chaqiradi (5.71 – rasm). $M_{em}=M_s$ bo'lganda turg'un rejimi boshlanadi. O'tish rejimida

$$M_{\partial\partial} = J \frac{d\omega_p}{dt} + M_c.$$

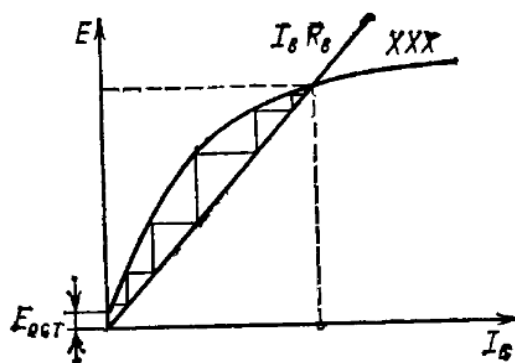


5.71 – rasm. Ishga tushirishdagi ω , I_{ya} , $M_{em}=f(t)$ bog'lanishlar.

Motorning tezlashib ketishida yakor cho'lg'amida EYUK $E=c\Phi\omega$ boshlanadi. ElektrYurituvchi kuch yakordagi tokni kamaytirib, qo'yilgan kuchlanishlarni muvozanatlaydi, shuning uchun ishga tushirishda oqim katta bo'lishiga intilish kerak, ya'ni rostlash rezistorining qarshiligi $R_{reg}=0$. Ketma-ket qo'zg'atishli motor katta ishga solish momentiga ega, chunki qo'zg'atish oqimi yakor tokida aniqlanadi[8].

Ishga tushirishda va turg'unlanish rejimida qo'zg'atish cho'lg'amlarning tarmoqdan o'chirilishiga ruxsat berilmaydi. O'chirish–qo'zg'atish cho'lg'aminging uzulishi–qo'zg'atish oqimning kamayishiga – EYUK ning kamayishiga va yakordagi tokning o'sib ketishiga olib keladi. Yakordagi tokning oshishi elektromagnitli momentning va aylanish chastotasining o'sishiga olib keladi. Demak, bunday sharoitlarda mashinadan foydalanish keng tarqalib ketadi. Yakor tokining va aylanish chastotasining o'sishi kommutatsiyaning yomonlashishiga olib keladi va buzulishi bilan tugashi mumkin.

Qulay o'tish jarayonlaridagi doimiy tok motorini ishga tushirish motorning rostlash kuchlanishi bilan doimiy tok manbasidan iste'mol qilganda amalga oshiriladi. Ishga tushirishning bunday sxemasini qo'llash namunasi generator – motor hisoblanadi. Biroq bu tizim yuqori qiymatga ega va katta quvvatli o'zgarmas tok mashinalarining aylanish chastotasini rostlash va ishga tushirish uchun qo'llaniladi.



5.72 – rasm. Parallel qo'zg'atishli generatorining mustaqil qo'zg'atishli: XXX – salt yurish tavsifi; $I_v R_v$ – qo'zg'atish cho'lg'aming volt – amperli tavsifi.

Parallel qo'zg'atishli generatorning mustaqil qo'zg'atishlanishi o'tish rejimiga tegishli, mustaqil qo'zg'atishlanadigan asinxron generatorlari bilan ko'p umumiy jixatlarga ega (§3.18 ga qarang). mustaqil qo'zg'atishlanish uchun qo'zg'atish nominal oqimining 1 – 5% tashkil qiluvchi, ortiqcha oqim kerak. Bu oqimdan katta bo'lmagan EYUK yakorda va qo'zg'atish oqimida tokni chaqiradi, bunda yangi qo'zg'atish oqimining oshib ketishiga olib keladigan, qo'zg'atish oqimini oshishiga olib keladi va hokazo. Qo'zg'atish oqimining o'sishi kuchlanish turg'un qiymatga yetmagunga qadar davom etadi.

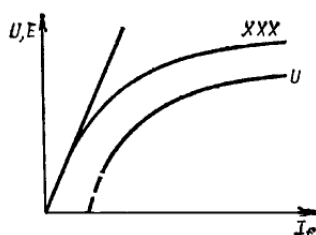
5.72 – rasmda parallel qo'zg'atishli generatorining o'ziqo'zg'atishlanish jarayoni sodda qilib ko'rsatilgan. O'tish rejimida qo'zg'atishlash konturining tenglamasi

$$u_B = R_B i_B + L_B \frac{di_B}{dt}, \quad (5.59)$$

bu yerda: L_v – qo'zg'atish cho'lg'aming induktivligi (yakor cho'lg'aming induktivligi hisobga olmasak ham bo'ladi).

Turg'unlanadigan rejimda qo'zg'atish konturidagi tok faqatgina aktiv qarshilikda topiladi. $\frac{di_B}{dt}$ ko'paytmasi qo'zg'atish cho'lg'amidagi tokning o'sish tezligini aniqlaydi. Salt yurish tavsifi va volt–amper tavsifining kesishish nuqtasi 5.72 rasmda grafik tarzda berilgan, ikkita tenglamaning echimini aniqlaydi.

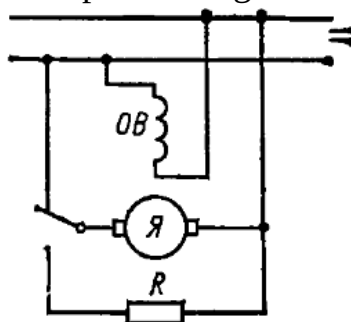
Agar salt yurish tavsifi va volt–amper tavsifining kesishishmasa, o'zqo'zg'atishlashish sodir bo'lmaydi. R_v ning juda katta qiymatida va aylanish chastotasi yetarli bo'lmaganda, EYUK kichkina bo'lsa buning iloji bo'lishi mumkin (5.73 – rasimga qarang). Qoldiq maydondan EYUK E ost va qo'zg'atish cho'lg'aming toki bu EYUK dan qarshi ta'sir qilsa, mustaqil qo'zg'atish sodir bo'lmaydi.



5.73 – rasm. Generatorning qo'zg'atishlanish sharti.

Shuni ta'kidlash kerakki, mashinaning magnitli tizimining to'yinganligi mashinaning mustaqil qo'zg'atishli turg'unli rejimini aniqlaydi. To'yinmagan mashinada mustaqil qo'zg'atish jarayoni o'rnatilmaydi, chunki salt yurish va volt – amper tavsilotlari kesishmaydi.

Qiyalik R_B ning kamayishida R_{B1B} to'g'ri chiziqli kamayadi va XXX ga urinib o'tishi mumkin (5.72 – rasmga qarang). Mustaqil qo'zg'atishlik mumkin bo'lgan, qo'zg'atish cho'lg'aminging aktiv qarshiligi, volt – amper tavsifi salt yurish tavsifiga urinma bo'lsa keskin (kritik) qarshilik deyiladi. Generatorning aylanish chastota o'zgarganda, keskin aylanish chastotasi haqida gapiriladi, bunda salt yurish tavsifi qo'zg'atish cho'lg'aminging volt–amper tavsifiga urinma bo'ladi.



5.74 – rasm. Dinamik to'xtash sxemasi.

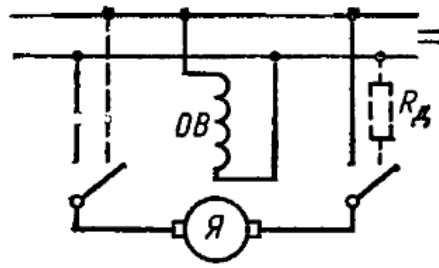
Yuqorida aytib o'tilganlardan kelib chiqadiki, generator chiqishlarida kuchlanishni qo'zg'atish konturining qarshiligini o'zgartirish, shuningdek to'yinganlikni va aylanish chastotasini o'zgartirish yo'li bilan ham rostdash mumkin.

Motorni tarmoqdan o'chirish o'chirgichda amalga oshiriladi. Yig'ilgan kinetik energiya evaziga motorning yuritmal mexanizm bilan aylanishi bir qancha vaqtga davom etishi mumkin. Agar qo'zg'atish cho'lg'ami tarmoqdan o'chirilmasa, aylanish vaqti kamayadi. Bunda po'latdagi yo'qotishlar evaziga motor tezroq to'xtaydi.

Ko'p hollarda to'xtatishni tezroq amalga oshirish kerak, gohida esa aniqlik bilan (stanoklar, liftlar, transportda). Doimiy tok motorini to'xtatishning asosiy uch xil turi mavjud:; dinamik to'xtatish, tokga qarshi to'xtatish va rekuperativ to'xtatish.

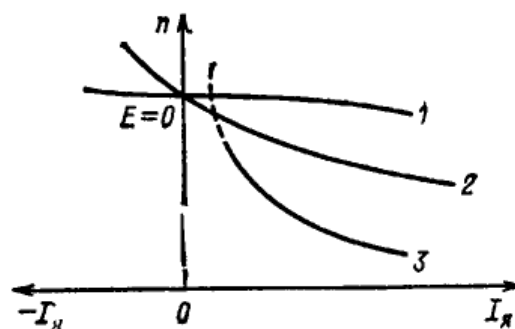
Dinamik to'xtatishda yakorni rezistorga qayta ulaydi (5.74 - rasm). Qo'zg'atish cho'lg'ami tarmoqqa ulanganidek qoladi. Bu holda to'xtatish tezroq amalga oshiriladi, chunki magnitsimidagi po'latda yo'qotishlarga qo'zg'atish yakorida elektr yo'qotishlar va qo'shimcha rezistor qo'shiladi.

Qarshi tokda to'xtatish yakorning chiqishlarini tarmoqqa qayta ulash evaziga yakor tok yo'nalishini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Bu sxema motorni tez to'xtatish uchun qo'llaniladi, katta miqdardagi issiqlik ajratadigan, kommutatsiyani yomonlashgan sharoitlarida ham to'g'ri keladi. Yakordagi tokni chegaralash uchun qo'shimcha qarshilik qo'llaniladi R_d .



5.75 – rasm. Qarshi tokda to'xtatish sxemasi.

Rekuperativ to'xtatishda motor generatorli rejimga o'tkaziladi, bundan keyin esa tarmoqdan o'chiriladi. Bu usulning avzalligi shundaki, rekuperativ to'xtatishda kinetik energiyaning qismi tarmoqqa beriladi, boshqa to'xtatish usullarda kinetik energiya issiqlikka aylanadi.



5.76 – rasm. Rekuperativ to'xtatish.

Motorni generatorli rejimga o'tkazish uchun EYUK ni oshirish kerak. E qachonki U dan katta bo'lsa, yakordagi tok yo'nalishini o'zgartiradi va motor generatorli rejimga o'tadi (5.76 - rasm). Rekuperativ to'xtatishda qo'zg'atish oqimi oshadi va EYUK o'sadi. $E > U$ bo'lganda tarmoqqa elektr energiyasi berib turiladi. Generatorli rejimda mashina aniq aylanish chastotasigacha ishlaydi, chunki qo'zg'atish oqimini chegaralangan doirada oshirish mumkin.

Rekuperativ to'xtatish transportda keng qo'llaniladi. Rekuperatsiya parallel va aralash qo'zg'atishli motorlarda amalga oshirilishi mumkin (5.76 – rasmda 1 va 2 egri chiziqlar). Ketma-ket qo'zg'atishli motorlar energiyaning rekuperyasiyasini aamalga oshirishga yo'l qo'ymaydi (5.76 – rasmda 3 egri chiziq). Parallel ishga ulaganda o'tish jarayonlarining tavsifi mashina tarmog'iga ulangan va doimiy kuchlanish tarmog'ining kuchlanish farqiga bog'liq. Tarmoq va mashinaning kuchlanishi bir biriga teng bo'lg'anda, tok uchquni minimal bo'ladi.

Doimiy tok mashinalarida o'tish jarayonlarida o'tish toklari birinchi navbatda kommutatsiyaga ta'sir ko'rsatadi. Kommutatsiyaning yomonlanishi tok uchqunlarini chegaralaydi va o'tish jarayonlarining oqish tavsifini va doimiy tok mashinasining tuzilishini aniqlaydi.

Nazorat savollari.

1. Ishga tushirishdagi ω , I_{ya} , $M_{em}=f(t)$ bog'lanishlarni izohlang?
2. Dinamik to'xtash sxemasi tushuntiring?
3. Rekuperativ to'xtatish qanday amalga oshiriladi?

5.9. O'zgarmas tok maxsus mashinalari

Ko'ndalang maydon elektrmashinali ko'chaytirgich (amplidin).

Erkin qo'zg'atishli generatorlarda qo'zg'atish quvvati R_V generator quvvatining R_2 ning 1 – 5 % ga muvofiq bo'ladi. Kuchayish koeffitsienti

$$k_y = P_2/P_V = 20 \div 100 \quad (5.60)$$

Avtomatik boshqaruv tizimlarida kuchayish oraliq bloklarini kamaytirish uchun, kuchaytirish koeffitsienti katta bo'lishi maqsadga muvofiq. Elektrmashinali kuchaytirgichlar – bu $10^3 - 10^6$ kuchayish koeffitsientiga ega bo'lgan doimiy tok generatorlari.

Ko'ndalang maydon elektrmashinali kuchaytirgich (EMK) yakorda ikki juft cho'tkalarga ega, bunda mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha cho'tkalari qisqacha yopiq qq (5.77 – rasm). Boshqaruv cho'lg'ami $OUda$ katta bo'lmagan tok I_1 mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha dd katta bo'lmagan boshqaruv oqimini F_1 yaratadi. Boshqaruv oqimi qisqa tutashuv konturida mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha I_2 tokini Yuboradi, bunda mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha oqimini F_2 Yuzaga keltiradi. F_2 oqimi cho'tkalarga nisbatan qo'zg'almas, bo'ylama maydonda aylanadigan, yakor cho'lg'aming o'ramlarida esa EYUK E_3 boshlanadi. Bu bo'ylama o'q cho'tkasida EYUK chiqish kuchlanishini U_{chiq} Yuzaga keltiradi. I_3 Yuklama toki yakorning ta'sir F_1 oqimiga qarshi Yunalgan oqimini F_3 yaratadi. Boshqaruv oqimida kuchlanish oqim ta'sirini o'rnini qoplash uchun ko'ndalang maydon EMKga kompensatsiyalash cho'lg'ami KO o'rnatiladi. Ko'ndalang maydon EMKga aniq kompensatsiyalash uchun kompensatsiyalash sozlanishi amalga oshiriladigan rostlash rezistoriga R_{reg} ega.

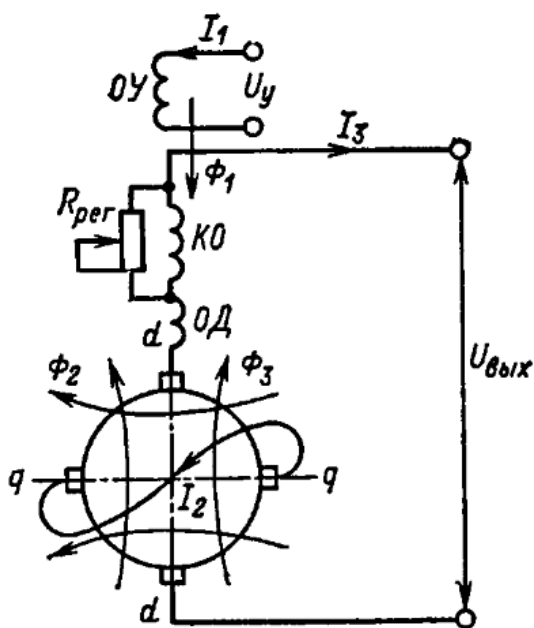
Yakor cho'lg'amlarining o'ramlarida toklar qisqatutashuv konturida I_2 va kuchlanish toklari I_3 yig'iladi. Yakorning cho'lg'aming har bir choragida toklar bir biridan farqlanadi, bu yakor cho'lg'amida elektr yo'qotishlarni hisoblashda bir qancha o'ziga xos xususiyatlarga ega.

Qo'shimcha qutblarning cho'lg'ami OD tokida I_3 oqib o'tadi.

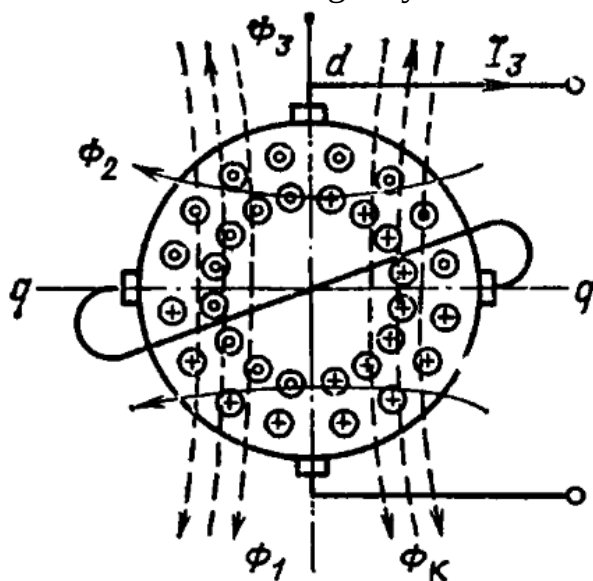
Shuningdek 5.78 – rasmda ko'ndalang maydon EMKda oqimlarning Yunalishi ko'rsatilgan. Shtirxi chiziqlarda kuchlanish tokidan yakorning oqim ta'siri F_3 va kompensatsiyalash cho'lg'aming oqimi F_k ko'rsatilgan. Mashinaning bo'ylama o'qida natijaviy oqimi boshqaruv cho'lg'aming oqimiga F_1 teng, chunki kompensatsiyalash cho'lg'aming MYuK va kuchlanish tokidan ko'ndalang ta'siri yig'indisi nolga teng.

5.79–rasmda yakor magnit o'tkazgichining ko'ndalang maydoni bilan EMK statorining ko'ndalang kesimi tasvirlangan. Yakor po'lati oddiy shaklga ega. Stator – tirqishlari bilan ochiqmas qutbli, har xil ko'rinishga ega. EMUga kiradigan qo'shimcha qutblar cho'lg'ami kommutatsiyalashni yaxshilash uchun kuchlanish toklari mashinaning bo'ylama o'qi 1 bo'yicha tishlarida joylashadi. Har xil kenglikdagi g'altakdan tarkib topgan, kompensatsiyalash cho'lg'ami 2, o'qi tirqishi d va katta tirqishi orasiga joylanadi. Katta tirqishda odatda kompensatsiyalash cho'lg'aming g'altagining bir tomoni va EMK ikki yoki turtta bo'ladigan, boshqaruv cho'lg'ami 3 da joylashadi. Magnit simining katta tirqishdan orqa

balandligi bir necha millemetr, shuningdek katta tirqishda faqatgina boshqaruv oqimi yopiladi.



5.77 – rasm. Ko'ndalang maydon EMK sxemasi.



5.78 – rasm. Ko'ndalang maydon EMKda oqim toklarining yo'nalishi.

Ko'ndalang maydon EMKga ikkita erkin qo'zg'atish generatori birlashgan. Birinchi kaskad boshqaruv cho'lg'ami va ko'ndalang qisqatutashuv konturi. Ikkinchi kaskad qo'zg'atish toki I_2 bilan ko'ndalang qisqatutashuv konturi va chiqishi bo'ylama toki I_3 va kuchlanishi U_{chiq} . Shunday qilib ko'ndalang maydon EMU quvvati bo'yicha kuchlanish koeffitsienti teng

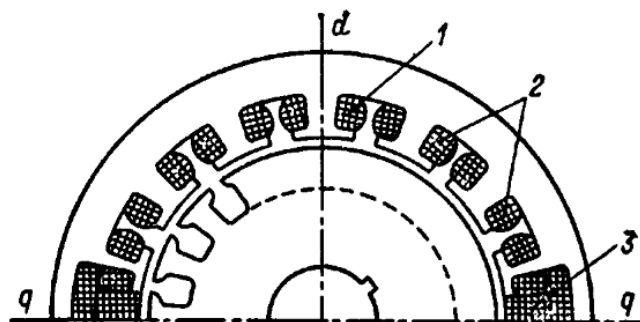
$$k_r = k_{r1} k_{r2}, \quad (5.61)$$

bu yerda: k_{r1} va k_{r2} –birinchi va ikkinchi kaskadlar quvvati bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti.

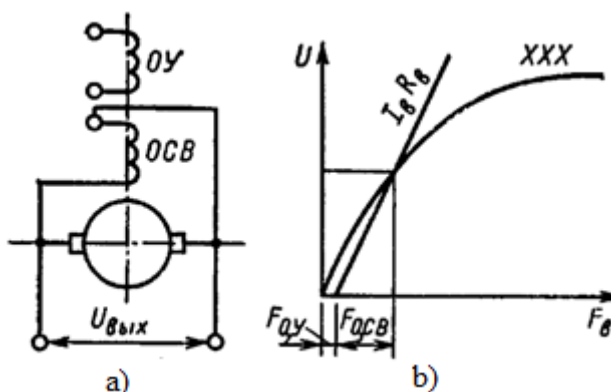
Odatda ko'ndalang maydon EMK yuritmalı motor bilan bitta agregatda bajariladi. EMK yuz vatt dan o'nlab kilovatt gacha quvvatda ishlab chiqariladi.

Bo'ylama maydon elektrmagnitli kuchaytirgichi. O'z vaqtida EMK o'nlab tuzilishlari taklif etilgan edi. Generatorlarning ishini tushunish uchun eng qiziqarli sxemasi bu bo'ylama maydon EMK sxemasidir (rototrola). Bu parallel qo'zg'atish generatori qo'zg'atish cho'lg'aming qarshiligi kritikdan bir nechga katta.

5.80– rasm, *a* bo'ylama maydon EMKsining sxemasi berilgan. Boshqaruv cho'lg'aming BCH (OU) va o'zqo'zg'atishli cho'lg'amda O'QCH (OSV) magnit yurituvchi kuchlari muvofiq xarakatlanadi. Bo'ylama maydon EMK kuchaytirish koeffitsienti o'z qo'zg'atishli cho'lg'am konturining kuchlanishi kritik qarshilikga qanchalik yaqinlashishiga bog'liq, ya'ni F_0 , u va F_0, ev nisbatlariga bog'liq (5.80 – rasm, *b*).



5.79 – rasm. Ko'ndalang maydon EMK tuzilishi.



5.80 – rasm. Bo'ylama maydon EMK.

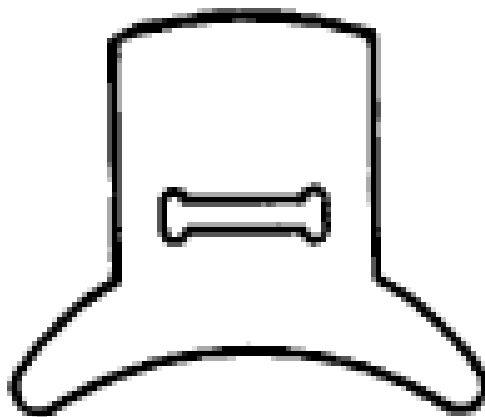
Bo'ylama maydon EMUda kuchaytirish koeffitsienti 10^2 – 10^3 etishi mumkin. Ikki pog'onali ko'ndalang maydon EMK sxemasini bajarib $k_r \approx 10^3 \div 10^6$ ni olish mumkin. Biroq doimiy tok mashinasining salt yurish tavsifi barqaror emas va katta kuchlanish koeffitsientda chiqish tavsiflarining tarqoqligi paydo bo'ladi.

Erkin qo'zg'atish generatoriga ko'ra o'z qo'zg'atishli generatorida vaqt doimiysi katta. Vaqt doimiysini kamaytirish uchun magnitli tizimni to'yinadigan qilib bajaradi, shuning uchun qutblarda qirqimlar qilinadi (5.81 – rasm). Qirqimlarda hosil bo'ladigan, ko'priklarni to'yinishi katta bo'lmagan MYuK larda salt yurish og'ma tavsiflarini ta'minlaydi, bu kritikga yaqin bo'lgan qo'zg'atish cho'lg'am qarshiligidagi generatorning turg'un ishiga yordam beradi.

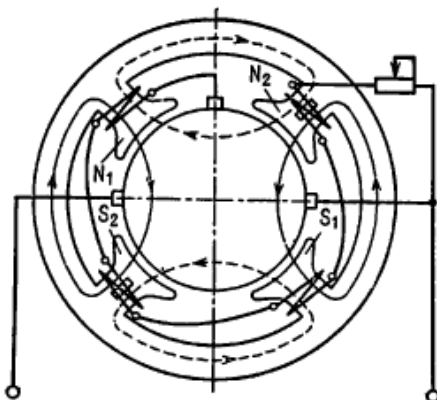
Elektr mashinalarining qo'zg'atish tizimida yarim o'tkazgichli asboblardan bilan statik qo'zg'atish tizimlari keng qo'llaniladi. Biroq elektr mashinali tizimlar boshqa tizimlar bilan solishtirganda muhim afzalliklarga ega, afzalligi shundaki, ularda

energiyaning elektr mexanik o'zgartirish sodir bo'ladi, statik tizimlarining ishi uchun esa elektr energiyasining manbasi talab qilinadi.

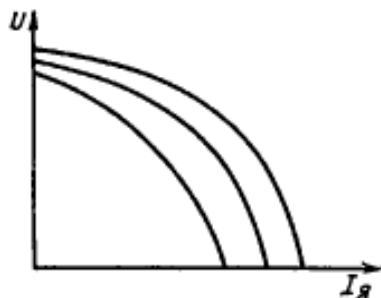
Bo'linuvchan qutbli generatorlar. Generatorlarning yuritmal mexanizmlar kerakli texnologik talablarini ta'minlovchi, maxsus tashqi tavsiflarni olish uchun, faqatgina qo'zg'atish cho'lg'amlarini ulash har xil kombinatsiyalari (5.10§ qarang)gina emas, balki doimiy tok generatorlarining maxsus konstruksiyalari qo'llaniladi.



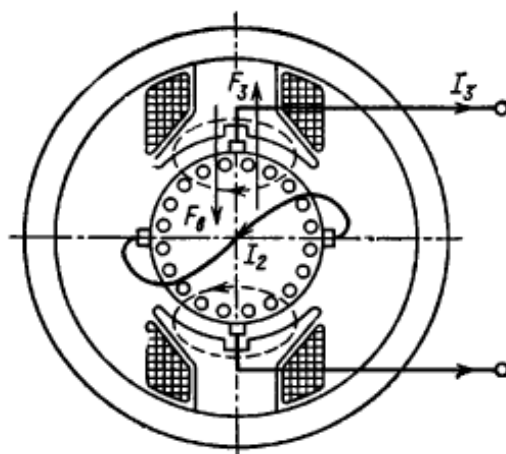
5.81 – rasm. To'yinadigan qutb.



5.82 – rasm. Ajraladigan qutblar bilan generator.



5.83 – rasm. Ajralgan qutblari bilan generatorning tashqi tavsiflari.



5.84 – rasm. Ko'ndalang qo'zg'atishli generator.

5.82–rasmda, bunda payvandlash asboblari uchun kerak bo'ladigan, tashqi tavsiflarga ega ajralgan qutblari bilan generator sxemasi tasvirlangan (5.83 - rasm).

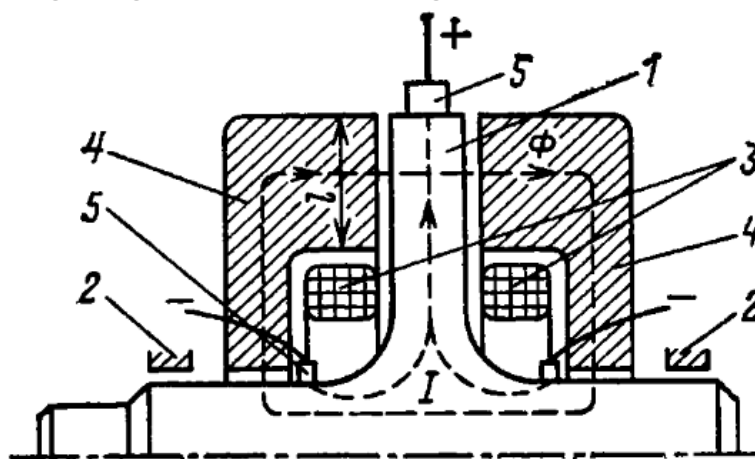
Ajralgan qutbli generatorda har bir qutb ikkita qutbga ajralgan. Birnomli qutblardan biri to'yingan, boshqasi esa – to'yinmagan. Shunday qilib N_1 , S_1 qutblari to'yinmagan, N_2 , S_2 qutblari esa to'yingan (5.82– rasm). To'yinmagan qutblarda N_1 , S_1 qo'zg'atish oqimiga qarshi yo'nalgan yakorning ko'ndalang ta'sir oqimi bu qutblar ostidagi havo bo'shliq maydonini kuchsizlantiradi. Biroq to'yingan qutblar ostida N_2 , S_2 to'yinish tufayli oqimning oshishi miqdoran sekinroq sodir bo'ladi va umumiy oqim yuklama o'sishi bilan kamayadi, bu esa kerakli bo'lgan tashqi tavsiflarni ta'minlaydi.

Qo'zg'atish cho'lg'ami birnomli qutblar orasida joylashgan uchinchi cho'tkaga ulangan (5.82 – rasm). Bu cho'tkaning kommutatsiya zonasida asosiy qutblar maydoni kuchsizlangan, qoniqarli kommutatsiya ta'minlanadi. Sal yurishdagi qo'zg'atish cho'lg'amida kuchlanish taqriban ishchi cho'tkalarda kuchlanishning yarmiga teng. Yuklama o'sishi bilan u kam o'zgaradi, chunki to'yingan qutb N_2 ostidagi oqim ahamiyatsiz tarzda oshadi. Qo'zg'atish cho'lg'ami doimiy kuchlanishga ulangan deb hisoblasak bo'ladi. Qo'zg'atish tokining amalda o'zgarmaganda generatordagi ajraluvchi qutbli oqim kuchlanish o'sishi bilan kamayadi, bu esa tashqi tavsiflarning pasayish ko'rinishini ta'minlaydi. Bitta tashqi tavsifdan boshqasiga o'tish (5.83 – rasm) qo'zg'atish cho'lg'am konturida qarshilikni o'zgartirish yoki uchinchi cho'tkani ko'chirish yo'li bilan amalga oshiriladi.

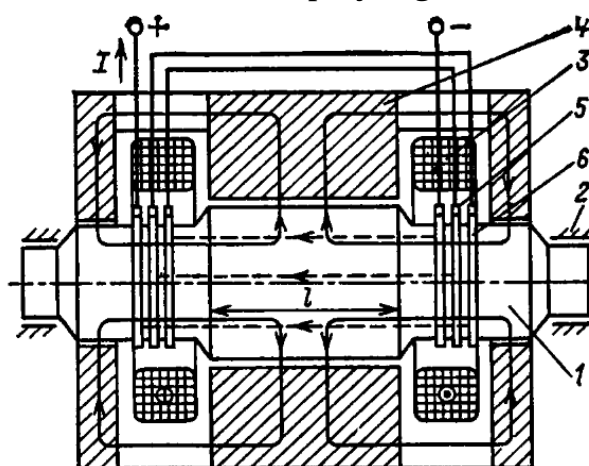
Ajralgan qutbli mashina kollektorida potensial egri chiziq salt yurishda oddiy mashina kollektorida potensial egri chiziq bilan o'xshash. Yuklama o'sishi bilan u qayishqoqlanadi, va to'yinmagan qutblar ostida kollektorli plastinalar orasidagi kuchlanish kamayadi, to'yingani ostida esa salt yurishda qanday bo'lsa shunday bo'lib qoladi.

Katta bo'lmagan quvvatli doimiy tok generatorida uchunchi cho'tka yordami bilan qo'zg'atish cho'lg'aming manbasi uchun kuchlanish olinadi, ammo oddiy magnitli tizimli uchta cho'tkali generatorlar kommutatsiyaning yomonligi tufayli, bunda uchunchi cho'tka qutb ostida joylashsa, kommutatsiya esa katta induksiya zonada sodir bo'ladi, amalda qo'llanilmaydi.

Payvandlash generatorining tavsifiga o'xshash tashqi tavsiflarni olish uchun ko'ndalang qo'zg'atishli generatorlar qo'llanishi mumkin. Ko'ndalang maydon EMU sxemasida agarda kompensatsiyalash cho'lg'amini chiqarib tashlasa ko'ndalang qo'zg'atishli generatorni olamiz (5.84–rasm). Bu mashinada qo'zg'atish cho'lg'amida o'zgarmas tokda kuchlanish tokining I_3 o'zgarishida qo'zg'atish cho'lg'ami F_v MDS bilan qarama–qarshi yo'nalgan yakorning ko'ndalang ta'siri F_3 mashinaning aniqlangan konstruktiv bajarilishida doimiy kuchlanishni va aylanish chastotasi keng chegarada o'zgarishida generator chiqishidagi tokni ta'minlaydi. Yuklamaning tokini o'sishi yakor ta'sir oqimining F_3 oshishiga olib keladi, bu esa qo'zg'atish oqimining kamayishiga va yuklama toki va o'zgarmas kuchlanishni saqlashga olib keladi. Aylanish yo'nalishining o'zgarishida chiqish kuchlanish qutblari o'zgarmaydi. Bunday generatorlar temir yo'l vagonlarida yoritish uchun qo'llanilgan. Hozirgi vaqtda vagonlarni yorug' qilish uchun tumshuqsifatli qutblar va kuch zanjiridagi to'g'irlagich bilan sinxronli generatorlar ishlatiladi.



5.85 – rasm. Unipolyar generator.



5.86 – rasm. Cho'tkalari ketma – ket ulangan unipolyar generator.

Unipolyar generatorlar va motorlar. Elektr mashinalari nazariyasida ular o'ziga xos o'rin tutadi. M. Faradey tomonidan 1821 yilda yaratilgan birinchi induktivli elektr mashinasi unipolyar motor edi (1.5–rasmga qarang). Doimiy tok oqadigan bu motorda o'tkazgich doimiy magnit atrofida aylanadi. Bunda elektr energiyani mexanikga o'zgartirish sodir bo'ladi. Sirpanuvchan kontaktning zanjirida

elektr toki bo'lish shartidagi o'tkazgich tok bilan doimiy magnit atrofida aylanadi. M.Faradey motorining sirpanish kontaktlarida elektr zanjirining aylanish va qo'zg'almas qismlari orasida chashkaga solingan rtutda amalga oshiriladi.

Unipolyar mashinalar boshqa mashinalardan farqli o'laroq umumlashgan elektr mashinasidan oddiy qurish bilan olib bo'lmaydi, chunki stator va yakorda doimiy tok oqadi. Biroq d va q o'qlarida elektr mashinalarining tenglamalariga e'tiborimizni qaratsak, shuni belgilash joizki, ular doimiy tok elektr mashinalarining cho'lg'amlarida oqadigan energiyaning o'zgarish jarayonini tavsiflaydi.

Unipolyar mashinalarning o'ziga xosligi shundaki, elektr zanjirining aylanishida sirpanish kontaktiga ega ikki yoki bir nechta qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan qismlar uchraydi. Kontaktsiz unipolyar mashinani qurish mumkin emas.

5.85-rasmda zamonaviy unipolyar generatorining sxemasi tasvirlangan. Val bilan bitta bolg'alachdan bajarilgan, po'latli massiv rotori 1 podshipniklarda 2 aylanadi. Qo'zg'atish cho'lg'ami ikkita po'latli chashkalarni 4 o'zida tasvirlagan va rotor vali bo'yicha, 3 stator bo'yicha qulflanadigan doimiy oqimni Φ yaratadi. Bu mashina to'rtta bo'shliqqa ega (rotor va stator orasida ikkita va ikkita stator va rotor vali orasida). Aylanish rotori bilan doimiy tok rotorning ichki va tashqi qismlarida joylashgan cho'tkalarda olinadi 5.

5.85-rasm sxemasi bo'yicha unipolyar generatorda cho'tkali kontaktning ishi qiyin sharoitlarda o'tadi, ayniqsa rotorning tashqi qismida joylashgan cho'tka uchun, bu yerda chiziqli tezlik 100 m/s oshib ketishi mumkin.

5.86– rasm sxemasi bo'yicha unipolyar mashinasida cho'tkali kontaktning ishlash sharoiti juda yaxshi. Bu mashinada cho'tkalar mis aylanalar 6 bo'ylab sirpanadi. Elektr yo'qotishlarni kamaytirish uchun rotor tirqishiga 1 yuklama toki oqadigan 1 misli shinalar joylashtirilishi mumkin. 5.85 – rasmda ko'rsatigan mashina kabi, 2–podshipniklar, 3–qo'zg'atish cho'lg'ami (oqim qalin chiziqlar bilan ko'rsatilgan), 4–stator, 5–cho'tkalar.

Unipolyar generatorlar odatda rotorda bitta o'ramga ega (5.85 – rasm). Shuning uchun bunday mashinalar past voltli. Ular katta doimiy toklarga mo'ljallangan.

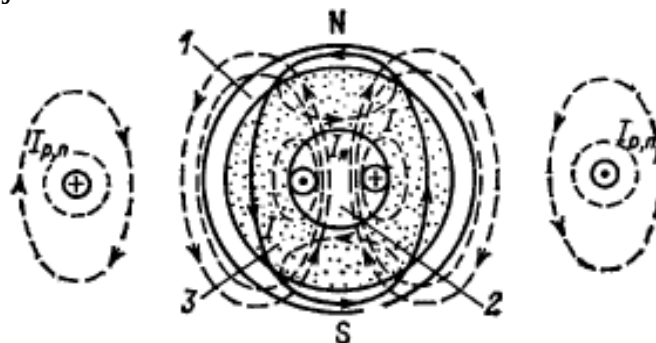
Unipolyar generatorlar bir necha voltli kuchlanishda va 100 – 150 kA tokda tayyorlanadi. Biroq unipolyar generatorlarda kuchlanishni oshirish mumkin. Buning uchun bir nechta cho'tkalarni va aylanalarni 5.86 – rasmda ko'rsatiganidek ketma-ket ulash kerak. Bu holda yakor ichida ajratib qo'yilgan o'tkazgichlar tizimi joylashadi.

Elektr yurituvchi kuch unipolyar generatorlarda bo'shliq induksiyasiga, rotorning aktiv uzunligiga va rotorning aylanish chastotasiga proporsional. Shuning uchun unipolyarli mashinalarni konstruksiyasini ishlashda induksiya va aylanish chastotasini oshirishga harakat qilishadi.

Unipolyar mashinalar hamma elektr mashinalari kabi dastlabki holatiga qaytuvchan. Ammo ko'pincha unipolyar mashinalar generator rejimida ishlatiladi. Unipolyar generatorlar elektrolizli vannalarni va elektr pechkalarini iste'mol qilish uchun qo'llaniladi, ya'ni qayerda past kuchlanishning doimiy toki talab qilinsa o'sha yerda.

M. Faradeyning unipolyar motori yaratilishidan so'ng bir yarim asrda yuzlab original unipolyar mashinalar yaratildi. Ammo, eng ajoyib unipolyar mashina bizning sayyoramiz yer hisoblanadi.

5.87–rasmda ko'rsatilgan yerning magnit maydoni eng sodda ko'rinishda, eritilgan yadroda I_{ya} va radiatsiyali mintaqada $I_{r,p}$ oquvchi doimiy toklarda yaratiladi. Yer sirtida ingichka po'stlog' 1 va yadro 2 oralig'ida magma 3 bor. Agar yadroning magma nisbatan va po'stlaqning magma nisbatan ozgina ko'chishini tasavvur qilsak, yer po'stlog'ining hisobga olmaydigan darajada ko'chishi evaziga unipolyar induksiyaning toklari I paydo bo'lishi mumkin, chunki elektr zanjirining qo'zg'almas va ko'chish sohalarini ajratish mumkin.



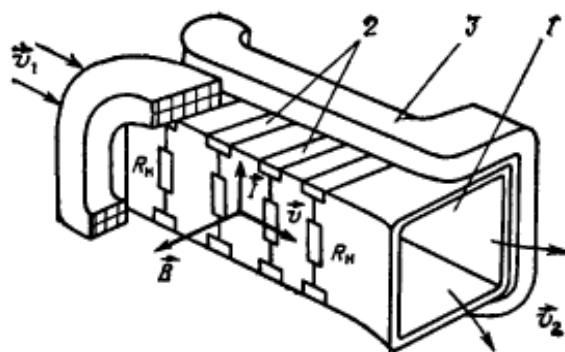
5.87 – rasm. Unipolyar mashina – yer sayyorasi.

Unipolyar mashinalaridagidek magnit maydon tok bilan bikir bog'langan, tok esa–yer yadrosi bilan. Yer po'stlog'ining ko'chishi toklarning murakkab joylashinuviga olib keladi, po'stloq va magma tutashadi va ko'chish tezligi, qatlamning qarshiligiga, magnit maydonga bog'liq bo'ladi. Bu baxaybat unipolyarli mashinada sirpanish kontaktlari mingkilometrli magmaning qatlamlari hisoblanadi, amalda yuzlab kilometrlab masofada bir biriga nisbatan qo'zg'almas bo'ladi.

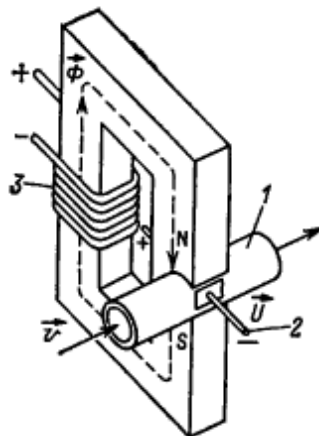
Yer sirtidagi magnit maydonning induksiya $0,3 \cdot 10^{-4}$ Tl ga yaqin. Mashinaning uzunligi minglab kilometrlarda, elektr zanjir sohalarining vertikal va gorizontalg nisbatan bir qancha santimetrga bir daqiqada ko'chishda, EYUK bir necha voltga etishi mumkin, toklar esa–g'oyat katta qiymatda bo'lishi mumkin.

Unipolyarli toklar ko'rinishi bo'yicha po'stloq va magma orasidagi chegaraga tutashgan qatlamda tutashadi. Ammo ular yerning sirtida ham tutashishi mumkin, chunki magma quruqlik sirtida va bir nechta dunyo okeani nuqtalarida, bir biridan minglab kilometrga qoluvchi chiqishlarga ega bo'lishi mumkin.

Unipolyar mashina – yer generator va motor rejimida ishlashi mumkin. Unipolyar induksiyaning butun yer shari masshtabida o'rganish muhim ahamiyatga ega va amalda qo'llash uchun foydali bo'lishi mumkin.



5.88 – rasm. MGD – generator.



5.89 – rasm. MGD – nasos.

Kuchsiz magnit maydonlarida unipolyar induksiya ob'ektlarning harakatlarining tezliklari katta bo'lganda va toklar tutashadigan, konturda qamrab olinadigan, maydonning o'zgarishida o'zini namoyon qilishi mumkin.

Magnitli gidrodinamik generatorlar. MGD-generatorlari–bu mexanik plazma yoki suyuqlikning energiyasini elektr energiyaga elektrmexanikli o'zgartirgich [16]. MGD – generatorlar elektrodlar joylashgan 2, MGD – kanal 1 dan tashkil topgan, magnit maydoni esa $\vec{B}$ g'altaklarda yuzaga keladi 3 (5.88 – rasm).

Plazma magnit maydonda tezlik $\vec{v}$ bilan harakatlanib, elektrodlarda doimiy kuchlanish yuzaga keltiradi va yuklamada R_n yuklama toki 1 oqadi. Yuklama toki kanalga ko'ndalang tutashadi. MGD – generatorning quvvatini oshirish uchun plazmaga ishqorli metallarning quyumi qo'shiladi, plazmaning harorati va tezligi oshadi. Kanaldagi induksiyaning 5 Tl gacha oshirish uchun yuqori o'tkazuvchan cho'lg'amlar bilan g'altaklar 3 qo'llaniladi.

MGD-generatorda plazma qismlarining mexanik energiyasi elektr energiyaga va issiqlikka aylanadi. Chiqish va kirish tezliklarining v_2 va v_1 va haroratlarning kirish va chiqishdagi t_1 va t_2 farqlari evaziga energiyaning MGD – generatoriga o'zgarishi amalga oshiriladi[14].

Plazmaning haroratning pasayishi evaziga doimiy og'irligi issiqlik energiyasining qismi mexanik energiyaga aylanadi, shundan keyin esa – elektriga aylanadi. Plazmaning kinetik energiyasi qancha kamaysa, shuncha issiqlik energiyasining katta qismi elektr energiyaga aylanadi.

MGD generatordagi elektrodlar bikir sharoitda ishlaydi–kanalning ichidagi harorati 2000 K gacha bo'ladi. Shuning uchun MGD – generator qisqa vaqt ish rejimlarida ishlatish maqsadga muvofiq.

MGD–generatordagi plazma yoki gazni elektr o'tkazuvchi suyuqlikga almashtirish mumkin. Kanalda suyuqlik barcha qatlamlarda bir xil tezlikda harakatlanadi deb hisoblab, elektrodlarda yuradigan EYUKni elektromagnit induksiya qonuni bo'yicha hisoblanadi.

Barcha elektr mashinalari kabi MGD – generatori motor rejimida ishlashi mumkin. Suyuq metallarni olib chiqarish uchun MGD–nasoslari qo'llaniladi (5.89 – rasm). MGD – nasoslaridagi doimiy tok elektr energiyasini suyuqlik harakati mexanik energiyasiga aylanadi (5.89 – rasm). Bunday nasoslar atomli elektrstansiyalarida birinchi konturi suyuq metalli issiqlik tashuvchini chiqarish uchun keng qo'llaniladi. 5.89 – rasmda belgilanishlari 5.88 – rasmdagidek.

Gohida deyishadiki MGD – generatorida to'g'ridan – to'g'ri issiqlik energiyasini elektrikga aylantirish sodir bo'ladi. Bunda shu nazarda tutiladiki, MGD – elektr stansiyalarida issiqlik energiyasini mexanikga aylantiruvchi, bug' turbinasi talab qilinmaydi. MGD – generatorlarida ionlashgan gaz yoki plazma zarralari bug' generatorida tezlanish olib, MGD – generatori kanaliga mexanik energiya beradi, bu yerda u elektr energiyaga aylanadi. MGD – kanalida ishlatilmagan issiqlik energiyasi klassik sikl bo'yicha elektr energiyaga aylantiradi bug'generator – bug'li turbina – turbogenerator. Hozirgi vaqtda MGD – generatori 500 MVt xizmat kanali ikki hafta muddatli loyihalangan.

5.88 – rasm sxemasi bo'yicha ochiq siklli MGD – generatori Faradeyli turidagi generator deyiladi. M.Faradey 1834 yilda qirg'oqlar orasidagi kuchlanishni o'lchadi R. Temzaning o'ng va chap qirg'oqlardagi suv oqimiga voltmetrni uladi. Suv oqimi yerning magnit maydonida harakatlanadi, bu MGD – generatorining kanaliga o'xshaydi, daryoda EYUK bo'lishi mumkin.

Unipolyarli induksiya hodisasi samoda va yerda energiyaning o'zgarish yer sharida ko'rib chiqiladigan jarayonlariga muhim ta'sir ko'rsatadi. Energiyani elektrmexanik o'zgartirish ko'pincha yerdagi va samodagi energetik jarayonlarni aniqlaydi.

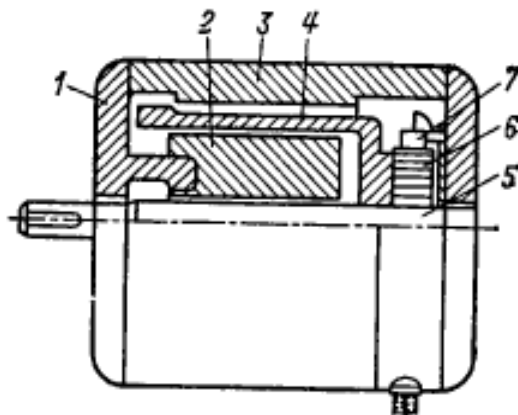
Yer va boshqa samo jismlaridek energiya manbalarini texnik qo'llashga odamzot endigina etib keldi. Energiyani elektrmexanikli o'zgartirish bu kitobda ko'rib chiqiladigan nazarisi o'z elektrmexanikasining tarkibli qismi bo'lib hisoblanadi.

O'zgarmas tok ijro motori. Ular avtomatik boshqaruv tizimida keng qo'llanilishga ega. O'zgarmas tok motori oqimning va kuchlanishni o'zgarishi evaziga chastotani keng ko'lamda tejamkor rostdashni ta'minlaydi. Yaxshiyamki yakor cho'lg'ami ko'pfazali, doimiy tok motori aylanish chastotasining yuqori tekislikda bo'ladi.

Doimiy tok ijro motorini konstruksiyasini ishlashda yuqori tezkorlikni ta'minlashga harakat qiladi. Elektrmexanik vaqt doimiysini kamaytirish usullaridan biri inersiya momentining kamayishi hisoblanadi.

Kaminersiyali ijro motorlarning asosiy turlari butun rotorli va yakor bosma cho'g'aming motorlari hisoblanadi.

Doimiy tok butun rotorli motorlar o'zgaruvchan tok butun rotorli motorlari kabi ikkita statorga ega (5.90). Podshipnikli shchitlarning 1 birida doimiy magnit 2 mahkamlangan. Magnitli oqim korpusi 3 bo'yicha tutashadi. Yakor cho'lg'ami ikki qatlamli qilib bajarilgan va uni maxsus kompaunda to'ldirishda rotor 4 hosil bo'ladi. Qoliplashdan so'ng yaxlit butun valga 5 o'rnatilgan, silindr hosil bo'ladi. Cho'lg'amlar oxiri cho'tkalar 7 o'rnatilgan, kollektorga 6 chiqarilgan. Doimiy tok butun rotorli motorining bir afzallik tomoni yaxshi kommutatsiyasiga egaligidadir.



5.90 – rasm. O'zgarmas tok kollekli motori.

DPR seriyasi 0,12 dan 37 Vt gacha quvatli motorlarini o'z ichiga oladi, ular FIK yuqori, vaqt doimiyliigi esa xuddi shu quvvatdagi oddiy motorlarga qaraganda 2 – 2,5 marta kamdir.

Bosma cho'lg'amli motorlar (5.91 – rasm) izolyasiyali materialdan qilingan diskli yakorga ega, ikki tomonlama bosma cho'lg'ami joylashgan. Bosma cho'lg'ami folgadan bajariladi, cho'tkalari to'g'ridan – to'g'ri cho'lg'am bo'yicha sirpanadi. Bosma cho'lg'amli motor g'o'lali tuzilishga ega.

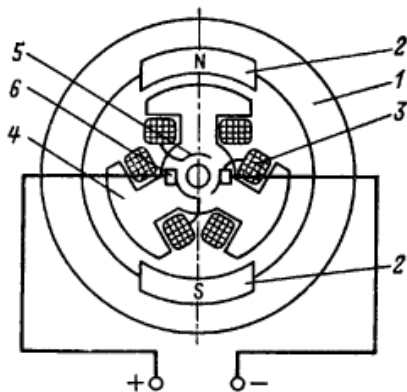
Bolalar o'yinchog'i uchun doimiy tok motori. Ular yiliga bir nechta million miqdorda ishlab chiqariladi. Motor statori (5.92 – rasm) doimiy magnitlar 2 mahkamlangan, korpusdan 1 tashkil topgan. Motor yakori – ochiq qutbli va qutblarda 4 joylashgan, uchfa ali o'ralgan cho'lg'am 3 oladi. Cho'lg'amning uchta uchi uch plastinali kollektorga 5 ulangan, boshqa uchlari o'zaro ulangan. Shu tarzda yakor cho'lg'ami uch fazali yulduzga ulanadi. Kollektorli plastinalar bo'yicha cho'tkalar 6 sirpanadi, ularga batareyalardan doimiy kuchlanish yuboriladi.

Bu oddiy doimiy tok mashina misolida o'zgaruvchan tok va doimiy tok mashinalarining umumiyiligini ko'rsatish mumkin. Agar mashinaning yakor cho'lg'amiga 5.92 – rasm uch fazali o'zgaruvchan tokni yuborsak, statorga aylanish imkonini bersak, doimiy magnitdan oddiy qo'zg'atishli sinxron mashina olinadi. Bu holda kollektor cho'tkalar bilan kerak emas. Motor doimiy tok manbasiga ulanganda, chastotani o'zgartirgich kerak. Oddiy ko'rinishda – bu uch plastinali kollektor.

O'zgarmas tok mashinalari tezlanish datchigi, holat datchiklari taxogeneratorlar va boshqa indikatorli qurilmalar sifatida keng qo'llaniladi



5.91 – rasm. Bosmali cho'lg'am yakori.



5.92 – rasm. Uch plastinkali kollektor bilan doimiy tok motori.

O'zgarmas tok taxogeneratori. Bu doimiy magnitlardan qo'zg'atishlani bilan yoki elektrmagnitli qo'zg'atish bilan doimiy tok to'yinmagan generatori. Taxogeneratorning chiqish tasnifi $U=f(n)$ –to'g'ri chiziq. Yakorning ta'sir reaksiyasi mashina to'yinishli yoki to'yinmaydigan qilinishi evaziga o'rnatiladi. U yoki bu holda generator salt yurish tavsifining chiziqli qismida ishlaydi. O'zgarmas tok taxogeneratorlarining avzalligi o'zgaruvchan tok generatoriga solishtirsak sezgirlikda kam og'irlikga ega.

Chegaralangan quvvatdagi o'zgarmas tok mashinasi. O'zgarmas tok mashinalarining chegarali quvvati temiryo'l gabaritlarida aytiladigan chegarali diametrda $D_{max} \approx 4$ m aniqlanadi. Konstruktorli qurish malakasidan maksimal chiziqli yuklama A taqriban $550 \cdot 10^2$ A/m ga teng bo'ladi. Asosiy cheklov – kollektorli plastinalar, hamda kommutatsiyalar oralig'idagi o'rtacha kuchlanishi. Kompensatsiyalash cho'lg'amli mashinalar uchun $U_{k,sr}=30$ V, kompensatsiya cho'lg'amlarda 18 V.

O'zgarmas tok mashinalarining chegarali quvvatini quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin.

$$P = 3AU_{k,sr} \frac{\vartheta_a}{n} \frac{a}{p\omega_c}, \quad (5.62)$$

bu yerda: ϑ_a - yakorning chiziqli tezligi (70 – 80 m/s dan oshmagani qabul qilinadi); ω_c - seksiyadagi o'ramlar soni (chegarali quvvat mashinasiga, qoidasi bo'yicha, $\omega_c = 1$).

$$\vartheta_a = 70 \text{ m/s}, \omega_c = 1, A = 550 \cdot 10^2 \text{ A/m bo'lganda}$$

$$Pn \approx 2 \cdot 10^6 \text{ kVt} \cdot \text{ayl/daq}. \quad (5.63)$$

(5.91) dan kelib chiqadiki, $n = 1000 \text{ ayl/daq}$ bo'lganda chegarali quvvat 2000 kVt ga teng, $n = 3000 \text{ ayl/daq}$ bo'lganda – 600 kVt, $n = 6000 \text{ ayl/daq}$ bo'lganda – 300kVt, $n = 12000 \text{ ayl/daq}$ bo'lganda esa 100 kVt gagina teng bo'ladi.

Kollektorli plastinalar orasidagi o'rtacha kuchlanish doimiy tok mashinasining kuchlanishini cheklaydi va uni 1 – 2 kV dan oshirishga imkon beradi.

Amalda elektr mashinalarning qurilishi o'zgaras tok mashinalarda 10 – 20 kV da bajariladi. Generatorda ishonchli ishini ta'minlash uchun kollektorda cho'tkalar orasiga to'siq qo'yiladi, bu cho'tkalar orasida yoyining paydo bo'lishiga qarshilik qiladi [10].

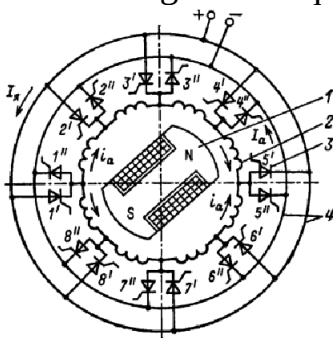
Ko'rib chiqilgan maxsus o'zgaras tok mashinalari qo'llaniladigan doimiy tok mashinalarining faqatgina qisminigina egallaydi. Bu konstruktiv ko'rinishlarning o'zgarishi o'zgaras tok mashinalarida energianing elektr mexanik o'zgartirish fizik jarayonlarning qo'llash imkonini ko'rsatadi.

Nazorat savollari.

1. Chegaralangan quvvatdagi o'zgaras tok mashinasi qanday ishlaydi?
2. O'zgaras tok taxogeneratoridan qanday maqsadda foydalaniladi?
3. Magnitli gidrodinamik generatorlar qanday prinsip asosida ishlaydi?

5.10. Ventilli motorlar.

Umumlashgan mashinalarni qarab chiqilganda shu narsa belgilanganki, doimiy tok mashinasida chastotani maxenik o'zgartirish kollektor tiristor yoki tranzistorlarda chastotani yarimo'tkazgichli o'zgartirgichga almashtirilishi mumkin. Ventilli motorlar – bu elektr mashinasi bo'lib, yarim o'tkazgichli kommutatorda boshqaruv bilan funksional umumlashgan. Ular konstruktiv belgilari va tavsifi bo'yicha kollektorli motorlarga yaqin. Shuningdek kollektorli motorlardagi kabi, ventilli motorlarda tarmoq chastotasiga bog'liq bo'lmagan valning aylanish chastotasiga ega, aylanish chastotasini rostlash qo'zg'atish oqimini va yakor tokini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Ventilli motorlar yuqori ishga tushish momentlarga va yaxshi elektr ko'rsatkichlariga ega bo'ladi. Kollektorli cho'tkali tugunlarning bulmagani tufayli ventilli motorlar katta ishonchlilikga va uzoq ishlash afzalliklariga ega.



5.93 – rasm. Ko'p fazali ventilli motor.

Ventilli motorlar kollektorlilari kabi, har xil tuzilmalarga va cho'lg'amlarning ulanish sxemalariga ega bo'ladi.

5.93–rasmda ventilli motorning sxemasi tasvirlangan, bunda doimiy tok mashinasi kabi xuddi shunday yakor cho'lg'amiga ega. Ventilli motorning rotorida 1 qo'zg'atish cho'lg'ami yoki doimiy magnitlar joylashgan. Stator teshiklarida ko'pfazali yakor cho'lg'ami joylashgan, bunda seksiyalar yoki guruh seksiyalari yarimo'tkazgich bloki orqali 3 taqsimlash shinalariga 4 va tarmoqqa ulanadi.

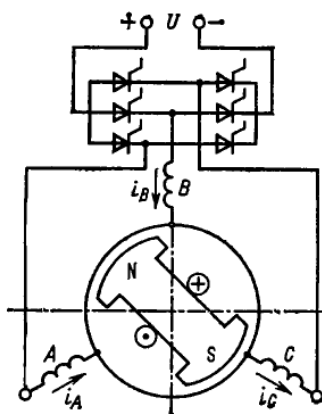
5.93–rasmda ko'rsatilgan holatda 1' va 5'' tiristorlari ochiq. Stator cho'lg'amida yakor toki I_n ikkita parallel o'ramlar bo'yicha o'tadi, doimiy tok mashinalariga yuzlangan kabi aylanish momenti yuzaga keladi. Rotorning harakatida tiristorlarning holat rotorlari datchiklarida qayta ulanishi sodir bo'ladi. Rotorning soat smili bo'yicha $360/m$ burchakga buralishida, bu yerda m –yakor cho'lg'aming fazalar soni (ko'rilayotgan mashinada $m=8$), tiristorlarning qaytaulanishi sodir bo'ladi. 2' va 6'', tiristorlari yonadi, 1' va 5'' esa o'chiriladi va hokazo.

Shunday qilib, rotorning aylanishida yakor maydoni ham aylanadi. Bunda oddiy mashinada kabi, energiyaning elektr mexanik o'zgarishi sodir bo'ladi.

Reversda juft tiristorlar 1' va 5'', 2' va 6'' va hokazolar ishlaydi. Tiristorlarni o'chirib yoqish rotorning holatiga ta'sirlanuvchi, maxsus datchiklardan kuchlanish impulslarini yuborish yo'li bilan amalga oshiriladi.

5.93–rasm sxemasi bo'yicha kommutator judda katta bo'lib ketadi va ventilli motorlar bu sxema bo'yicha amalda qo'llanilmaydi. Kommutatorni soddalashtirish uchun mashinaning fazalar sonini kamaytiril kerak.

Ventilli motorning sodda sxemasi ikki fazali sxemasidir, ammo uchfazali sxema keng qo'llaniladi (5.94 - rasm). Bu sxemada ventilli kommutatsiya uchfazali invertorda amalga oshiriladi.



5.94 – rasm. Uch fazali ventilli motrning sxemasi.

Ventilli kommutatsiyaning tizimi odatda signallar sinxronlash datchigidan tashkil topgan, boshqaruv va kommutatorni boshqaruv signallarni shakllash tizimi.

Signallarni sinxronlash datchigi tartibni va kommutatorning elementlarini qaytaulanishini buyuradi. Pozitsion boshqaruvda – bu rotorning holat datchigi, fazaliligida esa – yakor cho'lg'aming kuchlanish fazalari datchigi. Rotorning holat datchigi mashinaga jamlangan tugunlarni o'zida aks etadi, statorga mahkamlangan, sezgir elementlardan va rotorda mahkamlangan, signalli elementlardan tashkil topgan. Odatda fotoelektrik yoki magnitmodulyasion datchiklar ishlatiladi[5].

Signallarni shakllanish tizimini boshqarish sinxronlash signallarini kuchaytirish va shakllashni ta'minlaydi.

Boshqaruv kommutatori ventilli motorda kuch zanjirida kontaktsiz qaytaulanishni amalga oshiradi. Boshqaruv kommutatori yarim o'tkazgichli asboblarda yoki boshqa qayta ulash elementlarida bajariladi, masalan gerkonlarda.

Boshqaruv kommutatorlarida yarimo'tkazgich asboblarda to'liq (tranzistorlar, ikkioperatsion tiristorlar) va to'liqsiz boshqaruv asboblari (tiristorlar, semistorlar) qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda to'liqsiz boshqariladigan yarim o'tkazgichli asboblarning keng tarqaldi, chunki katta quvvatli to'liq boshqaruv yarim o'tkazgichli asboblarning hali ishlab chiqarilmagan.

Kommutatsiyalash usuli bo'yicha to'liqsiz yarim o'tkazgichli boshqaruv asboblari boshqaruv kommutatorlarini uchta turga bo'lish mumkin: tabiiy, majburi va aralash kommutatsiyalarga. Qaytaulash tabiiy kommutatsiyasida yakor cho'lg'ami EYUK ta'siri ostida sodir bo'ladi. Majburiy kommutatsiyada tiristorlarni boshqaruv alohida manba yoki tarmoqni ta'minlash kommutatsiyalash kuchlanishi ta'siri ostida amalga oshiriladi. Aralash kommutatsiyada birinchi va ikkinchi usullarning kombinatsiyasi o'rin olgan.

Ventilli motorlar doimiy va o'zgaruvchan tok tarmog'idan oziqlanishi mumkin. Agar boshqaruv kommutator doimiy tok tarmog'idan oziqlansa, unda u doimiy tokni o'zgaruvchanga o'zgartiradigan inventorni tasvirlaydi. Agar boshqaruv kommutatori o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulangan bo'lsa, unda u chastotani o'zgartirish amalini bajaradi.

Boshqaruv kommutatorlarini, o'rinalmashish usullari, kalit elementlari turlari va ularning kommutatsiyasi sxema har xil tuzilishi kombinatsiyalari keng qamrovli kommutatorlarni olishga imko beradi, bular sanoat elektronikasida obdon ko'rib chiqiladi. Biroq har xilligi qaramasdan, kommutatorlarning boshqaruv sxemasini elektr qiymatlarini prinsipi bo'yicha kuchlanish va tokni o'zgartirishga bo'lish mumkin.

Kuchlanish inventori sxemasida kommutatsion davrlar oralig'i davomida yuklamada doimiy tok halqasining kuchlanishiga teng. Rektiv quvvatning qaytatoklanishi teskari ko'prikda va kondensatorda ta'minlanadi.

Tok inventori sxemasida tekislash reaktori tufayli ventillarni qayta ulashda tok o'zining qiymatini o'zgartirmaydi.

Yuklamada kuchlanish yakor fazalar EYuK shaklini takrorlaydi. Kuchlanish inventorida kuchlanishning asosiy garmonikasini sinxronlanadi, tok inventorida esa tok garmonikasining asosiy fazasi.

Doimiy tok ventilli motorlarining elektr mexanik qismi, qoidasi bo'yicha, tanish bo'lgan sinxronlash mashinalarining tuzilmali turlanishiga o'xshash. Kam quvvatli yuritmalarning uchun doimiy magnitli motorlar, hamda gisterezisli, reaktiv va induktorli motorlar ishlatiladi. O'rtacha va katta quvvatdagi yuritmalarda elektr magnitli qo'zg'atishli motorlar ishlatiladi.

Odatda ventilli motorlarning tuzilishi umumsanoat sinxronli motorlarning tuzilishi bilan bir xil. Katta va o'rtacha quvvatli ventilli motorlar boshqaruv tabiiy yoki aralash kommutatsiya bilan tok inventori rejimida ishlaydigan, kommutatorlaridan oziqlanadi, ularga bo'lgan talablardan biri kommutatsiya jarayonining minimal davomiyligi. x_d'' va x_q'' pasaytirish maqsadida o'rtacha va katta quvvatli ventilli motorlarni minimal qarshilikka ega dempferli cho'lg'amlar bilan ta'minlangan. Dempferli cho'lg'am misli bajariladi va yakor cho'lg'ami kesimining 15 – 20% dan kam bo'lmagan simlar kesimiga ega. Qo'llash qatorida x_d'' va x_q''

kamaytirish uchun magnitsiz qatlamda cho'lg'amlari tuynuksiz joylashgan yakorni ishlatish maqsadga muvofiq.

Birinchi yaqinlashishda ventilli motorlarni hisoblashni manba boshqaruv kommutatori cheksiz quvvatga ega deb olib borishimiz mumkin. Unda ventilli motorning elektrmexanik qismi kuchlanishni ta'minlovchi sinusoidalimasligini hisobga olish bilan oddiy usulda olib boriladi.

O'rtacha elektrmomentli momentni sinxronli mashinalardagidek aniqlanadi:

$$M = \frac{m}{2} (\Psi_{d1} i_{q1} - \Psi_{q1} i_{d1}), \quad (5.64)$$

bu yerda: Ψ_{d1} va Ψ_{q1} - d va q o'qlari bo'yicha 1-chi garmonikasi oqimulanishi; i_{q1} va i_{d1} - d va q o'qlarida 1-chi garmonika toklari.

Tepib turadigan momentlar oqim ulanishi va muvofiq garmonika toklarining ko'paytmasidek aniqlanadi.

Mexanik kollektorli motorlar kabi, qo'zg'atish cho'lg'ami tok o'zgarishi nominal yo'lidan ventilli motorlar yuqoridan aylanish chastotasini rostlashga imkon beradi, nominaldan pastga yakorda tok o'zgarishi yo'li bilan.

Agar aylanish chastotasini qutbli rostlash qiyinchilik tug'durmasa, unda aylanish chastotasini o'zgarish keng oralig'ini ta'minlab beruvchi yakorli rostlash boshqaruv kommutatorlarining murakkabligini talab qiladi. Buning uchun yakor zanjiriga kenglik impulsli modulyator kiritiladi. O'rtacha va katta quvvatli ventilli motorlarni yakorli boshqaruvida aylanish chastotasini rostlash boshqaruv to'g'irlagichda tokni rostlash evaziga amalga oshiriladi. Doimiy tok motorlaridagidek ventilli motorlarining aylanish chastotasini chuqur rostlashda rostlash sxemasi murakkablashadi va kommutatorda yo'qotishlar o'sadi.

Ventilli motorlarning ularni doimiy tok motoridan farq qiluvchi o'ziga xosligi qo'shimcha inventor sinxronlash burchagi bo'yicha boshqaruv kanalining borligi hisoblanadi. Bu kanal mexanik tavsiflarni va katta qayta yuklash qobiliyatiga etadigan kerakli bikirlikni ta'minlash uchun qo'llaniladi.

Ventilli motorlar katta bo'lmagan quvvatdagi yuritmalarda qo'llaniladi, mexanik kommutatorni qo'llash maqbul emas (ovoz chiqarish asbobi, magnitli yozish asboblari va hokazo).

Katta quvvatli ventilli motorlari avval rostlanmaydigan asinxronli yoki sinxronli motorlar o'rniga qo'llaniladi. 1600 kVt quvvatli ventilli motorlar sovutkich mashinalar kopressorlarning va aylanish tizimlarining nasoslar yuritma uchun aylanish chastotasini rostlash bilan bajarilgan. Ventilli motorlar transportda ishlatish bo'yicha ishlar olib boriladi. Kuchli sinxron motorlarni va gidrogeneratorlarni tezlatish uchun ham ventilli motorlar qo'llaniladi.

Qaysidir sabablarga ko'ra o'zgarmas tok motorlarini qo'llashda qilinchilik tug'dirsa ventilli motorlar qo'llaniladi.

Nazorat savollari.

1. Uch fazali ventilli motrning sxemasi tushuntiring?
2. Ko'p fazali ventilli motor qanday prinsip asosida ishlaydi?
3. Ventilli motorlar qayerlarda ishlatiladi?

5.11. Rossiyada ishlab chiqarilgan o'zgarmas tok mashinalari.

O'zgarmas tok mashinalarining rivojlanish tarixida ikki davr bo'lgan, taxminlaricha ular sanoatda ishlab chiqarilmas bo'lgan. Birinchi davr bizning asrimizning boshlanishiga to'g'ri keladi, bunda o'zgaruvchan tokning g'olibligi shunda ediki, doimiy tok siqib chiqarilib, faqatgina o'zgaruvchan tok mashinalari qoladi.

Ikkinchi davr 10–15 yil oldingi paytga tegishli, yarim o'tkazgichli texnikalarning jadal rivojlanishi chastotani mexanik o'zgarishini siqib chiqarishi shartdek go'yo doimiy tok mashinalari va kollektor klassik tuzilishda ishlab chiqarilmaydi. Biroq elektrmashinaliniqurishning rivojlanishi bu taxminlarni rad qildi va hozirda yiliga milliondan yuqori donada doimiy tok mashinalari ishlab chiqarilmoqda.

Doimiy tok mashinalari tejamli aylanish chastotasini rostlash, qulay mexanik tavsiflar, yangi doimiy tok manbalarining paydo bo'lishi tufayli yangi qo'llanilish sohalarini topdi va o'zgaruvchan tok mashinalari bilan raqobatga bardosh berdi.

Umumiy vazifali doimiy tok mashinalarining asosiy seriyalari 2P, P2 va P. Bu seriyalardan tashqari kranli-metallurgik motorlar seriyalari va maxsuslashgan vazifali seriyalar ishlab chiqariladi.

2P seriyasi quvvati 0,13 dan 200 kVt gacha aylanish o'qi balandligi 90 – 135 mm bo'lgan motorlar kiradi. Gabaritlari 12 – 26 P seriyali motorlarini almashtirish uchun P2 seriyasi chiqarilmoqda.

2P va P2 seriyali mashinalarni 20 yil davomida chiqarmoqda va kerakli quvvat butun masshtabini qamrab olmaydi. Xozirgi vaqtda doimiy tok mashinalarining har xil yangi 4P seriyasi ishlab chiqilgan, juda yaxshi texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega va ba'zi tugunlarni va 4A seriyali asinxron motorlar detallarini qo'llaydi.

2P seriyali motorlar 110, 220, 340 va 440 V kuchlanishda, nominal aylanish chastotalari 750, 1000, 1500, 2200 va 3000 ayl/daq larda ishlab chiqariladi. o'zventilyasiyal himoya ijroda va boshqa ventilyatorga bog'liq bo'lmagan ventilyasiyada mashinalar bajariladi; yopiq ijroda – tabiiy sovutish va boshqa ventilyatordan tashqi shamollatish bilan.

0,13 kVt quvvatli motor og'irligi 24 kg, 75 kVt motorlari esa – 325 kg.

2P seriyali motorlar erkin qo'zg'atishga kompensatsiyali cho'lg'amga ega, katta qisqavaqtli yuk oshib ketishini va aylanish chastotasining o'zgarish keng masshtabini ta'minlaydi.

Metallurgiyali, kranli, ekskavatorli va boshqa elektr yuritmalari uchun D seriyali doimiy tok motorlari ishlab chiqariladi. Motorlar 2,5 dan 185 kVt quvvatga, 220 va 440 V kuchlanish va nominal aylanish chastotasi 400 – 1440 ayl-daq ga ega. 2,5 kVt quvvatli motor og'irligi 130 kg, 185 kVt motori esa 3745 kg.

D seriyali motorlar kichik inersiya momentiga ega bo'lib, keng chegaradagi aylanish chastotasini rostlashni ta'minlaydi. Maksimal aylanish chastotasi nominallidan 3 marta yuqori bo'ladi.

Oxirgi yillarda tog'qazilmalari, metallurgiyali va boshqa sanoat tarmoqlarida doimiy tok noyob mashinalari chiqarilgan.

Mili 100 m gacha va 15 dan 100 m³ gacha hajmli kovsh bilan ekskavatorlarni qadamlatuvchi motorlar uchun doimiy tok generatorlar va motorlarni o'z ichiga oluvchi butliklar ishlab chiqilgan. Butlikga kiradi: og'irligi 36 t, aylanish chastotasi 29 ayl/daq, kuchlanishi 370 V, quvvati 450 kVt aylanish mexanizmining yuritmasi uchun MPVE-450-29 turidagi vertikal ijroli doimiy tok elektrmotori; og'irligi 8460 kg, aylanish chastotasi 630/1000 ayl/daq, kuchlanishi 600 V, quvvati 1000 kVt tortish va ko'tarish mexanizmining yuritmasi uchun MPVE-1000-630 turidagi gorizontal ijroli elektrmotori;

GPE-1250 doimiy tok generatorlari asosiy doimiy tok yuritmalarini ta'minlab turadi. Generator quvvati 1250 kVt, kuchlanishi 930 V, aylanish chastotasi 1000 ayl/daq, og'irligi 14 t.

Burg'ulash qurilmalari uchun og'irligi 920 kg, $n=1200$ ayl/daq, $U=600$ V, quvvati 68 kVt DEV-808 turidagi motorlar chiqarilgan. Dengiz burg'ulash qurilmalari uchun porlash xavfsizligi ijrosida og'irligi 62500 kg, $n=1000$ ayl/daq, $U=600$ V, quvvati 1000 kVt MPP-1000-1000 M3 turidagi motor yaratilgan.

Ko'tarish mexanizmining yuritmasi uchun gorizontal ishlovchi elektromotor va 1000 kVt quvvatli tortki, 600 V kuchlanishli, aylanish chastotasi 630/1000 ayl/daq, massasi 8460 kg ni tashkil qiladi. GPE-1250 o'zgarmas tok generatorlari o'zgarmas tok asosiy yuritmasini quvvatlashni ta'minlaydi generatorning quvvati 1250 kVt, kuchlanish 930 V, aylanish chastotasi 1000 ob/min, massasi 14 t. Burg'ulash uskunalari uchun DEV-808 tipidagi motorlar ishlab chiqarilgan, $U=440$ V, $n=1200$ ayl/daq, massasi 920 kg. Burg'ulash dengiz qurilmalari uchun portlashdan himoyalovchi ijrodagi MPP-1000-1000 MZ tipidagi quvvati 100 kVt motorlar yaratilgan $U=600$ V, $n=1000$ ayl/daq, massasi 62500 kg.

BelAZ -7519 avtosamosval yuritmasi uchun yuk ko'tarish qobiliyati 110 t. lik motor kolesli yuk tortish motori ishlab chiqarilmoqda, staninaning flans yordamida uning shassisiga qotiriladi va avtosamosval pnevmatik g'ildiragiga o'rnatiladi. Motor quvvati 360 kVt, $U=750$ V, $n=1100$ ayl/daq, massasi 2050 kg.

Motor g'ildirakli yuk tortish motorlarini quvvatlash uchun GPA-600 tipidagi yuk tortish generatori yaratilgan. Generatorning quvvati 630 kVt, og'irligi 2480 kg.

Elektrovoz va teplovozlar uchun 8 MVt quvvatda yuk tortish motorlari ishlab chiqarilmoqda. Qudratli muzyoralar, prokat stanoklari uchun 30 MVt gacha ikki, uch va to'rt yakorli o'zgarmas tokli motorlar tayyorlanmoqda.

O'zgarmas tokli turli xildagi motorlarning ko'p qismi uchish apparatlari, avtomobillar va traktorlar uchun ishlab chiqariladi. O'zgarmas tokli mikromotorlar bir necha rusumda ishlab chiqarilmoqda. PL rusumli o'z ichiga mustaqil qo'zg'atish quvvati 30 dan 600 Vt, kuchlanishi 110 va 220 V va aylanish chastotasi 1400 va 2700 ayl/daq gacha bo'lgan motorlarni o'z ichiga oladi. O'zgarmas tokli va magnitli mikromotorlar 12 V, 14 V va 27 V kuchlanishdagi, quvvati o'nlab vattgacha bo'lgan PM rusumda chiqarilmoqda.

O'zgarmas tokli bajaruvchi kam inersiyali mikromotorllar yakorga ega, silindr yoki bosma cho'lg'amli disk ko'rinishida bajarilgan. O'zgarmas magnitli bu motorlar DPR rusumsiga birlashadi. DPR rusumsidagi mashinalar taxogenerator sifatida qo'llanilishi mumkin.

Yiliga bolalar o'qinchoqlari uchun million donaga yaqin 4 Vda to'yingan batareyadagi o'zgaras tokli motorlar ishlab chiqarilmoqda.

O'zgaras va o'zgaruvchan tokda ishlovchi UO, UMT va MUN rusumidagi universal kollektorli motorlar ishlab chiqarilmoqda. Universal motorlarning quvvati 10 dan 600 Vtgacha. yaqin yillarda o'zgaras tokli motorlar modifikatsiyasi oshadi.

V-BOB XULOSASI

Bu bobda talabalar o'zgaras tok mashinalar bilan tanishib chiqadilar. O'zgaras tok mashinasi-mexanik energiyani o'zgaras tok elektr energiyasiga (generator) yoki o'zgaras tok elektr energiyasini mexanik energiyaga (dvigatel) aylantirib beradigan elektr mashina. Ham generator, ham dvigatel sifatida ishlashi mumkin. Generatorning ishi elektromagnit induksiya hodisasiga, dvigatelning ishi tokli o'tkazgichning magnit maydoni bilan o'zaro ta'sirlashishiga asoslangan; unda elektromagnit aylantiruvchi moment vujudga keladi. O'zgaras tok mashinasining aktiv qismlariga magnitli o'zak, stator va rotor (yakor) chulg'amlari hamda kollektor kiradi (yana q. Generator, Elektr dvigatel). Shu sababdan bu bobdagi ma'lumotlarni o'rganish zarur hisoblanadi talabalar uchun.

VI- B O B.

O'ZGARUVCHAN TOK KOLLEKTOR MASHINALAR.

6.1.O'zgaruvchan tok kollektor mashinalarda energiyani elektromexanik o'zgartirish.

O'zgaruvchan toki kollektor mashinalari o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanadi (6.1.rasm) f_c tarmog'idagi o'zgarmaydigan chastotasi CHO' (PCH) chastota o'zgargichi bilan f o'zgaruvchi chastotaga o'zgaradi. O'zgaruvchan tokli kollektorli motorlarda chastotani o'zgarishi hisobiga keng chegaralarda aylanuvchi chastotani rostlash ta'minlanadi.

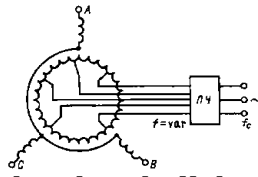
O'zgaruvchan tok kollektor mashinalari o'zgaruvchan tokli rostlanadigan yuritmalarda maydon sinxron aylanuvchi chastotasidan yuqori aylanish chastotasini olish uchun qo'llaniladi. O'zgaruvchan tokdagi kollektorli mashinalar hozirgi vaqtda maishiy asboblar yuritmasi uchun bir fazali tarmoqda eng qo'p qo'llanilmoqda.

Hozirgi vaqtda ayrim g'arbiy yevropa mamlakatlarida o'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlaridan yuk tortish motori sifatida foydalanilmoqda.

O'zgaruvchan tokdagi uch fazali kollektorli motorlar uncha katta bo'lmagan quvvatda va o'n va yuzlab kilovattida ishlab chiqarilmoqda.

O'zgaruvchan tokdagi kollektorli mashinalarning asosiy kamchiligi uning yomon kommutatsiyasidir. Chastotaning mexanik o'zgartirgichi – bu mashinalarda kollektor o'zgaruvchan tokni rostlanadigan chastota o'zgaruvchan tokiga o'zgartirish rejimida ishlaydi. O'zgaruvchan tokning bevosita boshqa chastotaning o'zgaruvchan tokka bevosita o'zgarishi o'zgaras tok oraliq zvenosi chastotani mexanik o'zgartirishdagi kabi yarim o'tkazgichli chastota o'zgartirgichda ham o'ta murakkab tarzda amalga oshiriladi. Agar ko'p fazali yakor chulg'amini ikki fazaliga olib kelinib, chastota o'zgartirgichga o'zgaruvchan tok berilsa umumlashtirilgan

mashinalar modelidagi o'zgaruvchan tokdagi kollektorli mashinalarni olinadi. (1.32-rasmga qarang).



6.1-rasm. O'zgaruvchan tok uchun kollektor mashinasining diagrammasi.

O'zgaruvchan tokli kollektorli mashinalar tor tirqishda stator va rotorning asosiy garmonika maydoni bir biriga nisbatan qo'zg'almasdir va yuqori garmonikning cheksiz spektri mavjud bo'lib, maydon esa bir biriga nisbatan aralashib ketadi. Maydonning bunday ko'rinishi tor tirqishda va boshqa tipdagi elektr mashinalarda mavjud bo'ladi.

O'zgaruvchan tokdagi kollektorli mashinalarning differensial tenglamasi (1.110)-(1.121) ko'rinishida yozilgan bo'lishi mumkin. Biroq, o'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlar dinamikasida uncha ko'p bo'lmagan ishlar miqdori bag'ishlangan bo'lib, loyihalashtirishda o'ta oddiy formulalardan foydalaniladi, chunki o'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlar geometriyasi asosan kommutatsiya orqali aniqlanadi.

O'zgaruvchan tokli kollektorli motorlar bizning asrning boshida eng ko'p tarqalishga sabab bo'ldi. O'zgaruvchan tokli kollektorli motorlarning o'nlab original sxemalari taklif etildi.

Keyingi o'n yilliklarda esa o'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlarni sinxron va asinxron yuritmalari rostlovchi motorlar siqib chiqarmoqda. Kollektorni tayyorlashni mehnati og'irligi va yoton kommutatsiyasi o'zgarmas tokdagi kollektorli motorlarni qo'llashda cheklab qo'ymoqda.

O'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlarni nazariyasini rivojlantirishga G.Gerges, I.Deri, D.A.Zavalishn, M.P. Kostenko, M.Latur, E.Tomson, R.Rixtek, K.I.SHenfer va boshqalar katta hissa qo'shganlar.

Nazorat savollari.

1. Keng chegaralarda aylanuvchi chastotani rostlash ta'minlaydigan motor turi qaysi?
2. O'zgaruvchan tok uchun kollektor mashinasining diagrammasini tushuntirib bering?
3. O'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlarni nazariyasini rivojlantirishga hissa qo'shgan olimlar kimlar?

6.2. Uch fazali kollektorli motorlar.

Uch fazali kollektorli motorlar o'rtasida eng ko'p ommalashishga erishgani bu ikki to'plam cho'tkali parallel uyg'otishdagi uch fazali kollektor motorlardir, masalan Shrage-Rixter motori (6.2.rasm) Bu motor 1910 yilda bir vaqtning o'zida Shrage va Rixterom tomonidan taklif etilgan.

Shrage va Rixter motorlari fazaviy rotorli asinxron motor konstruksiyasi bilan o'xshashdir. Farqi shundaki, rotor tirqishida ikkinchi ko'pfazali chulg'am joylashgan,

seksiyalari kollektorga chiqariladi. $EYUK \pm \Delta E$ zanjirga ikkinchi qo'shimcha chulg'amni joriy qilish hisobiga keng chegarada chastota aylanishini rostlashga motor imkon beradi[8].

Tarmoqda uch fazali kuchlanish cho'tka va halqa orqali rotorning 1 fazaviy chulg'amiga olib boriladi. Rotor tirqishlarida ikkinchi chulg'am 2 joylashadi, ikki qavatli, ko'p fazali 3 seksiyalar kollektorga chiqarish. Kollektor uch juft cho'tka bo'lib, ularga stator chulg'ami uch fazasi 4 ulangan. Stator chulg'ami odatda ikki qavatli va bir qavatli chulg'amlar tirqishda joylashadi. Mashinalar konstruksiyasi teskari rejimga o'tkazilgan mashina, takroriy chulg'am statorda joylashgan, kuchlanish bo'lsa rotorlar olib boriladi.

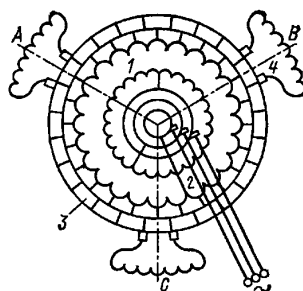
Tor tirqishda rotor chulg'amidan hosil qilingan magnit maydoni rotor aylanayotgan qarama-qarshi tomonga aylanadi va $EYUK$ stator chulg'amiga $f_1=f_{2s}$ sirpanishni olib keladi. 2 rotor chulg'amidan cho'tka orqali chiqarilgan kollektor, xuddi shunday $EYUK$ $f_1=f_{2s}$ olib tashlanadi. Bu $EYUK$ tebranishsi cho'tkalar qanchalik surilganidan bog'liq bo'ladi. (6.3-rasm). 6.3 a-rasm cho'tka qachonki rasmda ko'rsatilgan holatni egallasa, E bunda stator chulg'amiga olib kelingan $EYUK$ E_1 dan ayiriladi Qachon cho'tkalar holati (6.3 b-rasm)ga mos kelsa, $\underline{E}=0$ bo'ladi. 6.3 v-rasmda ko'rsatilgan cho'tkalar holatida $EYUK$ $\underline{E}$ bo'lsa $\underline{E}_1$ ga yig'iladi.

Agar $\underline{E}$ ayirilsa, $EYUK$ $\underline{E}_1$ kamayadi, I_1 tokni kamayishiga va aylanuvchi chastotani pasayishiga olib keladi. Agar $\underline{E}=0$ bo'lsa motor xuddi asinxron motor kabi ishlaydi. 6.3v-rasmga mos keluvchi cho'tkalar holatida $\underline{E}$ bu yerda $\underline{E}_1$ ga yig'iladi va aylanish chastotasi sinxronidan yuqori bo'ladi. kollektor bo'yicha cho'tkalarni joyini ko'chirish qo'lda aylantiriladigan yoki yuritmal motor yordamida mexanizm orqali amalga oshiriladi.

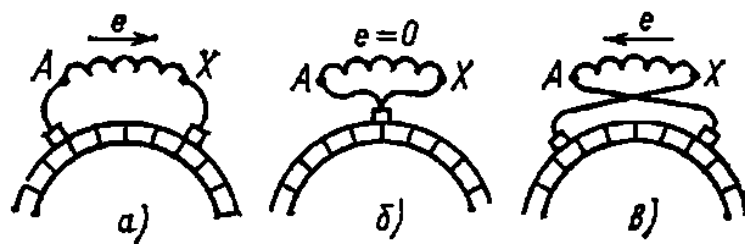
Stator zanjiriga qo'shimcha $EYUK$ ni kiritilishi reaktiv quvvatni rostlash imkonini beradi. Buning cho'tkalar (6.4-rasm) nosimmetrik joylashtiriladi. Shu bilan $\underline{E}$ burchak ostiga $\underline{E}_1$ kirgiziladi, bu reaktivdan iborat bo'lgan tokni o'zgarishiga olib keladi va $\cos\varphi$ motorni ham o'zgartiradi.

Shrage -Rixter motorining ishchi tavsifi- asinxron motor tavsifiga o'xshashdir. Ishga tushirish tarmoqqa to'g'ri ulash bilan amalga oshiriladi.

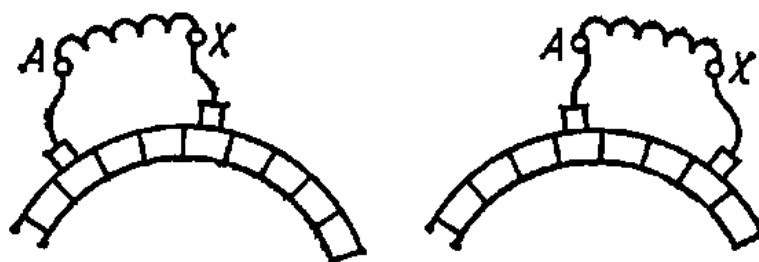
Energiyani elektromexanik o'zgartirishda baravarlashtirishni tuzish uchun bunday motorda asinxron mashinalarning tenglamasidan foydalanilish mumkin. Bunda ikkinchi chulg'amda



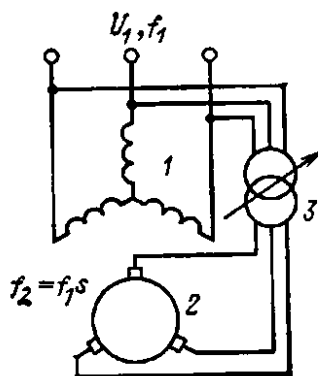
6.2-rasm. Shrage Rixter motori.



6.3-rasm. ΔE cho'tka holatini o'zgartirish yo'li bilan rostlash.



6.4-rasm. $\cos\varphi$ cho'tka holatini o'zgartirish yo'li bilan rostlash.



6.5-rasm. parallel qo'zg'atishli uch fazali kollektorli motor.

ΔE EYuK, chulg'ami hisobiga qarshilikni oshirish (6.2-rasm) va ikkilamchi chulg'amdan oqib o'tuvchi tokdan qo'shimcha MYuK.

O'zgaruvchan tokdagi kollektorlimotorlar kommutatsiyasi o'zgarmas tokdagi mashinalar kommutatsiyasidan farq qiladi, asosiy oqim o'zgarishi oqibatida kommutatsiyalanayotgan seksiyalarga reaktiv bilan bir qatorda transformatorli EYuKga yo'naltiriladi. Transformatorli EYuK yuklamadan bog'liq bo'ladi va reaktiv EYuKga nisbatan faza bo'yicha siljiriladi.

O'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlarning ko'pchilik xilida qo'shimcha qutblar qo'llanilmaydi, chunki kommutatsiya ishchi maydoni zonasida hosil bo'ladi va transformatorli EYuKni kompensatsiya qilib bo'lmaydi.

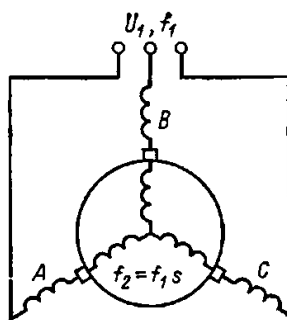
Rixter-Shrage motorlari 1.5-250 kVt quvvatda aylanish chastotasini rostlash chegarasi bilan 2:1 yoki 4:1. Uch juft cho'tka mavjudligi, qiyin kommutatsiya va

qo'lda boshqarish bunday motorlarni boshqarishni cheklab qo'yadi. Rossiyada Rixter-Shrage motorlari elektrotexnika sanoati ishlab chiqarilmaydi.

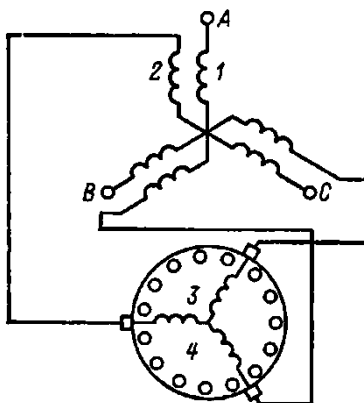
Stator orqali to'yinadigan parallel qo'zg'atiladigan uch fazali kollektorli motorlar. Bunday motorlar ham xuddi o'sha Rixter Shrage motorlari kabi tavsiflarga molik bo'lib, EEYuK rotor zanjiriga rostlanadigan ikkilamchi rostlanma kuchlanishli transformator yoki induksion rostlanma yordamida kiritiladi (6.5-rasm). Stator 1 chulg'ami asinxron mashina statoridan farq qilmaydi, U_1 , f_1 ga ulanadi. Rotorda kollektorga chiqarilgan ko'p chulg'amli 2 seksiyali chulg'am mavjud. Rotorga f_1 , f_{1s} chastotali EYuK yurgiziladi. Qo'shimcha EYuK 3 rostlash qurilmasi 3 yordamida kiritiladi.

Kommutatsiyani yaxshilash uchun ba'zida uchta cho'tka o'rniga ba'zida oltita o'rnatiladi, ya'ni EEYuK uch fazali rostlash sistemasi o'rniga oltifazalik qo'llaniladi. Bu rotor fazalarida tokni kamaytiradi va reaktiv EYuKni kamaytiradi.

Ketma-ketlikda qo'zg'atiladigan uch fazali kollektorli motorlar rotor va stator chulg'amini ketma-ket ulashga ega bo'ladi. (6.6-rasm). Aylanish chastotasini rostlash cho'tkani burilish yo'li yoki olib kelinadigan kuchlanishni o'zgarishi orqali amalga oshiriladi. Bunday motorlarning mexanik tavsifi ketma-ket qo'zg'atiladigan motor tavsifiga o'xshashdir.



6.6-rasm. Ketma ket uyg'otishdagi uch fazali kollektorli motor.



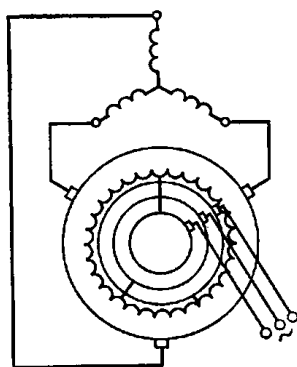
6.7-rasm. Stator tomonidan to'yingan kompensatsiyalangan uch fazali asinxron motor.

Cho'tka holatidan qat'iy nazar motor rotori aylanayotgan maydon tomon, xuddi va maydonga qarshi aylanishi mumkin.

Barcha asinxron mashinalardagi kabi o'zgaruvchan tokli kollektorli tarmoqdan olingan motorlar elektr quvvati aylanayotgan maydonda rotorga uzatiladi. Ana quvvat qismi $P_{em}(1-s)$ mexanik quvvatga o'zgaradi. Asinxron mashinalarda quvvat $P_{em}s$ issiqlikka o'zgaradi. O'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlarda quvvatning bu qismi kollektor orqali tarmoq chastotasida sirpanish chastotasini o'zgartiruvchi yana tarmoqqa beriladi. Shunday qilib mashina mexanik o'zgartirish chastotasi konstruksiyasiga kirishda kollektorlar mashinani sirpanishda energiyani tarmoqqa berish hisobiga iqtisodiy ishlashini ta'minlaydi.

Kompensatsiyalangan uch fazali asinxron motorlar. Bunday mashinalarda parallel uyg'otishdagi kollektorli mashinalarning bir turi hisoblangan qo'shimcha E EYUK quchlanish koeffitsientini rostdash uchun rotor zanjiriga kiritiladi. Shu bilan kollektorli chulg'am va kollektor uncha katta bo'lmagan quvvatga mo'ljallanadi. Rotor va stator tomonidan to'yingan holda kompensatsiyalangan motor bajariladi.

6.7-rasmda stator tomonidan to'yingan mashina sxemasi taqdim etilgan. Statorda asosiy chulg'am joylashgan 1 va yordamchi 2 kollektorli chulg'amni to'yintirish uchun kam miqdordagi chulg'am 3. Rotorda kollektorli chulg'amdan tashqari,



6.8-rasm. Rotor tomonidan to'yingan kompensatsiyalangan kollektorli motor.

Asinxron mashinaning 4 qisqa tutashuvchi chulg'am yoki fazaviy o'sha tirqishlarni o'zida joylashadi.

Cho'tka kollektorda shunday joylash tiriladiki, E EYuK sirpanish sE_2 dan EYuK ilgarilab ketishi kerak. Bunday sharoitlarda dastlabki chulg'am magnitlangan tokni fazalar orasidagi U_1 va U_1 siljishni kompensatsiyalaydi va $\cos\varphi=1$ teng bo'lganda mashina ishlashi mumkin.

K.I.Shenfer profrezirlangan tirqishli massiv rotorni ikkilamchi chulg'am sifatida foydalanishni taklif qilgan, u kollektorli chulg'amda sig'dirilgan bo'ladi.

6.8-rasmda rotor tomonidan to'yingan kompensatsiyalangan kollektorli motor sxemasi ko'rsatilgan. Statorda kollektorga ulangan bitta chulg'am mavjud. Rotorda ikkita chulg'am mavjud asosiy va yordamchi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan mashinalarning sxemasidan ko'rinib turibdiki unga ulangan chulg'am reaktiv quvvat manbasi bo'lishi mumkin. Kompensatsiyalangan asinxron mashinalar $\cos\varphi=1$ da ishlashi mumkin.

Asrning boshida o'nlab o'zgaruvchan tokli kompensatsiyalangan kollektorli motorlar sxemasi taklif etilgan edi. Eng ko'p tarqalagan mashinalardan biri ayonqutbli uchfazali kompensatsiyalangan kollektorli mashina bo'lib, uni A.Sherbus tomonidan, M.P.Kostenko va N.S.Yapolskiy va boshqalar motorlari taklif etilgan [10]

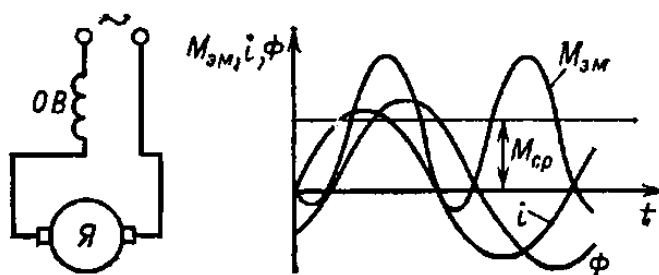
Hozirgi kunda uch fazalik kollektorli mashinalar uncha qo'p qo'llanilsada, ularda ish jarayonlari energiyani elektromexanik o'zgartirishni tushunish uchun muhim ahamiyatga ega. Zamonaviy elektr simlarda chastotaning yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlar keng qo'llaniladi, u kollektor chastotani mexanik o'zgartirish o'rnini bosadi. Kollektorli mashinani bilish elektrli mashinalarni birgalikda yarim o'tkazgichli o'zgartirgichni ishlashini yaxshi tushunib olish imkonini beradi.

Nazorat savollari.

1. Rotor tomonidan to'yingan kompensatsiyalangan kollektorli motor qanday prinsip asosida ishlaydi?
2. Stator tomonidan to'yingan kompensatsiyalangan uch fazali asinxron motor qanday prinsip asosida ishlaydi?
3. Ketma ket uyg'otishdagi uch fazali kollektorli motor qanday prinsip asosida ishlaydi?

6.3. Bir fazali kollektorli motorlar

Bir fazali kollektorli motorlar maishiy elektr asbob uskunalarda (polpardozagich, pelesos, dastaki asbob, kir yuvish mashinalari va boshq.) keng qo'llaniladi. Odatda ularning quvvati yuz vattdan oshmaydi, aylanish chastotasi 30000 ob/min gacha boradi. 6.9-rasmda ketma-ket uyg'otilgan bir fazali kollektorli mashinalar.



6.10-rasm. Kollektoli motorlarda elektrmagnitli moment.

Aniq ifodalangan qutbda joylashgan va ketma ket bir fazali chulg'amli Ya yakorga ulangan bir fazali kollektorli motorlar (6.9-rasm) OV- qo'zg'atish chulg'amini to'planganlikga ega, uning seksiyalari kollektorga ulangan. Po'latda isroflarni kamaytirish uchun stator va rotor shixtalangan holda bajariladi. Ketma-ket uyg'otilgan o'zgarmas tokdagi motorlar konstruksiyasi bir fazali kollektorli motorlar konstruksiyasi bilan o'xshashdir.

Ketma ket uyg'otilgan bir fazali kollektorli motorlarda uyg'otish oqimi F va i tok deyarli fazaga mos tushadi (6.10-rasm) shuning uchun elektrmagnitli moment oqimi va tok yo'nalishini o'zgarishi uncha katta bo'lmagan manfiy qismga ega,

motorda o'rtacha moment esa shuncha ko'p bo'ladi, F va i oralig'idagi fazalari bo'yicha siljish shuncha kam bo'ladi. Shunday qilib uyg'otishning ketma-ket chulg'ami kam chulg'am miqdoriga ega bo'ladi, uning induktiv qarshiligi uncha ko'p bo'lmaydi. Parallel qo'zg'atishli bir fazali kollektorli motorlar amalda uncha qo'llanmaydi, ko'p chulg'am miqdori chunki qo'zg'atish chulg'ami katta induktiv qarshilikka ega.

Bir fazali kollektorli motorlar uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

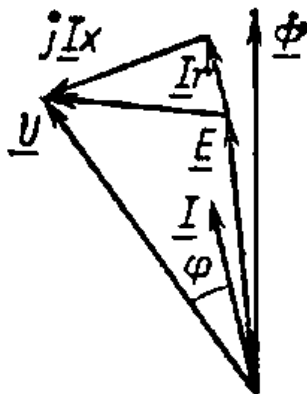
$$U = E + rI + jxI \quad (6.1)$$

Bu yerda: $x=x_a+x_v$ - yakor induktiv qarshiligi va qo'zg'atish chulg'ami; r -yakor chulg'ami aktiv qarshiligi va qo'zg'atish chulg'ami.

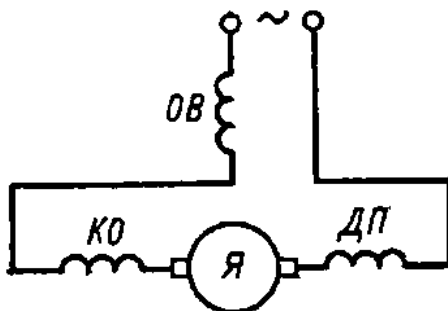
(6.1) tenglama ketma-ket qo'zg'atiladigan o'zgarmas tokdagi motorning kuchlanish tenglamasidan $i_x I$ a'zosini mavjudligi bilan farqlanadi.

(6.1) uchun vektorli diagramma qurilgan bo'lishi mumkin (6.11-rasm). Bir fazali kollektorli motorlarda $\cos\varphi \approx 0,7$ dan $0,95$. Mexanik tavsiflari ketma-ket qo'zg'atiladigan o'zgarmas tokdagi motorning tavsifi bilan o'xshashdir. Aylanish chastotasini rostdash keltirilgan kuchlanish yoki qo'zg'atish chulg'ami, yakorni shuntlashni o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Yakor chulg'amining kommutatsiyalanadigan seksiyasiga reaktiv EYUK kiritiladi e_r va transformatorli EYUK e_t . Reaktiv EYUK aylanish chastotasi va yuklamaga bog'liq bo'ladi. Transformatorli EYUK kommutatsiyalanadigan seksiyaga oqim o'zgarishi hisobiga to'planadi.



6.11-rasm. Bir fazali kollektorli motorning vektorli diagrammasi.



6.12-rasm. Kompensatsiyalangan chulg'am va qo'shimcha qutbli vektorli diagramma.

Transformatorli EYuK va reaktiv EYuK 90^0 gacha siljirilgan. Transformatorli EYuK mavjudligi o'zgaruvchan tokli kollektor motor kommutatsiyasini yomonlaydi.

Uncha katta bo'lmagan quvvatdagi motorlar qo'shimcha qutblarsiz bajariladi. Kollektorli motorlar kommutatsiyasini yaxshilash uchun KCH kompensiyalovchi chulg'am va qo'shimcha qutblarda (6.12-rasm) bajariladi. Kollektorli mashinalarda barcha rejimlarda e_r va e_t ni kompensatsiyalab bo'lmaydi va o'zgaras tokdagi mashinalarga ko'ra o'zgaruvchan tok kollektorli motorlarida kommutatsiya juda yomon bo'ladi.

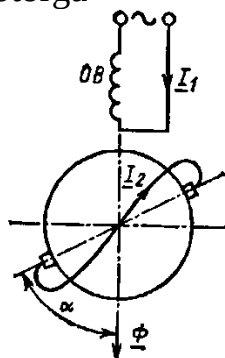
Kompensatsiyali chulg'am induktiv qarshilikni kamaytiradi, chunki u yakor reaksiyasi oqimini kompensatsiyalaydi va ilashma oqimni kamaytiradi. Motor induktiv qarshiligini kamaytirish $\cos\varphi$ ni oshishiga olib keladi.

Uncha katta bo'lmagan quvvatdagi motorlarda kompesatsiyalovchi chulg'am bir joyga o'raladi, katta quvvatli motorlarda esa tarqoq o'raladi.

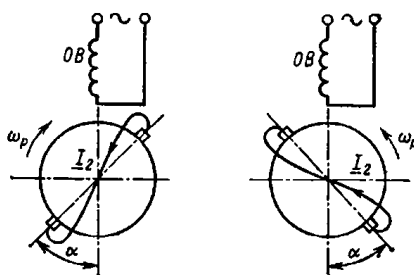
1500 kVt gacha quvvatdagi qudratli kollektorli motorlar ko'pgina g'arbiy Evropa mamlakatlarida yuk tortuvchi sifatida qo'llashadi. O'zgaruvchan tok $16 \frac{2}{3}$ chastotasi yoki 25 Gs bo'ladi. Sobiq ittifoq davrida elektr tortqilarni o'zgaras va o'zgaruvchan tok amalga oshiriladi. 25-30 kV o'zgaruvchan tokda elektrofikatsiyalangan temir yo'llarda, elektr tashuvchilarda o'zgaras tokli tortish motorlaridan to'yinadigan pasaytiruvchi transformatorlar, to'g'rilagichlar o'rnatiladi.

Bir fazali kollektorli motorlarda o'zgaras tokli motorlarda ketma-ket qo'zg'atish bir biriga yaqin. Universal kollektorli motorlar ishlab chiqarilmoqda, ular o'zgaras va o'zgaruvchan tokda ishlashadi. O'zgaras va o'zgaruvchan tokda xuddi shunday tavsiflarni olish uchun qo'zg'atish chulg'amida chulg'amdan ajratib chiqarilgan simni almashlab ulash zarur. O'zgaruvchan tokda ishlovchi bir xilda to'yinadigan kuchlanishlarda qo'zg'atish chulg'amida chulg'amlar sonini kamaytirish zarur.

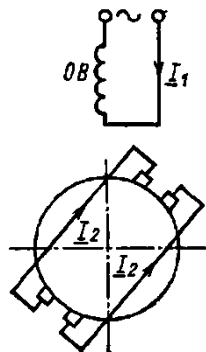
O'zgaruvchan tokdagi kollektorli motorlar o'zgaras tokdagi motorlar kabi radio shovqinlar manbasi bo'lib hisoblanadi. Radio shovqinlarni kamaytirish uchun qo'zg'atish chulg'amida ikki qismga bo'linadi va kondensatorlar chiqarma oxiri va korpus orasiga ulanadi (5.45.rasmga qarang) Repulsli motorlar. Bu bir faza kollektorli motorlar, ularda yakor qo'zg'atish chulg'ami qo'zg'atish chulg'amini o'zi bilan elektr aloqaga ega bo'lmaydi, rotorga



6.13-rasm. Repulsli motor.



6.14-rasm. Cho'tka holatida repulsli motorning aylanish yo'nalishiga aloqasi.



6.15-rasm. Qo'sh to'plamli cho'tkali repuls motorli.

Energiya transformator yo'li orqali uzatiladi. (6.13-rasm). Aylanish chastotasini rostlash cho'tkani burilishida ijro qilinadi. Repuls motorlar bir necha o'n kilovatt quvvatda tuziladi.

$\alpha = 0$ bo'lganda cho'tka o'qi E oqim yo'nalishi bilan mos kelsa, yakorga maksimal tok I_2 olib kelinadi, ammo moment nolga teng bo'ladi, tor tirqishda teskari va to'g'ri maydon bir xil moment hosil qiladi va $n=0$ bo'ladi. $\alpha = 90^\circ$ yakorda tok $I_2=0$ va moment ham nolga teng bo'ladi. $\alpha \neq 0$ burchakda va

$\alpha \neq 90$ repulsli motor momentni rivojlantiradi. Dvigatelning nominal momenti $\alpha = 15 \dots 25^\circ$ rivojlanadi. Motorning rotor oqimi cho'tkalarni o'qi siljishidan bog'liq bo'lib soat strelkasi bo'ylab va unga teskari aylanadi. (6.14-rasm)

Repulsli motorlar qo'sh to'plamli cho'tkada bajariladi (6.15-rasm). Qo'sh to'plamli cho'tka uning ostidagi I_2 tokni kamaytiradi, shuningdek aylanish chastotasini yana ham ravon rostlaydi. Cho'tkalar birdaniga buraladi yoki bir juft cho'tka qo'zg'almasdir, boshqasi bo'lsa buriladi. Repuls motorlar qo'sh to'plamli cho'tkalar bar to'plamli cho'tkalarga ko'ra katta quvvatda tayyorlanadi.

Repulsli motorlar kompensatsion chulg'am qo'llaniladi, u ketma-ket qo'zg'atish chulg'amiga ulangan bo'ladi. Repuls motorlarda qo'shimcha qutblar qo'llanilmaydi, chunki o'q cho'tkada aralashib ketadi.

O'zgaruvchan tokli kollektorli motorlarni qisqacha ko'rib chiqish ularni boy imkoniyatlarini qo'llashni namoyish etish va energiyani elektr mexanik o'zgartirish haqida bo'lgan tasavvurni kengaytiradi.

Nazorat savollari.

1. Qo'sh to'plamli cho'tkali repuls motorini ishlash prinsipini tushuntiring?
2. Cho'tka holatida repulsli motorning aylanish yo'nalishiga aloqasi qanday?
3. Kompensatsiyalangan chulg'am va qo'shimcha qutbli vektorli diagrammani izohlang?

VI-BOBDAN XULOSA

Bu bobda talabalar o'zgaruvchan kollektorli tok mashinalar bilan tanishib chiqadilar. Kollektorli mashina - o'zgaruvchan va o'zgarmas tokka mo'ljallangan elektr mashina. Rotorning chulg'ami kollektor bilan tutashtirilgani tufayli shunday atalgan. Turlari: kollektorli generator, kollektorli dvigatel va kollektorli chastota o'zgartirgich. Kollektorli generatordan, asosan 3 fazali o'zgaruvchan tok manbai sifatida foydalaniladi. Bir fazali va 3 fazali kollektorli dvigatel uy-ro'zg'or elektr asboblarda (bir fazalisi), tezligini keng miqyosda rostlab tursa bo'ladigan quvvatli elektr asboblarda (bosmaxona, to'qimachilik korxonalari elektr mashinalari hamda metall kesish stanoklarida) (uch fazalisi) ishlatiladi. Kollektorli chastota o'zgartirgichlar elektr mashinalar kaskadi uchun foydalaniladi. Yarim o'tkazgichlar texnikasi taraqqiy etishi munosabati bilan kollektorli chastota o'zgartirgichlar o'rniga, asosan, yarimo'tkazgichli chastota o'zgartirgichlar ishlatilmokda. Shu sababli bu bobdagi ma'lumotlar bilan tanishib chiqish maqsadga muvofiqdir.

VII- B O B.

ELEKTR MASHINALAR O'ZGARTIRGICHLARI. ELEKTR MASHINALARNI KASKADLI ULASH.

7.1. Asinxron mashinalarni kollektorli mashinalar bilan kaskadli ulash.

Kollektorli mashinalar tebranishni va $\cos\varphi$ asinxron motorning aylanish chastotasini tejamli rostlash va asinxron mashinalar rotor zanjiriga kiritiladigan E_{EYU} fazasini rostlash imkonini beradi. Kollektorli mashinalar bilan asinxron mashinalarni ulash kaskadli deb aytiladi, modomiki elektr va mexanik zanjir ulanar ekan, energiyani elektr mexanik o'zshartirishning yagona sistemasida ikki pog'ona (ikki kaskad) hosil qiladi. Shu bilan birga asinxron mashinalar katta quvvatga ega va asosiy mashina deb aytiladi, kollektorli bo'lsa kamroq quvvatga mo'ljallanadi, aylanish chastotasi chegarasi o'zgarishidan bog'liq bo'lgani esa yordamchi deb aytiladi. Ikki xildagi kaskadni elektr mexanik va elektrli qilib ajratishadi. Elektr mexanik kaskadlarda asosiy mashina rotor yordamchi mashina bilan mexanik va elektr aloqaga ega bo'ladi.

Asinxron motor tarmog'idan iste'mol qilinadigan aktiv quvvatni rostlash uchun Sherbius-Leblan cho'zg'otgichi bilan kaskad qo'llaniladi. (7.1-rasm) AD fazaviy rotorli asinxron motorni U_1, f_1 tarmoqqa ulanadi. Rotor chulg'ami cho'tka va halqa orqali kollektorga va cho'tkaga ega bo'lgan qo'zg'atgichga QK (VK) ulanadi.

Qo'zg'atgich uzatmali motor D bilan aylanadi, kollektordan qo'zg'atgichdan E EYUK olib tashlanadi, rotor zanjirini ilgarilatish kiritiladi, motor $\cos\varphi$ bunda yaxshilanadi.

Asinxron motor bilan qo'zg'atgich mexanik bog'lanmagan, shu sababli bu kaskad elektrlidir. Sherbius-Leblan qo'zg'atgichi boshqa mashinalardan statori borligi uchun farq qiladi. Rotor tirqishlarini cho'qurlatishda ikki qavatli chulg'am joylashtiriladi, uni seksiyalari kollektorga chiqarilgan bo'ladi. (7.2-rasm). Rotor

qo'zg'atgichini ikki qismda bajarish qulaydir: ochiq tirqishli ichki 1 va tirqishlarni yopuvchi tashqi halqa 2.

Qo'zg'atgichda va I_2 asinxron motor rotorida tutashuvchi tok rotor qo'zg'atgichida aylanuvcha maydon hosil qiladi, kuch liniyalari rotor qo'zg'atgichi po'lati bo'yicha tutashadi. (7.2-rasm). Maydon aylanish chastotasi qo'zg'atgich qo'zg'almas rotorda

$$n_0 = 60f_1 \frac{s}{p_v}, \quad (7.1)$$

p_v - qo'zg'atgich juft qutblari miqdori; s - asinxron motor sirpanishi.

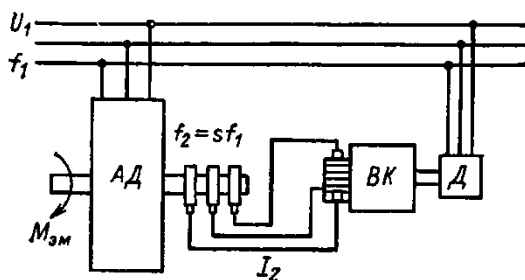
Agar rotor qo'zg'atgichi aylantirilsa, unda qo'zg'almas cho'tkada chastota n_0 dan bog'liq bo'ladi va rotor qo'zg'atgichi aylanish chastotasi

$$S_B = \frac{n_0 \pm n_v}{n_0}, \quad (7.2)$$

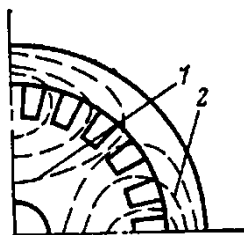
n_v -rotor qo'zg'atgichi aylanish chastotasi.

$$\Delta E = jI_2' S_B x_{kas} \quad (7.3)$$

Shu bilan x_{kas} – kaskad induktiv qarshiligi qo'zg'atgich va asinxron motorlar fazasi induktiv qarshiligini o'z ichiga oladi.



7.1-rasm. Leblan-Sherbius kaskadli qo'zg'atgichi.

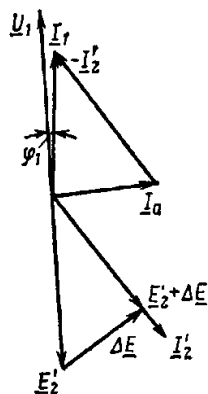


7.2-rasm. Leblan-Sherbius qo'zg'atgichi konstruksiyasi.

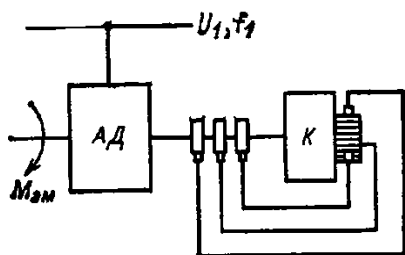
n_v , n_0 ΔE bo'lganda I_2 tokdan o'zib ketadi va asinxron mashina fazalarida kompensatsiya siljishi hosil bo'ladi, 7.3-rasmda vektorli diagramma illYustratsiyasi berilgan. I_2 rotordagi tok $\underline{E}_2 + \underline{E}$ natijalovchi bilan mos keladi, I_1 statordagi tokni aralishishiga olib keladi va $\cos\varphi$ ni yaxshilaydi. Vektorli diagrammadan ko'rinib turibdiki yetarli darajada $+\underline{E}$ katta bo'lganda ilgarirovchi $\cos\varphi$ ni asinxron motor ishlashi mumkin. Buning uchun qo'zg'atgich gabaritlarini oshirish zarur. $\cos\varphi$ ni yaxshilash uchun qo'llaniladigan qo'zg'atgich fazokompensator deyiladi. Shunday kaskadli sxemalarni kamchiligi cho'tka qo'zg'atgichining yomon kommutatsiyasi hisoblanadi. Bunday kaskadlar sinxron motorlar bilan almashtirilishi lozim[4].

Qo'zg'atgichning konstruksiyasi o'ta turlichadir. Sherbius-Lidaoning qo'zg'atgichi eng original qo'zg'atgichlardan biri hisoblanadi. Bu qo'zg'atgich aniq ifoda etilgan qutbli statorga ega bo'lib, unda qo'zg'atish bir joyga to'plangan uch fazali chulg'am joylashtiriladi. Yakor tirqishida seksiyalari kollektorga chiqarilgan ko'pfazali chulg'am joylashtiriladi. Statorda kommutatsiyani yaxshilash uchun kompensatsiyalovchi chulg'am joylashtiriladi. $+E$ cho'tka yakoridagi elektr yurituvchi kuch cho'tkaning holatiga bog'liqligida fazada yoki E_2 qarama qarshi fazada bo'ladi. Bunday holatda, Leblan –Sherbius qo'zg'atgichi bilan kaskaddagi kabi, $\cos\varphi$ rostdash mumkin.

Aylanish chastotasini rostdash uchun kaskadli ulashlarda kompensatsiyalangan va kompensatsiyalanmagan chastota o'zgartirgichlar qo'llaniladi. [9,10]



7.3-rasm. Leblan-Sherbius kaskadida asinxron mashinalarning vektorli diagrammasi.



7.4-rasm. Kollektorli mashina bilan elektr mexanik kaskad.

Kaskadli ulashlarda kompensatsiyalangan va kompensatsiyalanmagan chastota o'zgartirgichlar qo'llaniladi. [9,10]

7.4-rasmda kollektorli mashinaning K va asinxron mashinaning AD elektr mexanik kaskad sxemasi ko'rsatilgan. Aylanish chastotasida past asosiy mashina rotorining sinxron qismi quvvati kollektorli mashina elektr quvvati ko'rinishida kollektor mashinaning mexanik quvvatiga o'zgaradi. Bunday holatda tarmoqdan olinayotgan elektr mexanik kaskaddagi barcha quvvat mexanik quvvatga va issiqlikka o'zgaradi (ham asosiy va yordamchi mashinada isroflar)

7.5-rasmda kollektorli mashina elektrmexanik kaskadidagi energetik diagramma ko'rsatilgan. P_{12} asosiy mashina tor tirqishda quvvat tarmoqdan olinayotgan quvvatga teng, AD statordagi isrofni ayirish. ΔP quvvat kollektorli mashinaga uzatilayotgan kollektorli mashinadagi yo'qotishni ushlab qolib, umumiy valga uzatiladi. Mexanika o'zgarayotgan P_2 foydali maydon asosiy va kollektorli mashina quvvatidan taxlanadi.

Kaskadning aylanish kaskadi

$$M_{EM} = M_{a,d} \pm M_k \quad (7.4)$$

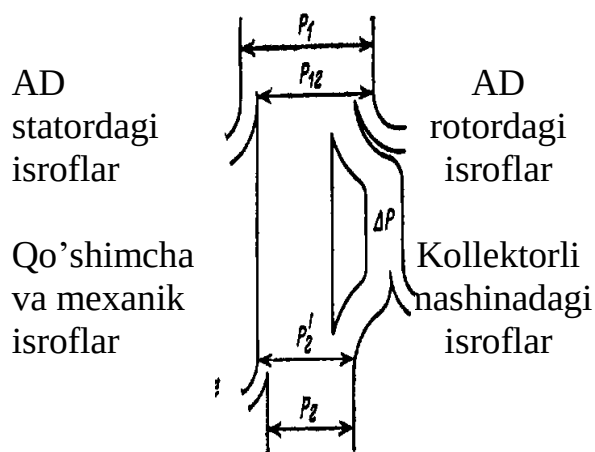
$M_{a,d}$ -asosiy mashina momenti; M_k - kollektorli mashina momenti “+” belgisi motor rejimida kollektorli mashina ishlashiga,”-“ belgisi esa generator rejimiga mos keladi.

Kaskadli sxema yordamida aylanish chastotasi rostlanadi. ΔS_1 dagi siljishni o'zgartirish uchun sirpanish o'zgarishi talab qilinayotgan proporsional ΔE miqdorini kiritish zarur. O'nlab kaskadli sxemalar ma'lum bo'lib, ular $\cos\varphi$ aylanish chastotasini tejamli rostlashni ta'minlaydi.

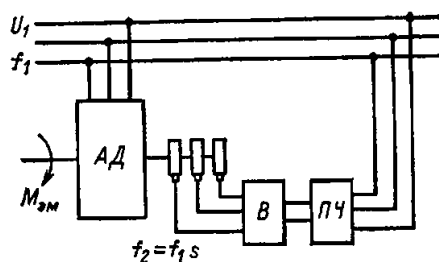
Keyingi o'n yilliklarda yarim o'tkazgichli texnikaning rivojlanishi bilan chastotaning mexanik o'zgartirgichlari chastotaning tristorli va tranzistorli o'zgartirgichlar bilan almashtiriladi.

7.6 va 7.8-rasmlarda elektr mashinalarning kaskadli ulanishi chastotaning yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlari prinsipial sxemasi bilan taqdim etilgan. 7.6-rasmda rekuperatsiya bilan tarmoqda energiya siljishining o'ta oddiy sxemasida ko'rsatilgan. Energiya siljishi bilan f_2 chastotada V to'g'rilagichda o'zgarmas tok energiyasida to'g'rilanadi, keyin esa chastota o'zgartirgich tarmoq chastotasiga o'zgartiriladi va transformator orqali tarmoqqa qaytadi. Bu sxemada o'zgartirgich aniq ifodalangan o'zgarmas tok zvenosiga ega.

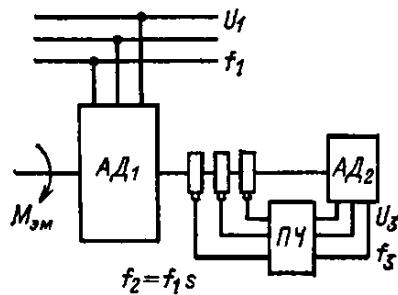
7.7-rasmda asosiy asinxron motorli elektr mexanikli kaskad prinsipial sxemasi berilgan AD_1 va yordamchi AD_2 chastota o'zgartirgichidan to'yinuvchi U_3 chastota kuchlanilishi va f_3 chastota. O'zgartirgich aniq ifodalangan o'zgarmas tok zvenosiga ega bo'lishi mumkin yoki f_3 chastota sirpanishda chastota o'zgartirgich rejimida ishlashi mumkin.



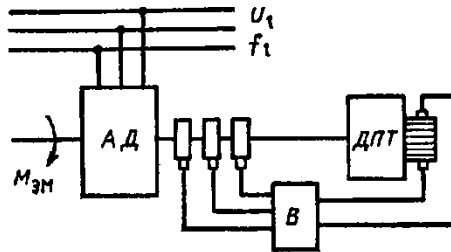
7.5-rasm. Elektr mexanikli kaskadning energetik diagrammasi.



7.6-rasm. Yarim o'tkazgichli o'zgartirgich bilan elektr mashinali kaskad.



7.7-rasm. Yordamchi asinxron dvigatelli elektr mexanikli kaskad.



7.8-rasm. O'zgaras tok motoridagi elektr mexanikli kaskad.

O'zgaras tokdagi motor bilan elektr mexanik kaskadda DTP sirpaniya quvvati to'g'rilanadi va o'zgaras kuchlanish o'zgaras tokli motor kollektoriga uzatiladi. (7.8-rasm.)

Har bir sxema o'z afzalligiga va kamchiligiga ega, ammo kollektorli kaskaddagi kabi birta sxemani tanlab olib u bilan cheklanish kerak emas.

Kaskadli sxemaning narxini balandligi tufayli ko'p qo'llanilmaydi; gabaritlarining kattaligi va chastota o'zgartirgich yarim o'tkazgichlari massasi.

Kaskadli sxema asosiy asinxron motorda birga yaqin $\cos\varphi$ bilan ishlash va chastota aylanishini tejamkor rostdlashni ta'minlaydi.

Nazorat savollari.

1. O'zgaras tok motoridagi elektr mexanikli kaskadini tushuntiring?
2. Yordamchi asinxron dvigatelli elektr mexanikli kaskadini tushuntiring?
3. Elektr mexanikli kaskadning energetik diagrammasini izohlang?

7.2. Elektr mashinali o'zgartirgichlar

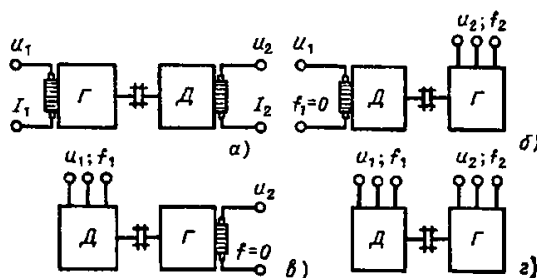
Bir xildagi elektr energiyasi boshqa xiliga elektr energiyasiga nafaqat statik o'zgartirgich (transformatorlar, yarim o'tkazgichli o'tkazgichlar) yordamida, balki aylanayotgan elektr mashina ham o'zgartirish mumkin.

Elektr mashina o'zgartirgichlari mexanik ulangan ikki mashinadan tashkil topgan. Bunday agregatda bir mashina motorda ishlasa, boshqasi generatorda ishlaydi. Motor generator sistemasi ikki o'zgaras tokli mashinadan iborat bo'lib, bir kuchlanishdagi o'zgaras tokni boshqa kuchlanishga o'zgartirish (7.9 a-rasm) O'zgaras tok motori yordamida va o'zgaruvchan tokdagi generatorda o'zgaras tok o'zgaruvchanga o'zgaradi. Motor rejimida o'zgaruvchan tokdagi mashina ishlayotgan bo'lsa, undan generatorda o'zgaras tokdagi mashina tufayli o'zgaruvchan tok o'zgarasga o'zgaradi. (7.9 v-rasm) O'zgaruvchan tokdagi ikki mashina yordamida

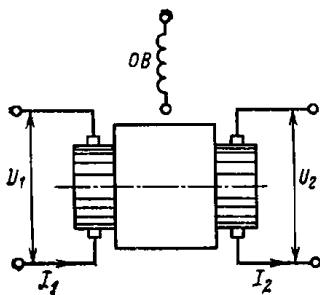
bir kuchlanishli o'zgaruvchan tokni va boshqa kuchlanishdagi o'zgaruvchan tokni, chastota va fazalar soni hosil qilinadi.(7.9 g-rasm)

Ikki mashinali agregatlarda O'zgaruvchan tokni o'zgarmasga o'zgartirish uchun va uning teskarisida sanoatda ishlab chiqarilmoqda. Elektr mashinalar o'zgartirgichlarning yarim o'tkazgichlar oldidagi ustunligi shundaki ular kam garmonik hosil qiladi va motor statorida to'yinishida qisqa muddatli tanaffuslarda elektr ta'minoti bilan ta'minlab beradi. Aylanayotgan qismda to'plangan kinetik energiya hisobiga generator ayrim vaqtgacha energiya berishi mumkin. Elektr mashina agregatlarining kamchiligi shundaki ularda (FIK) nisbatan kamligi, katta gabaritli motor va generator rejimida FIK ni bir tekis ishlashidan iborat.

Ikki mashinali agregatlarning gabaritlarini kamaytirish uchun ayrim holatlarda ikki agregatni birtaga birlashtirish maqsadga muvofiqdir. O'zgarmas tokdagi motor va tokdagi generatorni birlashtirishda yakor tirqishida ikki chulg'am taxlanadi, ulardan ikki kollektor chiqariladi (7.10-rasm) bir yakorli o'zgartirgichga umumiy qo'zg'atish chulg'ami, stator magnit sistemasi va umumiy korpus kiradi.



7.9-rasm. Elektr mashinali o'zgartirgichlar.



7.10-rasm. Umformer.

Bunday mashinalar o'zgarmas tokdagi yuqori kuchlanishni o'zgarmas tokdagi past kuchlanishni hosil qilish uchun qo'llanadi, masalan 24 V-600 V da. Bunday o'zgartirgichlar umformer degan nomga ega bo'lgan. Umformer U_1 va U_2 kuchlanishlar o'rtasida qattiq aloqa, shuningdek mashinada umumiy oqim va umumiy yakor mavjud:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{(pn/60)(N_1/a_1)\Phi}{(pn/60)(N_2/a_2)\Phi} = \frac{N_1 a_2}{N_2 a_1}, \quad (7.5)$$

Bu yerda N_1 va N_2 – birinchi va ikkinchi chulg'amda chulg'amlar soni; a_1 va a_2 – birinchi va ikkinchi chulg'amda parallel tarmoq.

(7.5.) nisbat transformatsiyalar koeffitsienti bilan o'xshashdir va umformer o'zgartirgich sifatida ishlaydi aylanayotgan chulg'am bilan transformator. Umformer

valiga moment ta'siri deyarli nolga teng, chunki motor rejimida ishlayotgan mashina momenti generator momenti bilan muvozanatlashadi.

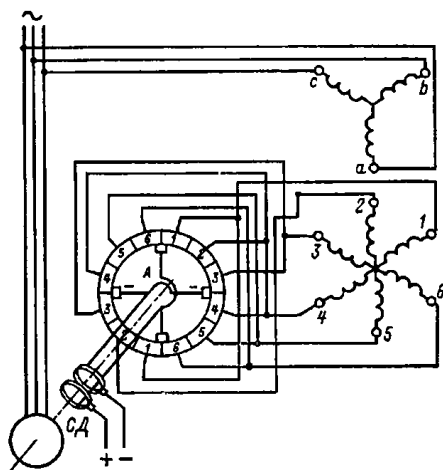
Yakor chulg'amida toklar yo'nalishi qarama-qarshidir (transformatorda kabi), shunday qilib bir mashina motor rejimida, ikkinchi esa generator rejimida ishlaydi. Chulg'amlarni birlashtirishda mis massasini kamaytirishga erishish mumkin bo'lar edi. Biroq, kollektorlar o'rtasidagi elektr aloqada past va yuqori kuchlanishga yo'l qo'yib bo'lmaydi. Agar har ikkila kollektorda bir xil kuchlanish qiladigan bo'lsak, unda yakor chulg'amini birga qo'shishda umumiy chulg'am kesimi nolga qarab intiladi xuddi avtotransformatorni transformatsiyasi koeffitsientidagidek nolga teng bo'ladi. chulg'am kesimi o'zgartirgichdagi isroflar bilan aniqlanadi.

Ideal mashinada chulg'am nazariy kesimisiz chulg'amni birga qo'shish nolga teng bo'ladi. 7.9 g-rasmdagi sxema bo'yicha o'zgaruvchan tokda mashinalarni qo'shish aktiv materiallar massasini bermaydi, shunday qilib ikki mashina oqimi taxlanadi, chulg'am o'rtasidagi elektr aloqada past va yuqori kuchlanishga yo'l qo'yib bo'lmaydi.

7.9 b va v-rasmdagi sxema bo'yicha mashinalarga birga qo'shish 7.3.§ da ko'rib chiqilgan.

Energiyani prinsipial o'zgartirishda mashinadagi o'zgarmas tok o'zgarmaydi, agar yakor va kollektorni qo'zg'almas qilinsa, cho'tka va qo'zg'atish chulg'amini aylantirish kerak. Odatda aylanayotgan cho'tkaning yomon kommutatsiyasi tufayli va qo'zg'almas kollektor qo'llanilmaydi. Aylanayotgan cho'tka yordamida orginal o'zgartirgich olish mumkin. 1924 yilda Angliyada o'zgaruvchan tokni o'zgarmasga o'zgartiruvchi qurilgan.

O'zgaruvchan tokni to'g'rilash uchun aylanayotgan cho'tkadan foydalanilgan. Transverter uning kashfiyotchilar shunday deb nomlashgan, o'zgarmas tokdagi teskari rejimga o'tkazilgan mashinani ifoda qiladi. (7.11-rasm). Olti fazali transformator ikkilamchi chulg'amining chulg'amdan ajratib chiqarilgan sim cho'tkalar sirpangan kollektorli plastinalarga birlashtirilgan.



7.11-rasm. Transverter.

Qachon qisqa tutashgan seksiyalarda (ikki qo'shni transformator fazalarida) EYUK nolga yaqin bo'lsa kommutatsiya momenti hosil bo'ladi.

Cho'tka sinxron motorda aylanadi, quvvat kollektorda ishqalanishdagi isroflarni qoplashga ketadi. Kollektorda aylanayotgan, cho'tkalarga ulangan o'zgaras tok ikki halqali cho'tka bilan olib tashlanadi.

Transverter 2000 kVt quvvatga ega bo'lib, 100 o'zgaras kuchlanishidagi 50 Gs chastota 6.6 kV o'zgaruvchan kuchlanishni qayta o'zgartiradi. Transverter oltita uch fazali moyli transformatoridan iborat bo'lib, yordam bilan 36-fazali ikkilamchi chulg'am sistemasi hosil qilinadi va sakkiz qo'zg'almas kollektorlar chiqariladi. Har bir cho'tkada 12500 V kuchlanish olib tashlanadi.

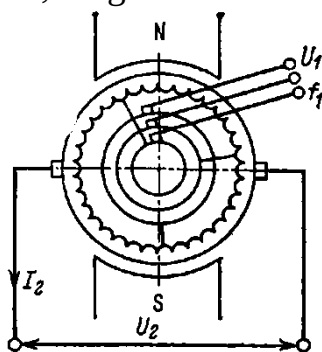
Hozirgi vaqtda yuqori kuchlanishli o'zgaruvchan tokni o'zgaras tokka o'zgartirish va teskari tarzda transformatorlar va yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlarda amalga oshiriladi.

Nazorat savollari.

1. Transverter nima?
2. Umformer nima?
3. Elektr mashinali o'zgartirgichlar qanday ishlaydi?

7.3. Bir yakorli o'zgartirgichlar.

Bir yakorli o'zgartirgich (7.12-rasm) o'zgaras tokdagi generator va sinxron motor birta agregatga birlashtirilgan. Yakor tirqishlarida ko'p fazali ikki qavatli chulg'am joylashgan, seksiyalari kollektorga chiqarilgan, chulg'amning qarama-qarshi tomoni bir nechta chulg'amdan ajratib chiqarilgan sim yoki uch fazadan bog'liqligiga qarab bir nechta halqaga chiqarilgan. Bir yakorli o'zgartirgich umumiy magnit sistemasi va bir yakor chulg'amiga ega. Odatda u o'zgaruvchan tokni o'zgarasga o'zgartirish rejimida ishlaydi. Bir yakorli o'zgartirgich halqasi o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanadi, o'zgaruvchan tok tomonidan



7.12-rasm. Bir yakorli o'zgartirgich.

Bir yakorli o'zgartirgich teskari rejimga o'tkazilgan mashina sinxron motori qo'zg'atish chulg'ami qo'zg'almasligi bilan va aylanayotgan yakor chulg'ami, o'zgaras tok tomonidan bir yakorli o'zgartirgich o'zgaras tok generatori.

Kuchlanishni o'zgaras tokga chiqishi o'zgaruvchan tok tomonidagi kuchlanishga qattiq bog'langan, chunki kollektor va halqa o'rtasida elektr aloqa mavjud (7.13-rasm)

E_2 cho'tka va EYUK o'rtasidagi o'zaro nisbat va halqadagi EYUK tebranishsi geometrik o'zaro nisbat bilan aylanadi xuddi diametrning xordaga nisbati kabi:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sin(\pi/m)}{\sqrt{2}}, \quad (7.6)$$

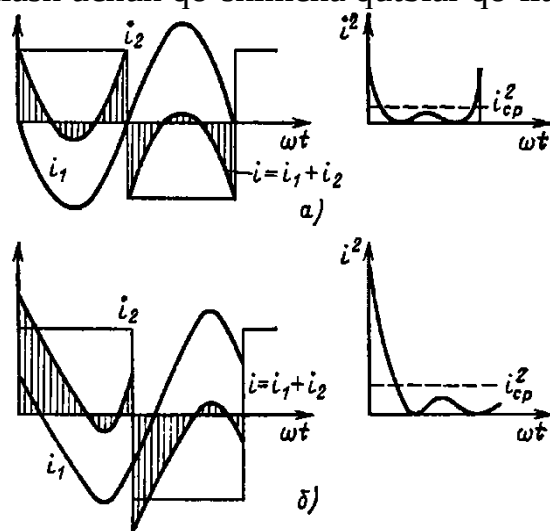
Bu yerda m - fazalar soni, o'zgarmas tok chulg'amidagi chulg'amdan ajratib chiqarilgan sim miqdori yoki halqalar soni.

Bir yakorli o'zgartirgich seksiyalaridagi egri tok shakli halqa va cho'tka o'zaro nisbati seksiyalar holatidan bog'liq bo'ladi, yuklama va $\cos\varphi$ o'zgarmas tok tomonida bo'ladi.

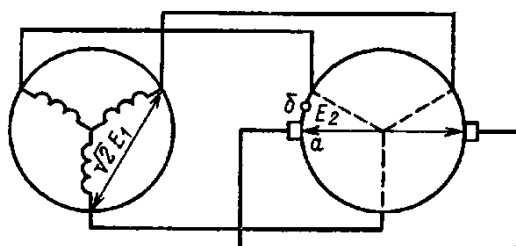
7.13 a,b rasmda halqa va cho'tka o'rtasida joylashgan, geometrik neytralda joylashgan seksiyalardagi tok shakli ko'rsatilgan. 7.14. rasmda seksiya holati ko'rsatilgan. O'zgarmas tokli mashina seksiyasidagi tok i_2 to'g'ri burchakli qonun bo'yicha o'zgaradi. Sinxron motordan seksiyadagi tok- i_2 - sinusoidaldir. Shunday bir mashina motor rejimida ishlaydi, boshqasi generator rejimida, natijalovchi tok lahzalik qiymati bo'lsa i algebraik toklar i_1 va i_2 yig'indisiga teng. (7.13 rasm) i_1 va i_2 toklarining siljishi sinxron motorda ishlovchi $\cos\varphi$ ga bog'liq bo'ladi.

7.13 a va b-rasmlarda i^2 ning vaqtga bog'liqligi ko'rsatilgan. Generator va yakor motorlarini siljishida bir yakorli o'zgartirgich yakorida elektr isroflarni kamayishi ta'minlanadi. Yakorda misni isroflanishi seksiyalardagi i_{sr}^2 bilan aniqlanadi.

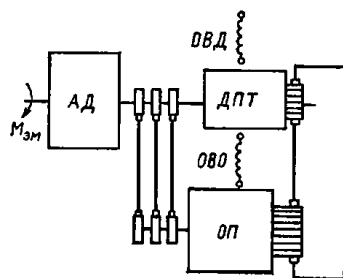
Bir yakorli o'zgartirgichda kommutatsiya xarakteristikasi kompensatsiyali chulg'am o'zgarmas tokdagi mashina kommutatsiyasi xarakteriga yaqin keladi. Kommutatsiyani yaxshilash uchun qo'shimcha qutblar qo'llaniladi.



7.13-rasm. bir yakorli o'zgartirgich seksiyalarida tok shakli.



7.14-rasm. Bir yakorli o'zgartirgich sxemasi.



7.15-rasm. Bir yakorli o'zgartirgich kaskadli sxemasi.

Bir yakorli o'zgartirgichni ishga tushirish sinxron motordagi kabi amalga oshiriladi. Eng ko'p asinxron ishga tushirish ommalashgan.

O'zgaras tok tomonida kuchlanishni rostlash uchun kuchlanishni o'zgartirish kerak. Buning uchun kuch uchun zanjiriga reaktor va avtortransformatorni ulash kerak, u qurilmani murakkablashtiradi.

Qo'zg'atish chulg'amida tok o'zgarganida $\cos\varphi$ ga o'zgaradi. Qo'zg'almaganda bir yakorli o'zgartirgich tarmoqda reaktiv quvvatni oladi.

Bir yakorli o'zgartirgich qayta o'zgartirilganida reaktiv quvvatni tarmoqqa beradi. O'zgaras tokni o'zgaruvchan tokka o'zgartirishda bir yakorli o'zgartirgich xuddi o'zgaras tokdagi motor va sinxron generator kabi ishlaydi. O'zgaras tokdagi motorning aylanishi chastotasini rostlashda chastota sinxron generatorga chiqishda o'zgaradi. Bir yakorli o'zgartirgich ikkilanma tokning generatori sifatida ishlashi mumkin, ya'ni mexanik energiyani o'zgaruvchan va o'zgaras tok elektr energiyasi o'zgartiradi.

Mexanik energiyani o'zgaras va o'zgaruvchan tokli elektr energiyasiga o'zgartirish. Bunda I holatlarda o'zgaras i_2 va o'zgaruvchan i_1 tok yakorda taxlanadi va yakor chulg'ami kesimi o'zgartirgich sifatida chulg'am kesimidan taqqoslash bo'yicha bir yakorli o'zgartirgichni ishlashida oshirish zarur bo'ladi.

Bir yakorli o'zgartirgichni kaskadli sxemada qo'llasa bo'ladi. 7.15- rasmdagi sxemada asinxron motor AD energiyasining sirpanishi BO' bir yakorli o'zgartirishgichdan o'zgaras tokliga o'zgaradi, u asinxron motor bilan birta valda bo'lgan o'zgaras tokli motor O'TDdan uzatiladi. Dvigatelning uyg'otish chulg'ami DUCH va bir yakorli o'zgartirgich BYAO' asosiy motorning aylanish chastotasi rostlash chegarasin i kengaytirishni ta'minlaydi.

Kitobning boshida elektr mashinalarni ko'rib chiqishni biz umumlashtirilgan mashinadan boshlagan edik. Ko'rib chiqishni biryakorli o'zgartirgichli induktiv mashinalardan tugatamiz, chunki uni bazasida umumlashtirilgan mashina bajarilgan bo'lishi mumkin. Bir yakorli o'zgartirgich xuddi sinxron, asinxron va kollektorli mashina kabi ishlashi mumkin, shunday qilib ana shu mashinani o'rgana turib, boshqa barcha elektr mashinalarni o'rganish mumkin.

Nazorat savollari.

1. Bir yakorli o'zgartirgich kaskadli sxemasini tushuntiring?
2. Bir yakorli o'zgartirgich seksiyalarida tok shakli qanday?
3. Bir yakorli o'zgartirgich nima?

VII-BOB XULOSASI

Bu bobda talabalar elektr mashinalar o'zgartirgichlari, elektr mashinalarni kaskadli ulash bilan tanishib chiqadilar. Asosan bobda asinxron mashina kaskadini ulash, ularni elektromexanik o'zgartgich sifatida ish jarayoni tahlili va bir yakorli o'zgartgichlar ko'rib chiqildi. Talabalar bu bobni o'rganishlari muhim sanaladi, chunki hozirgi rivojlanayotgan davr o'zgartgichlarni bir necha yangi turlarini yaratishni talab etmoqda.

VIII- B O B.

SIG'IMLI VA INDUKTIV-SIG'IMLI ELEKTROMEXANIK O'ZGARTIRGICHLAR.

8.1. Sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar.

Elektrotexnika sanoatida faqat induktiv mashinalar tayyorlanadi. Induktiv mashinalarning nazariyasi yuqori darajasigacha takomillashtirilgan va deyarli kitobning barcha hajmi mashinalarga bag'ishlangan, ularda energiya konsentratsiyasi magnit maydonida hosil bo'ladi.

Sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlarda (EO') energiya konsentratsiyasi va energiyani elektromexanik o'zgarishi elektr maydonda sodir bo'ladi. induktiv mashinalarga qaraganda sig'imli elektr mashinalar sezilarli darajada oldin paydo bo'lgan bo'lsada hanuzgacha ular kuch EO' sifatida amalda qo'llanilmaydi.

Elektrotexnikada dual invers elektrodinamika nazariyasi mavjud bo'lib, tasdiqlashadiki, elektr maydonni baravarlashtirish dual invers yo'li bilan almashtirish orqali olinadi.[7]:

elektr maydoni	magnit maydoni
Q_e	Q_m
$\longleftrightarrow$	
elektr zaryadi	magnit zaryadi
F_e	F_m
$\longleftrightarrow$	
U	i
kuchlanish	tok
$\longleftrightarrow$	
e	F
$\longleftrightarrow$	

EYUK

MYUK

Magnit zaryadi haqidagi tasavvurdan foydalanish elektrmagnitli maydon tenglamasini simmetriyalash imkonini beradi.

Sig'imli mashinalar nazariyasi bir qancha iqtidorli olimlarning harakatiga qaramasdan cho'qur rivojlanishga erisha olmadi. Shuning uchun sig'imli elektr mashinalarni induktiv mashinalar nazariyasi borasida erishgan natijalarga ko'chirib qo'yish maqsadga muvofiqdir.

Induktiv elektr mashinalar uchun EYUK

$$e = blv \quad (8.1)$$

Sig'imli mashinalar MYUK uchun esa

$$h = Dlv \quad (8.2)$$

D- bu yerda elektr maydon induksiyasini yoki elektr siljishi; l- induktiv mashinalar o'tkagichi uzunligi va sig'imli elektr mashinalar elektrodi kengligi.

Induktiv mashinalarda energiyani elektromexanik o'zgarishi induktivlik o'zgarishi, sig'imli mashinalarda esa sig'im, kuchlanish va tok o'zgarishi hisobiga sodir bo'ladi. Elektrli maydon energiyasi

$$W_E = 0.5 \int_v^n EDdv, \quad (8.3)$$

E- elektr maydon kuchlanganlik.

Sig'imli elektr mashinani yaratish uchun elektr maydonida energiyani bir joyga to'plash zarur. Elektr maydonida vakuumda energiyani bir joyga yoki havoda to'plansa, unda magnit maydonida energiyani konsentratsiyasi, energiya konsentratsiyasi darajasi sezilarli kam bo'ladi va mashinaning elektr sig'imini yaratish, induktiv mashina bilan raqobat qilish layoqatiga bo'lmaydi.

S kondensator plastinasi maydonini o'zgartirib sig'imni o'zgartirish mumkin, plastinalar oralig'idagi masofa x va dielektrli o'zgarmas modda ϵ , plastina oralig'ida bo'lgan:

$$C = \frac{\epsilon S}{x} \quad (8.4)$$

x o'zgarishi hisobiga sig'im o'zgarishida kelib chiqadigan kuchlarni isrof bo'lishiga e'tiborsizlik bilan qarash, uni shunday ifodalash mumkin

$$F = \frac{d(W_n - W_E)}{dx}, \quad (8.5)$$

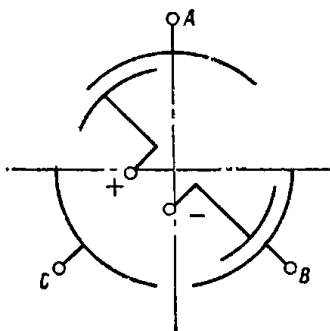
W_n - manbadan etkaziladigan energiya

$$dW_n = UdQ = U^2 dC, \quad (8.6)$$

Bu yerda Q- kondensatordagi zaryad;

$$dQ = CdU.$$

Kondensatorni tarmoqda ulab va uzib yoki uni tarmoqqa berib tarmoqdan quvvat yo'nalishini ta'minlash mumkin.



8.1-rasm. Uch fazali aylanayotgan elektr maydoni.

Makonda kondensatorlar plastinasini muayyan ko'rinishda ega bo'lishi va vaqtga qarab kuchlanishni magnit maydoni uchun ham surish, aylanayotgan elektr maydonini olish mumkin (7.1-rasm). Uch fazali sistemada ko'p fazali va ikki fazali sig'imli elektr mashinalarni olish mumkin. Sig'imli EP induktiv kabi sinxron, asinxron, kollektorli EP va transformatorlarga bo'linadi.

Sinxron sig'imli mashinalar $\omega_r = \omega_s$. Buning uchun rotor elektrodlariga o'zgarmas kuchlanishni yuborish yetarli bo'ladi (8.1 rasm). Asinxron sig'imli mashina olish uchun ($\omega_r \neq \omega_s$), sinxron mashinada rotorni almashtirish zarur, uni silindr ko'rinishida dielektrdan bajarish mumkin.

Agar kondensatorda kuchlanish o'zgarsa sig'imli transformatorlarni olinadi. Sig'imli mashinalarda kuchlanish o'zgaradi, qachonki o'zgarmas zaryadda Q kondensator sig'imi o'zgartirilsa $C=Q/U$. Kondensator qoplamasiga A,V,S kommutatordan (kollektordan) kuchlanish o'tkazilsa, unda kollektorli sig'imli elektr mashinalarni olish mumkin bo'ladi.

Xuddi shunday elektr mashinalar uchun umumlashgan mashinalardan olinayotgan umumlashgan sig'imli elektr mashinalar haqida tasavvurni kiritish mumkin (1.28 rasimga qarang) agar unda induktivlik sig'imga almashtirilsa. Dualinvers elektrodinamika nazariyasi asosiga umumlashgan sig'imli elektr mashinalar uchun (1.104), (1.110) tenglamadan tenglama yozib olinadi:

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha}^s \\ i_{\alpha}^r \\ i_{\beta}^r \\ i_{\beta}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{\alpha}^s + \frac{d}{dt} C_{\alpha}^s & \frac{d}{dt} C & 0 & 0 \\ \frac{d}{dt} C & g_{\alpha}^r + \frac{d}{dt} C_{\alpha}^r & C_{\beta}^r \omega_p & C \omega_p \\ -C \omega_p & -C_{\alpha}^r \omega_p & g_{\beta}^r + \frac{d}{dt} C_{\beta}^r & \frac{d}{dt} C \\ 0 & 0 & \frac{d}{dt} C & g_{\beta}^s + \frac{d}{dt} C_{\beta}^s \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} u_{\alpha}^s \\ u_{\alpha}^r \\ u_{\beta}^r \\ u_{\beta}^s \end{bmatrix}; \quad (8.7)$$

$$M_{EM} = C(u_{\beta}^s u_{\alpha}^r - u_{\alpha}^s u_{\beta}^r). \quad (8.8)$$

(8.7), (8.8) induktiv mashinalar tenglamasiga nisbati bo'yicha keyingi dual-invers almashtirish amalga oshirildi: kuchlanish-tok, to'la sig'imli induktivlik $u \rightleftharpoons i$;

$$L_{\alpha,\beta}^{SF} = C_{\alpha,\beta}^{sr};$$

O'zaro induktivlik o'zaro sig'im. $M \rightleftharpoons S$; aktiv qarshilik-o'tkazuvchanlik

$$r_{\alpha,\beta}^{SF} = g_{\alpha,\beta}^{sr};$$

To'la sig'im o'z ichiga sig'im va o'zini sig'imini oladi masalan

$$C_{\alpha}^s = C + C_{c\alpha}^s. \quad (8.9)$$

Sig'imli mashinalar tenglamasi koordinatning turli sistemalarida yozilgan bo'lishi mumkin va induktiv elektromexanik o'zgartirgichlarni tenglamalarini barcha turli-tumanligini takrorlash (1.157)-(1.161).

Sig'imli elektr mashinalarni tuzishda induktiv mashinalar konstruksiyasini nusxasini ko'chirish xato bo'lar edi. Rotorning aylantiruvchi harakatli induktiv mashinalari shunchalika takomillashganki, ularni boshqa bir narsa bilan

almashtirishni iloji yo'q. Sig'imli mashinalarning konstruksiyasini topishga harakat qilish kerak, u induktivga o'xshash bo'lmagan va ularni qayerda induktiv mashinalar yetarli muvaffaqiyatli xulosa bermaydigan joyda masalan EP uchun suyuq va gazsimon rotor va boshqalar qaytarilgarilansa harakatni olish uchun qo'llash lozim.

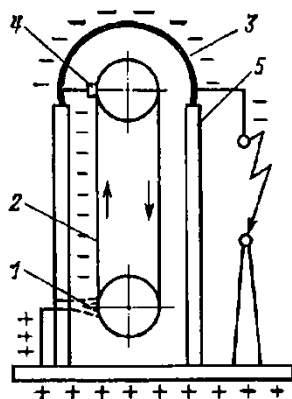
Induktivli elektr mashinalarga yaqinlashayotgan o'z ko'rsatkichlari bo'yicha sig'imli mashina olish uchun ϵ o'zgarmas katta dielektrikli moddalarda elektr maydonini konsentratsiyalash zarur. Dielektrik konstruksiyasida $\epsilon \approx 8 \div 10000$ titanit bariy, kaliyli digidrofosfat va boshqalarni qo'llash kerak. Agar induktiv mashinalarda magnit maydoni energiyasi tor tirqishda konsentratsiyalansa, unda sig'imli mashinalarda u suyuq yoki qattiq dielektrikda konsentratsiyalanadi.

Pezoeffektdan foydalaniladigan sig'imli mashinalar bir namunasi bo'lib EYU xizmat qiladi.

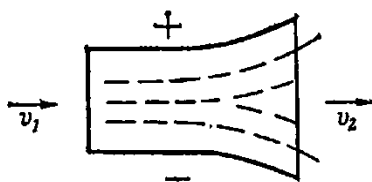
Kvars kristallari, titanat bariy, segnet tuzlarga mexanik ta'sir ko'rsatishda ularning chegarasida qarama-qarshi elektr zaryadlari kelib chiqadi. Bu holatni pezoeffekt deb aytiladi. Kristalga elektr maydon ta'sirida mexanik deformatsiya kelib chiqadi. Bu holat teskari pezoeffekt deyiladi[8].

Pezokeramik EYU dan generator sifatida yuqori kuchlanishni va motor sifatida chiziqli siljishlarni olish uchun foydalaniladi. Garchi ularni birta kristalga ko'chirish arziyas holdir, ketma-ketlikda kristallarni ulab, aniq yuqori chastotali ishchi organlarni ko'chirishga erishish mumkin. Pezokeramik EYU dan generator sifatida ichki kuyishda motorlarni yondirish sistemasida foydalanishga harakat qilishadi. Pezometrik EP oddiy elektr mashinalarga o'xshash bo'lmasada, energiya elektromexanik hosil qilish tenglamasini qayd qiluvchi va elektromexanika qonunlariga bo'ysinadi.

Uch asrdan ko'p tarixga ega bo'lgan sig'imli elektr mashinalarni rivojlantirishning ayniqsa muvaffaqiyatli konstruksiyasi Van-de-Graafa konveksion generatori hisoblanadi. (8.2-rasm). Bunday mashinalarning zaryadlovchi sistemasi 1 tojli zardsizlanish hisobiga zaryadlarni manfiy va musbat bo'linishi sodir bo'ladi. Lentada harakatlanayotgan 2 manfiy zaryadlar sohaga ko'chiriladi va 3 lentadan cho'tka bilan olib tashlanadi 4. Metall sohasi 3 izolyasion taglikka o'rnatilgan 5. Bunday generatorning quvvati 6 kVt, o'zgarmas tok kuchlanishi 15 mln.V, tok 1000 mA. Generator balandligi 15-20 m. Bunday generatorlar sinash qurilmalarida qo'llaniladi.



8.2-rasm. Van-de-Graaf konveksion generatori.



8.3-rasm. Ionli motor sxemasi.

Sig'imli mashinalarning istiqboldagi konstruksiyasi ionli dvigatel hisoblanadi, uning prinsipial sxemasi 8.3-rasmda ko'rsatilgan. Ionlar oqimi kanalda elektr maydoni bilan tezlashadi va turli v_1 - v_2 tezlikda soplodan tashlanadi, buning evaziga motor korpusi tezlanish oladi.

Induktivli oldida sig'imli mashinalarning ustunligi shundaki ular massiv magnit sistemasini talab qilmaydi. Elektr maydonini hosil qilish uchun yengil elektrodlar zarur. Sig'imli motorlar yuqori voltli bo'lib, bu ularning ustunligi va kamchiligi hamdir.

Nazariya doirasida ham xuddi shunday sig'imli elektr mashinalar amaliyotga tadbiq qilish borasida hali qilingan ishlar yetarli emas, ammo juda katta istiqbollar bor va elektromexanikada sig'imli EYuKni qo'llashga harakat qilish kerak, chunki oddiy elektr mashinalar zarur ko'rsatkichlarni ta'minlab bermaydi.

Nazorat savollari.

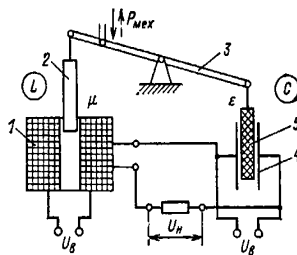
1. Uch fazali aylanayotgan elektr maydonini izohlang?
2. Van-de-Graaf konveksion generatori qanday ishlaydi?
3. Ionli motor sxemasini tushuntiring?

8.2. Induktiv-sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar.

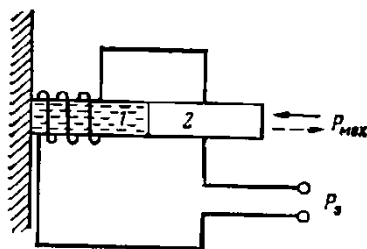
Induktivli EYuKda konsentratsiya va energiyani o'zgartirish magnit maydoni, sig'imlarda esa elektr maydon hosil bo'ladi.

Bir agregatda induktiv va sig'imli elektr mashinani joylashtirsa induktiv sig'imli EYuKni olish mumkin bo'ladi.

Induktiv sig'imli EYuKni misol 8.4-rasmdan ko'rsatilgan mashina hisoblanadi. Oddiy induktiv mashina mexanik ulangan va S sig'imli elektr mashina bilan umumiy elektr zanjirga ega. Induktiv mashina g'altakdan 1 iborat, uyg'otiladigan o'zgarmas tok va ko'chma o'zak 2, shayinga ulangan 3. O'zakning harakatlanishida yuklama zanjirida va g'altakda induktivlik o'zgaradi, yuklama qarshiligidan iborat bo'lgan Z_n , g'altak 1 va o'zgaruvchan kondensator sig'imida 4, o'zgaruvchan tok o'tadi.



8.4-rasm. Induktiv-sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar sxemasi.



8.5-rasm. Magnitostriksion va pezoelektrli qismli induktiv sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar.

Sig'imli mashina kondensatorni ifoda etadi, sig'im bilan qoplama o'rtasidagi joyi o'zgartirilgan dielektrik hisobiga o'zgaradi, 5 katta dielektrli o'zgaras ϵ EYUK. C sig'im o'zgarganda elektr zanjirda tok o'zgaradi $i = dq/dt$, q zanjir zaryadi. Ikki mashinani rezonansga sozlashda, qachon

$$\omega \approx 1/\sqrt{LC} \omega_0 L = 1/\omega_0 C$$

elektromexanik rezonans o'ringa ega bo'ladi. Shunday qilib mexanik va elektrli chastota tebranishlarida bir-biriga teng bo'ladi. Rezonans holatida mashinaning energetik tavsifi eng yaxshidir. Bu mashinada magnit va elektr maydonni hosil qilish uchun begona manbadan reaktiv quvvat talab etilmaydi, rezonansda induktiv va sig'imli mashina o'rtasida reaktiv quvvat almashishi sodir bo'ladi. Yuklama tavsifidan bog'liqligiga qarab yuklamaning reaktiv quvvatini hisobga olish kerak bo'ladi.

Induktiv sig'imli elektr mexanik o'zgartirgich va boshqa barcha elektrli mashinalarga e'tibor qaratamiz: u generator va motor rejimida ishlashi mumkin. Generator rejimida shayinga ustiga mexanik quvvat P_{mex} qo'yiladi, yuklamadan elekt quvvat ajralib chiqadi (bu yerda I_i – yuklamadagi tok, R_i – yuklama aktiv qarshiligi). Elektr quvvatni chiqarmaga z_i keltirib, shayindan 3 mexanik quvvatni chiqarib olamiz.

Induktiv-sig'imli EYuK ni magnitstriksion va pezoelektr effektidan foydalangan holda yaratish mumkin.

Magnitstriksion hodisa ferromagnetik magnitlanishida uni shakli va o'lchamlari o'zgarishiga bog'liq. Mexanik ta'sirlarda ferromagnetikda magnitlanish kelib chiqadi. Pezoeffekt kristallarga mexanik ta'sirlarda elektr zaryadlarni kelib chiqishi bilan bog'liq. Teskari pezoelektrli effekt mavjud bo'lib, elektr maydon ta'siri ostida kristallarning chiziqli o'lchamlarida o'zgarish sodir bo'ladi.

8.5-rasmda induktiv sig'imli EYuK sxemasi berilgan, u magnit striksion 1 va pezoelektrli 2 qismlardan iborat, va u shakllantirilmagan tayanchga mahkamlangan.

Eng yaxshi pezo xususiyatli material qattiq sirkoiatotitanat, titanat bariya, segnet tuzi va boshqalar eritmasi hisoblanadi. Magnitstriksion material sifatida permendyur, toza nikel, qattiq sirkoiatotitanat qo'rg'oshin va boshqalar foydalaniladi.

Pezokristallga mexanik ta'sirda uning qirralarida elektr yurituvchi kuch paydo bo'ladi va elektr zanjirdan tok oqib o'tadi va magnit maydonini hosil qiladi hamda magnitostriksion qismga ta'sir ko'rsatadi. Rezonansni elektr zanjirga va mexanik tebranishga rostlab, yuqori energetik ko'rsatkichli tebranish harakatida induktiv sig'imli EYuK ni hosil qilish mumkin. O'nlab va yuzlab kristallarni birin-ketin ulab

uch o'lchamdagi makonda aniq joyini o'zgartirib qaytuvchi ilgarilanma harakat EYuK ni hosil qilish mumkin. Bunday EYuK motor va generator rejimida ishlashi mumkin va robot texnikasida qo'llanilishi mumkin. Ko'rib chiqilgan EYuK oddiy elektr mashinalarga o'xshashligi yo'q bo'lsada, ular elektromexanika qonuniga buynsunadi va energiyani o'zgartirish jarayoni bu mashinalar energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasiga buynsunadi.

Energiyani o'zgartirish jarayonlarining matematik tavsifida induktiv-sig'imli EYuK induktiv va mashina sig'imi tenglama sistemasidan iborat bo'ladi, simvolik tarzda quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$\begin{bmatrix} U_L \\ i_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_L & 0 \\ 0 & Z_C \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} i_L \\ U_C \end{bmatrix}; \quad (8.10)$$

$$M_{EML} = M(I^s I^r); \quad M_{EMC} = C(U^s U^r). \quad (8.11)$$

Bu yerda: u_L, i_L induktiv mashinaning tok va kuchlanishning tegishincha matritsasi; I_s, U_s - sig'imli elektr mashinalar kuchlanishi va tok submatritsasi; Z_L – induktiv mashina qarshiligi matritsasi; Z_L -sig'imli mashina qarshiligi matritsasi; M_{emL}, M_{emS} – induktiv va sig'imli mashinalarning elektromagnit momentlari I_s, I - induktor mashina statoridagi tok; U_s, U_r sig'imli mashina qismlarida joyini o'zgartirgan va qo'zg'almas kuchlanish.

Tok va kuchlanish submatritsasi va induktiv va sig'imli mashinalarning submatritsasi induktiv mashinalarni ko'rib chiqilayotgan nazariyasida (1.113) dan (1.138) gacha bo'lgan barcha boshqa ko'rinishdagi o'zgarishlariga ega bo'lishi mumkin. Moment (8.11) tenglamasi (1.113) dan (1.138) gacha bo'lgan barcha boshqa ko'rinishdagi o'zgarishlariga ega bo'lishi.

(8.10), (8.11) tenglamalar sistemasini induktiv sig'imli EYUni xulqini o'tish va muayayn rejimlar qayd qilib boradi. Induktiv va sig'imli mashinalar orasidagi nochiq aloqada (810) ga nol bilan birga bir mashinani boshqasiga ta'sirini hisobga oluvchi o'zaro aloqa Z_{LS} va Z_{SL} hosil bo'ladi

Elektr mashinalarni kelgusida taraqqiy ettirish nazariyasida chamasi induktiv sig'imli mashinalarni tenglamasi cho'qur tadqiq qilish imkoniyati bo'ladi va eng ko'p umumiy tenglamali bo'lgan ana shu elektr mashinalarni o'rganishni boshlash kerak, qaysidan ko'p hollarda induktiv va sig'imli elektr mashinalarning tenglamasi olinadi.

Induktiv sig'imli EYuK ni hali texnik qo'llash yo'lga qo'yilmagan. Biroq, bunday mashinalar energiyani o'zgartirish jarayonlarini matematik qayd etishning mavjudligi, induktiv mashinalar yaratish va qo'llashdagi boy tajriba yaqin kelajakda yangi elektr mashinalar orginal ravishda qo'llash imkonini berishi mo'ljallanmoqda.

Nazorat savollari.

1. Induktiv-sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar sxemasini tushuntiring?
2. Magnitostriksion va pezoelektrli qisimli induktiv sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar qanday ishlaydi?
3. Induktiv-sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar tenglamasini yozing?

VIII-BOB XULOSASI

Bu bobda talabalar sig'imli va induktiv-sig'imli elektromexanik o'zgartirgichlar bilan tanishib chiqadilar. Sig'im va induktiv-sig'im o'zgartirgichlari juda katta quvvatga ega emas lekin ularni sanoatning bazi tarmoqlarida va xizmat ko'rsatuvchi servis qurilmalarda ko'rish mumkin. Bu o'zgartirgichlar orqali inson mehnati yengillashtirilmoqda, bu bizga energetikaning muhim yutuqlaridan biri hisoblanadi. Bu bobni o'rgangan talabalar, kichik quvvatli elektromexanik o'zgartirgichlarni ishlash prinsiplariga asos topadilar.

GLOSSARIY

Transformator - O'zgaruvchan tok kuchlanishini bir qiymatidan chastotasini o'zgartirmasdan boshqa qiymatiga o'zgartiruvchi elektromagnit apparat.

Transformatorlarni nominal quvvati deb ikkilamchi chulg'amda Volt-Amper bilan o'lchangan va pasportda ko'rsatilgan quvvatga aytiladi.

Transformatorlarni nominal birlamchi kuchlanishi deb, pasportda ko'rsatilgan kuchlanishga aytiladi.

Transformatorlarning nominal ikkilamchi kuchlanishi deb birlamchi chulg'amidagi kuchlanishi nominal kuchlanishiga teng bo'lib, salt ishlagandagi ikkilamchi kuchlanishga aytiladi.

Konsentrik chulg'amlar - silindr shaklida bo'ladi. Konstruktsiyasi jihatdan ular bir qatlamli, to'g'ri tortburchakli kesimli simdan qilingan ikki qatlamli, doiraviy kesimli simdan qilingan ko'p qatlamli, g'altakli ko'p qatlamli iborat.

salt ishlash rejimi – Birlamchi cho'lg'ami manbaga ulanib, ikkilamchi cho'lg'ami istemolchilarga ulanmagan vaqtda.

Transformatorni parallel ishlashi - kuchlanish bo'yicha transformatsiya koeffitsientlari ham bir xil bo'lganda, chulg'amlarining ulanish guruhlari, qisqa tutashish kuchlanishi bir xil (farqi ko'pi bilan $\pm 10\%$ bo'lishiga yo'l qo'yiladi).

Tok transformatorlari – Katta o'lchamdagi tokni 5 A gacha kichraytirib beradi.

Kuchlanish transformatorlari – Katta o'lchamdagi kuchlanishni 100 V ga kamaytirib beradi.

rotor chulgamlari kiska tutashtirilgan rotor - pulat o'zak arikchalariga alyuminiydan yasalgan sterjenlar joylashtirilib, ularning uchlari alyuminiy xalkalar bilan birlashtirilsa.

Faza rotorli asinxron motor - rotorning po'lat o'zagi arikchalariga, stator chulgamlari kabi, misdan yasalgan uch fazali chulg'am joylashtirilsa, bunday rotor faza chulg'amli rotorga aytiladi.

Sirpanish - rotorning aylanish tezligi magnit maydon aylanish tezligidan bir qancha farq qiladi. mana shu farqni xarakterlovchi kattalikka.

Aylanuvchan magnit maydonining tezligi - chulgamlardan uch fazali tok o'tganda bir juft kutbli ($r=1$) magnit maydoni xosil bo'ladi. Bunday magnit maydoni o'zgaruvchan tokning bir davri manbaynida bir marta to'lik aylanadi. CHulgamlar sonini shunday tanlash mumkinki, bunda juft kutblar soni ikki, uch va xokazo bo'lishi mumkin.

asinxron motorni chulg'am turlari - Sirtmoqsimon chulg'amlar, to'lqinsimon chulg'amlar, andazaviy chulg'amlar.

asinxron mashinani mexanik tavsifi - Manba kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda o'rotor aylanishlar soni (p_2) ning aylantiruvchi momentga bog'liqlik egri chizigi asinxron motorning *mexanik tavsifi* deyiladi.

Motorni ishchi tavsifini xisoblash - Motor toki, sirpanishi, istemol quvvatini, quvvat koeffitsientini va foydali ish koeffitsientini motor validagi foydali quvvatga bog'liqlik grafigiga motorni ishchi tavsiflari hisoblanadi.

Mexanik xarakteristikaning bekaror kisimi - Mexanik xarakteristikaning $S - V$ kismida esa tezlikning xar kanday o'zgarishi (kamayishi) aylantiruvchi momentning kamayishiga olib keladi, natijada motor to'xtaydi. SHuning uchun $p = 1/(M)$ egri chizikning $S - V$ kismiga aytiladi.

asinxron motor rotor tezligini o'zgartirish uchun - A) elektr tarmoqni chastotasini o'zgartirish kerak. B) rotorning sirpanish $S - ni$ o'zgartirish kerak. V) juft qutblar soni $R - ni$ o'zgartirish kerak.

Ko'p tezlikli motorlar - bir nechta tezliklarda ishlashga mo'ljallangan asinxron dvigagellar.

Sinxron mashina ham asosan ikki qismdan - qo'zg'almas qismi – stator va aylanuvchi qismi rotordan iborat.

Sinxron mashina turg'un rejimda ishlaganda quyidagi o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'ladi - a) mashina generator yoki motor rejimida ishlaganda uning rotor magnit maydonining aylanish chastotasiga teng bo'lgan o'zgarmas chastota bilan aylanadi;

b) yakor chulg'amida hosil bo'ladigan EYUKning chastotasi rotorning aylanish chastotasiga proporsional bo'ladi;

v) mashina turg'un rejimda ishlab turganda uning rotor chulg'amida EYUK hosil bo'lmaydi, mashinaning MYUK qo'zg'atish toki bilan aniqlanadi va uning ishlash rejimiga bog'liq bo'lmaydi.

Sinxron generatorning salt ishlash xarakteristikasi - yuklama bo'lmaganda hamda aylanish tezligi (chastotasi) nominal bo'lganda generator EYUK ning uyg'otish toki I_u ga bog'likligi.

Sinxron generatorni parallel ishlashi. - ulanadigan generator chiqishlaridagi kuchlanish ishlayotgan generator yoki tarmoq kuchlanishiga teng bo'lishi lozim; ulanadigan generator chastotasi tarmoq chastotasiga teng kelishi kerak;

ulanadigan generator hamma fazalarining EYUK ishlayotgan generator yoki tarmoqning tegishli fazalaridagi kuchlanishlarga (faza bo'yicha) qarama-qarshi bo'lishi kerak;

parallel ishlashga ulangan generatorning – fazalari ishlayotgan generator fazalaridek tartibda joylashtirish kerak, ya'ni ishlayotgan generatorning A fazasidan keyin V faza, undan keyin S faza joylashsin.

Sinxron generatorning qisqa tutashish xarakteristikasi - Stator chulg'amidagi qisqa tutashish tokining (I_{1K}) generatorning qo'zg'atish tokiga (I_K) bog'lanishi $I_{1K} = f(I_K)$.

Sinxron generatorning tashqi xarakteristikasi - Sinxron generatorning stator klemmalaridagi kuchlanishning yuklama toki bilan bog'lanishi uning tashqi xarakteristikasi.

Rostlash xarakteristikasi - Generatorning kuchlanishi $U_1 = U_{1H} = const$ bo'lganda uning qo'zg'atish toki I_q ni yuklama toki I_1 ga bog'lanishi, ya'ni $I_q = f(I_1)$ generatorning rostlash xarakteristikasi.

Sinxron mashinaning burchak tavsifi - Sinxron mashinaning quvvati va elektromagnit momenti stator va induktor magnit maydonlari o'qlari orasidagi burchak $-\theta$ ga mutanosib o'zgaradi. Sinxron mashina aktiv quvvati va elektromagnit momentining bogg'likligiga.

Sinxron mashinaning ishchi tavsifi - foydali quvvatni motor toki, quvvati, quvvat koeffitsienti, momenti va aylanish tezligiga bog'liklik grafigi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Bhattacharya. Electrical machinery 3E book. 2008, N/A p.
2. Fitzgerald, Electrical machinery, 6/E book. 2002, N/A p.
3. Berdiev U.T., Pirmatov N.B. Elektromexanika. Texnika oliy o'quv yurtlarining "Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari" va "Elektr energetika" yo'nalishi talabalari uchun darslik. T.:Shams-Asa. 2014.386 b.
4. Пирматов Н.Б., Мустафокулова Г.Н., Махмадиев F.M. «Электр машиналари» курсидан «Асинхрон моторларни лойихалаш», Ўқув қўлланма. Т.: ТошДТУ, 2013. -95 б.
5. Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektr mashinalari. Darslik.-T.: O'zbekiston faylasuflari milliy nashriyoti, 2011. 408 b.
6. Иброҳимов У. Электр машиналари. Ўқув қўлланма. Т.: Ўқитувчи, 2001.
7. Мажидов С. Электр машиналари ва электр юритма. Ўқув қўлланма. Т.: Ўқитувчи, "Зиё-Нашир" 2002. 408 б.
8. Кацман М.М. «Электрические машины», Г. Москва, издательский центр «Академия», 2005.
9. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины: учебное пособие для студ. вузов. — М.: Издательский центр «Академия»,2006. 320 с.
10. Бут Д.А. Основы электромеханики: Учеб, пособие. — М.: Изд-во МАИ, 1996. - 468с.
11. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: Учеб, пособие для вузов. — М.: Издательский центр «Академия»,2003.-176с.
12. Волдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. - С П б.: Питер, 2008. - 350 с.
13. Гольдберг О.Д., Хелемская С.Л. Электромеханика: учебник для студ. высш. учеб, заведений / П од ред. О.Д Гольдберга. ~ М.: Издательский центр «Академия», 2007.-512с.
14. Епифанов А. П. Электромеханические преобразователи энергии. Учебное пособие для вузов. — С П б.: Изд-во «Лан», 2004, -208 с.

15. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. В 2-х т. Учебник для вузов. — М.: Издательство М Е И, 2004. Том 1 - 652 с.;
16. Копылов И.П. Электрические машины: Учеб, для вузов.-2-е изд., пере раб.-М.:Высш.шк .; Логос; 2000. -607 с.
17. Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: Учебник для вузов / Подред. Н.Ф. Котеленса.-М.: Издательский центр «Академия»,2003.-384с.
18. Волдек А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы. Учебник для вузов. С П б.: Изд-во Питер, 2007. - 320 с.).
19. <http://ggwww.eprussia.ru>
20. <http://ggwww.i-en.ru>

M U N D A R I J A

Kirish	4
I- BOB	
ELEKTR MEXANIKA KURSIGA KIRISH	5
1.1 Elektromexanika va ijtimoiy rivojlanishi.....	5
1.2 Elektr mashinalarni rivojlantirishning qisqacha tarixi.....	10
1.3 Elektr mashinalarining klasifikatsisi.....	20
1.4 Elektr mashinalarining asosiy konstruktiv ijrosi.....	22
1.5 Elektr mexanikasi qonunlari.....	26
1.6. Elektr mashinalar- elektromexanik o'zgartirgichlar.....	31
1.7 Mashinalarning magnit maydoni.....	37
1.8 Aylanuvchan magnit maydoni.....	46
1.9. Elektr mashinalarining chulg'amhlari.....	50
1.10 Elektr mashinalar chulg'amida EYUKni hosil qilish.....	60
1.11 Chulg'amdagi magnitni yurituvchi kuchlar.....	68
1.12 Energiyani elektromexanik o'zgartirish tenglamasi.....	72
1.13 Elektr mashinalarning parametrlari.....	81
1.14 Elektr mashinalar oralig'ida garmonik maydonning cheksiz spektr	88
1.15 Umumlashtirilgan elektromexanik o'zgartirgich.....	92
1.16 Foydali ish koeffitsienti va isroflar.....	97
1.17 Elektr mashinalarni qizishi va sovutilishi.....	101
1.18 Elektr mashina yasashda ishlatiladigan materiallar.....	107
1.19 Elektr mashinalarda standartlash.....	113
I-Bob xulosasi.....	115
II- BOB	
TRANSFORMATORLAR	
2.1 Transformatorlarning vazifasi va ular haqida asosiy ma'lumotlar....	116
2.2 Transformator tenglamasi.....	119
2.3. Transformatorning vektori diagrammasi.....	122
2.4. Transformatorni almashtirish sxemasi.....	125
2.5. Uch fazali transformatorlar.....	128
2.6. Transformator parametrlarning almashtirish sxemalar.....	129
2.7 Transformatorlarni konstruksiyasi.....	140
2.8 Ulash guruhlari va sxemalari.....	150
2.9 Bir va uch fazali transformatorlarning ishlash xususiyatlari.....	154
2.10 Transformatorlarning tavsifi.....	159
2.11 Transformatorlarning parallel ishlashi.....	163
2.12 Ko'p chulg'amli transformatorlar.....	165
2.13 Avtotransformatorlar.....	171
2.14 Ketma-ket transformatorlar.....	175
2.15 Transformatorlar kuchlanishini boshqarish.....	178
2.16 Uch fazali transformatorlarning nosimmetrik yuklanishi.....	181
2.17 Transformatorlarda o'tish jarayonlari.....	187
2.18 Maxsus transformatorlar.....	202

2.19	Transformatorlarni loyihalashtirish..	212
2.20	Rossiyada ishlab chiqarilayotgan transformatorlar.	215
	II-Bob xulosasi.....	219

III- B O B

ASINXRON MASHINALAR

3.1	Asinxron mashinalarning tuzilishi va ishlash rejimlari.....	220
3.2	Asinxron mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayonining matematik tavsifi.....	222
3.3	Asinxron mashinalarning tuzilishi.....	225
3.4	Asinxron mashinalarning chulg'ami.....	233
3.5	Asinxron mashinalarning vektor diagrammasi.....	237
3.6	Asinxron mashinalarni ekvivalent sxemasi.....	241
3.7	Aylana diagrammasini loyihalash.....	245
3.8	Tajriba ma'lumotlari bo'yicha aylana diagramma qurish. Ishchi tavsiflar.....	248
3.9	Aylana diagrammasini aniqligi.....	254
3.10	Ideal asinxron mashinalarning elektromagnit moment.....	255
3.11	Asinxron mashinalarda o'tish jarayonlari.....	263
3.12	Aylanish chastotasini rostlash.....	269
3.13	Asinxron mashinalar momentiga yuqori garmonik maydon ta'siri..	275
3.14	Asinxron mashinalar monomentiga uyurmаланgan toklarning ta'siri..	281
3.15	Statik rejimlarda nohiziqliq parametrlarni hisoblash.....	286
3.16	Nosinusoidal nosimmetrik to'yinish kuchlanishida asinxron motorlar ishlashi.....	293
3.17	Asinxron mashinalarning normal ish rejimlari.....	296
3.18	Asinxron mashinalarning generator, tormozli va transformator rejimlaridagi ishlashi.....	300
3.19	Rossiyada ishlab chiqariladigan asinxron motorlar turlari.....	311
	III-Bob xulosasi.....	315

IV -BOB

SINXRON MASHINALAR

4.1.	Sinxron mashinalar ishlash rejimi.....	316
4.2	Sinxron mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayonlari.....	319
4.3	Sinxron mashinalar tuzilishi.....	324
4.4	Sinxron mashinaning salt yurishidagi magnit maydoni.....	333
4.5	Sinxron mashinalarning magnit zanjirlarini hisoblash.....	337
4.6.	Yuklamadagi sinxron mashinalarning magnit maydoni yakor reaksiyasi.....	340
4.7.	O'rnatilgan rejimdagi sinxronli mashinalarning kattaliklari.....	342
4.8	Sinxron generatorlarning tavsifi.....	348
4.9	Ayonmas qutbli sinxron generatorlarning vektor diagrammasi.....	353
4.10	Ayon qutbli sinxron generatorlarning vektorli diagrammasi.....	357
4.11	Sinxron mashinalarning parallel ishlashi.....	360
4.12	Sinxron generatorlarni parallel ishlashi.....	363

4.13	Reaktiv quvvatni rostlash. Sinxronlovchi quvvat. Burchakli tavsif...	365
4.14	Ayonqutbli sinxron mashinalarning elektromagnitli va sinxronlovchi quvvat.....	370
4.15	Sinxron motorlar.....	372
4.16	Sinxron kompensator.....	376
4.17	Nosimmetrik uch fazali yuklama generatorlari.....	378
4.18	Nosimmetrik qisqa tutashuv.....	382
4.19	Sinxron mashinalarda o'tish jarayonlari.....	384
4.20	Maydonni so'ndirishdagi o'tish jarayonlari.....	388
4.21	Sinxron mashinalarning tebranishi. Dinamik turg'unlik.....	390
4.22	Sinxron mashinalarni qo'zg'atish tizimi.....	394
4.23	Maxsus sinxron mashinalar.....	398
4.24	Rossiyada ishlab chiqarilgan sinxron mashinalarning turlari.....	407
	IV-Bob xulosasi.....	413

V- B O B

O'ZGARMAS TOKLI MASHINALAR

5.1	O'zgarmas tok mashinalarda energiyani o'zgartirish jarayonlari.....	414
5.2	O'zgarmas tok mashinalarining tenglamasi.....	417
5.3	O'zgarmas tok mashinalarining tuzilishi.....	421
5.4	Kommutatsiya	426
5.5	Kommutatsiyani yaxshilash usullari.....	431
5.6	O'zgarmas tok generatorlari.....	437
5.7	O'zgarmas tok dvigatelilari.....	446
5.8	O'zgarmas tok mashinalarda o'tish jarayonlari.....	451
5.9	O'zgarmas tok maxsus mashinalari.....	457
5.10	Ventilli motorlar.....	469
5.11	Rossiyada ishlab chiqarilgan o'zgarmas tokli mashinalari.....	473
	V-Bob xulosasi.....	475

VI- B O B

O'ZGARUVCHAN TOK KOLLEKTORLI MASHINALAR

6.1	O'zgaruvchan tok kollektorli mashinalarda energiyani elektromexanik o'zgartirish.....	475
6.2	Uch fazali kollektorli motorlar.....	476
6.3	Bir fazali kollektorli motorlar.....	481
	VI-Bob xulosasi.....	485

VII- B O B

ELEKTR MASHINALAR O'ZGARTIRGICHLARI. ELEKTR MASHINALARNI KASKADLI ULASH.

7.1	Asinxron mashinalarni kollektorli mashinalar bilan kaskadli ulash..	485
7.2	Elektr mashinali o'zgartirgichlar.....	489
7.3	Bir yakorli o'zgartirgichlar.....	492
	VII-Bob xulosasi.....	495

VIII- B O B

SIG'IMLI VA INDUKTIV-SIG'IMLI ELEKTROMEXANIK

O'ZGARTIRGICHLAR

8.1	Sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar.....	495
8.2	Induktiv-sig'imli elektr mexanik o'zgartirgichlar.....	499
	VIII-Bob xulosasi.....	502
	Glossariy.....	502
	Adabiyotlar ro'yxati.....	505

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА -I	
ВВЕДЕНИЕ В МЕХАНИКУ	4
1.1 Электромеханика и социальный прогресс.....	5
1.2 Краткая история развития электрических машин.....	10
1.3 Классификация электрических машин.....	20
1.4 Основные конструктивные исполнения электрических машин	22
1.5 Законы электромеханики.....	26
1.6. Электрические машины — электромеханические преобразователи.....	31
1.7 Магнитное поле машины.....	37
1.8 Вращающееся магнитное поле.....	46
1.9. Обмотки электрических машин.....	50
1.10 Наведение ЭДС в обмотках электрических машин.....	60
1.11 Магнитодвижущие силы обмоток.....	68
1.12 Уравнения электромеханического преобразования энергии.....	72
1.13 Параметры электрических машин.....	81
1.14 Бесконечный спектр гармоник поля в зазоре электрической машины.....	88
1.15 Обобщенный электромеханический преобразователь.....	92
1.16 Потери и коэффициент полезного действия.....	97
1.17 Нагрев и охлаждение электрических машин.....	101
1.18 Материалы, применяемые в электромашиностроении.....	107
1.19 Стандартизация в электрических машинах.....	113
Глава I Заключение.....	115
ГЛАВА -II	
ТРАНСФОРМАТОРЫ	
2.1 Назначение и общие сведения о трансформаторах.....	116
2.2 Уравнения трансформатора.....	119
2.3. Векторная диаграмма трансформатора.....	122
2.4. Схема замещения трансформатора.....	125
2.5. Трехфазные трансформаторы.....	128
2.6. Параметры схемы замещения трансформатора.....	129
2.7 Конструкции трансформаторов.....	140
2.8 Схемы и группы соединения.....	150
2.9 Особенности работы насыщенных однофазных и трехфазных трансформаторов.....	154
2.10 Характеристики трансформаторов.....	159
2.11 Параллельная работа трансформаторов.....	163
2.12 Многообмоточные трансформаторы.....	165
2.13 Автотрансформаторы.....	171
2.14 Последовательные трансформаторы.....	175

2.15	Регулирование напряжения трансформатора.....	178
2.16	Несимметричная нагрузка трехфазных трансформаторов.....	181
2.17	Переходные процессы в трансформаторах.....	187
2.18	Специальные трансформаторы.....	202
2.19	Проектированию трансформаторов.....	212
2.20	Трансформаторы, выпускаемые в Российского производства...	215
	Глава II Заключение.....	219

ГЛАВА -III

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

3.1	Режимы работы и области применения асинхронных машин...	220
3.2	Математическое описание процессов преобразования энергии в асинхронных машинах.....	222
3.3	Конструкции асинхронных машин.....	225
3.4	Обмотки асинхронных машин.....	233
3.5	Векторная диаграмма асинхронной машины.....	237
3.6	Схема замещения асинхронной машины.....	241
3.7	Круговая диаграмма.....	245
3.8	Построение круговой диаграммы по опытным данным. Рабочие характеристики.....	248
3.9	Точность круговой диаграммы.....	254
3.10	Электромагнитный момент идеальной асинхронной машины...	255
3.11	Переходные процессы в асинхронных машинах.....	263
3.12	Регулирование частоты вращения.....	269
3.13	Действия высших гармоник момента асинхронные машин.....	275
3.14	Действия тока нагрузок момента асинхронные машин.....	281
3.15	Расчёт нелинейные параметры статического режима.....	286
3.16	Работа асинхронного двигателя при несинусоидальном несимметричном напряжении питания.....	293
3.17	Нормальные режимы работы асинхронных машин	296
3.18	Генераторный, тормозной и трансформаторный режимы работы асинхронной машины.....	300
3.19	Типы асинхронных двигателей, выпускаемые в России.....	311
	Глава III Заключение.....	315

ГЛАВА- IV

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

4.1.	Режимы работы синхронных машин.....	316
4.2	Процессы преобразования энергии в синхронных машинах...	319
4.3	Конструкции синхронных машин.....	324
4.4	Магнитное поле синхронной машины при холостом ходе.....	333
4.5	Расчет магнитной цепи синхронных машин.....	337
4.6.	Магнитное поле синхронной машины при нагрузке. Реакция якоря.....	340
4.7.	Параметры синхронных машин в установившемся режиме.....	342
4.8	Характеристики синхронных генераторов.....	348

4.9	Векторные диаграммы неявнополюсных синхронных генераторов.....	353
4.10	Векторные диаграммы синхронных явнополюсных генераторов.....	357
4.11	Параллельная работа синхронных машин.....	360
4.12	Параллельную работу синхронных генераторов.....	363
4.13	Угловая характеристика. Синхронизирующая мощность. Регулирование реактивной мощности.....	365
4.14	Электромагнитная и синхронизирующая мощности явнополюсной синхронной машины	370
4.15	Синхронные двигатели.....	372
4.16	Синхронный компенсатор.....	376
4.17	Несимметричная нагрузка трехфазных генераторов.....	378
4.18	Несимметричные короткие замыкания.....	382
4.19	Переходные процессы в синхронных машинах.....	384
4.20	Переходные процессы при гашении поля.....	388
4.21	Качения синхронных машин. Динамическая устойчивость.....	390
4.22	Система возбуждения синхронных машин.....	394
4.23	Специальные синхронные машины.....	398
4.24	Серии синхронных машин, выпускаемые Российского производства.....	407
	Глава IV Заключение.....	413

ГЛАВА -V **МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

5.1	Процессы преобразования энергии в машинах постоянного тока.....	414
5.2	Уравнения машин постоянного тока.....	417
5.3	Конструкции машин постоянного тока.....	421
5.4	Коммутация.....	426
5.5	Способы улучшения коммутации.....	431
5.6	Генераторы постоянного тока.....	437
5.7	Двигатели постоянного тока.....	446
5.8	Переходные процессы в машинах постоянного тока.....	451
5.9	Специальные машины постоянного тока.....	457
5.10	Вентильные двигатели.....	469
5.11	Машины постоянного тока, выпускаемые Российского производства.....	473
	Глава V Заключение.....	475

ГЛАВА -VI

КОЛЛЕКТОРНЫЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

6.1	Электрохимическое преобразование энергии в коллекторных машинах переменного тока.....	475
6.2	Трехфазные коллекторные двигатели.....	476
6.3	Однофазные коллекторные двигатели.....	481
	Глава VI Заключение.....	485

ГЛАВА -VII

КАСКАДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

7.1	Каскадные соединения асинхронной машины с коллекторными машинами.....	485
7.2	Электромашинные преобразователи.....	489
7.3	Одноякорный преобразователь.....	492
	Глава VII Заключение.....	495

ГЛАВА -VIII

ЕМКОСТНЫЕ И ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

8.1	Емкостные электрохимические преобразователи.....	495
8.2	Индуктивно-емкостные электрохимические преобразователи.....	499
	Глава VIII Заключение.....	502
	Глоссарий.....	502
	Список литературы	505

TABLE OF CONTENTS

Introduction.....	4
CHAPTER -I	
Introduction to Mechanics.....	4
1.1 Electromechanics and social progress	5
1.2 A Brief History of the Development of Electric Machines	10
1.3 Classification of electrical machines	20
1.4 Basic design of electric machines.....	22
1.5 Laws of Electromechanics	26
1.6. Electric machines - electro-mechanical converters	31
1.7 The magnetic field of the machine	37
1.8 Rotating magnetic field	46
1.9. Windings of electrical machines	50
1.10 Guidance EMF in the windings of electric machines	60
1.11 Magnetomotive forces of the windings	68
1.12 The equations of electromechanical energy conversion	72
1.13 Parameters of electrical machines	81
1.14 An infinite spectrum of field harmonics in the gap of an electric machine	88
1.15 Generalized Electromechanical Converter	92
1.16 Losses and efficiency	97
1.17 Heating and cooling of electric cars	101
1.18 Materials used in electrical machinery	107
1.19 Standardization in electric machines	113
Chapter I Conclusion.....	115
CHAPTER -II	
TRANSFORMERS	
2.1 Purpose and general information about transformers	116
2.2 Equations of a transformer	119
2.3. Vector diagram of the transformer	122
2.4. Transformer short circuit	125
2.5. Three-phase transformers	128
2.6. Transformer equivalent circuit parameters	129
2.7 Transformer designs	140
2.8 Schemes and groups of connections	150
2.9 Features of the operation of saturated single-phase and three-phase transformers	154
2.10 Characteristics of transformers	159
2.11 Parallel operation of transformers	163
2.12 Multi-winding transformers	165
2.13 Parameters of electrical machines	171
2.14 Serial Transformers	175
2.15 Transformer voltage regulation	178
2.16 Asymmetric load of three-phase transformers	181

2.17	Transients in transformers	187
2.18	Special transformers	202
2.19	Approach to the design of transformers	212
2.20	Transformers manufactured in Russian production	215
	Chapter II Conclusion.....	219

CHAPTER -III

ASYNCHRONOUS MACHINES

3.1	Modes of operation and areas of application of asynchronous machines.....	220
3.2	Mathematical description of the processes of energy conversion in asynchronous	222
3.3	Designs of asynchronous machines	225
3.4	Windings of asynchronous machines	233
3.5	Vector diagram of an asynchronous machine	237
3.6	Asynchronous machine equivalent circuit	241
3.7	Pie chart	245
3.8	Plot a Pie Chart from Experimental Data. Performance Specifications.....	248
3.9	Pie chart accuracy	254
3.10	The electromagnetic moment of an ideal asynchronous machine ...	255
3.11	Transients in asynchronous machines	263
3.12	Speed control	269
3.13	The actions of the higher harmonics of the moment asynchronous Machines.....	275
3.14	The action of the current loads of the moment asynchronous machines.....	281
3.15	Calculation of non-linear parameters of the static mode	286
3.16	The operation of an induction motor with a non-sinusoidal unbalanced supply voltage	293
3.17	Normal modes of operation of asynchronous machines	296
3.18	Generator, brake and transformer modes of operation asynchronous machines	300
3.19	Types of induction motors manufactured in Russia	311
	Chapter III Conclusion.....	315

CHAPTER -IV

SYNCHRONOUS MACHINES

4.1	Modes of operation of synchronous machines	316
4.2	The processes of energy conversion in synchronous machines	319
4.3	Designs of synchronous machines	324
4.4	The magnetic field of the synchronous machine at idle	333
4.5	Calculation of the magnetic circuit of synchronous machines	337
4.6	The magnetic field of a synchronous machine under load. The	340

reaction of the anchor	342
4.7 Parameters of synchronous machines in steady state	348
4.8 Characteristics of synchronous generators	353
4.9 Vector diagrams of implicit pole synchronous generators	357
4.10 Vector diagrams of synchronous explicit-pole oscillators	360
4.11 Parallel operation of synchronous machines	363
4.12 Turning on parallel operation of synchronous generators	365
4.13 Angular characteristic.Synchronizing power.Regulation reactive power	370
4.14 Electromagnetic and synchronizing power of a clearly polar synchronous.....	372
4.15 Synchronous motors	376
4.16 Synchronous Compensator	378
4.17 Asymmetric load of three-phase generators	382
4.18 Asymmetrical short circuits	384
4.19 Transients in synchronous machines	388
4.20 Transient processes during field blanking	390
4.21 Swing synchronous machines. Dynamic stability	394
4.22 Excitation system of synchronous machines	398
4.23 Special synchronous machines	407
4.24 Series of synchronous machines produced by Russian production ..	413
Chapter IV Conclusion.....	

CHAPTER -V

DC MACHINES

5.1 The processes of energy conversion in DC machines	414
5.2 Equations of DC machines	417
5.3 Designs of DC machines.....	421
5.4 Switching	426
5.5 Ways to improve switching.....	431
5.6 DC generators	437
5.7 DC Motors.....	446
5.8 Transients in DC machines.....	451
5.9 Special DC machines.....	457
5.10 Valve motors.....	469
5.11 DC machines produced by Russian production	473
Chapter V Conclusion.....	475

CHAPTER -VI

AC COLLECTOR MACHINES

6.1 Electromechanical energy conversion in collector AC machines ...	475

6.2	Three-phase commutator motors	476
6.3	Single-phase commutator motors	481
	Chapter VI Conclusion.....	485
CHAPTER -VII		
CASCADE CONNECTIONS OF ELECTRICAL MACHINES.		
ELECTRIC MACHINE CONVERTERS		
7.1	Cascade connections of an asynchronous machine with collector machines	485
7.2	Electric machine converters	489
7.3	Single-arm converter	492
	Chapter VII Conclusion.....	495
CHAPTER -VIII		
CAPACITIVE AND INDUCTIVE-CAPACITIVE		
ELECTROMECHANICAL CONVERTERS		
8.1	Capacitive Electromechanical Converters	495
8.2	Inductive-capacitive electro-mechanical converters.....	499
	Chapter VIII Conclusion.....	502
	Glossary.....	502
	List of references.....	505