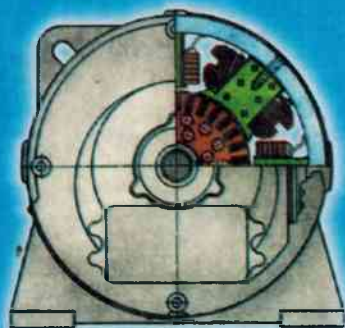
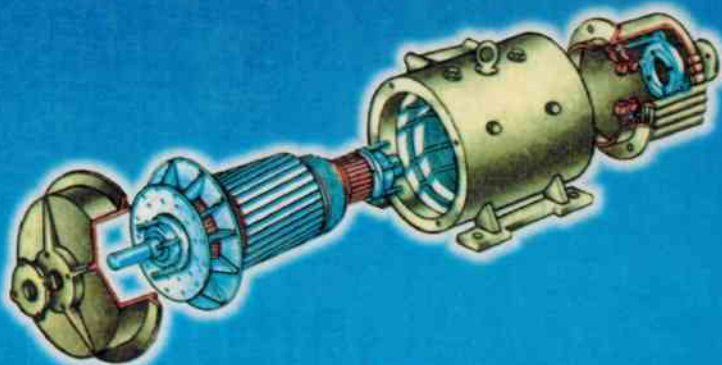


J.S. SALIMOV, N.B. PIRMATOV

ELEKTR MASHINALARI

Kasb-hunar kollejlari uchun



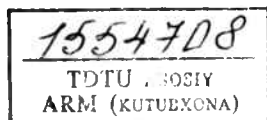
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI

O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

J. S. Salimov, N. B. Pirmatov

ELEKTR MASHINALARI

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma



„O'QITUVCHI“ NASHRIYOT-MATBAA IJODIY UYI
TOSHKENT—2005

Texnika fanlari doktori, professor. Q.R. ALLAYEVning umumiy tahriri ostida

Taqrizchilar: **A.T. Imomnazarov** — TDTU dotsenti, **M.M. Hasanxo'jayev** — Qibray Energetika kasb-hunar kolleji o'qituvchisi

Ushbu o'quv qo'llanma energetika sohasidagi kasb-hunar kollejlari o'qitiladigan „Elektr mashinalari“ fanining dasturi asosida tayyorlangan. Kitobda o'zgaras tok mashinalari, transformatorlar, asinxron va sinxron mashinalar, shu jumladan, elektr mashinalarining maxsus turlariga oid mavzular yoritilgan. Bundan tashqari, elektr mashinalari va transformatorlarni me'yoriy rejimda tejamli ishlatish yuzasidan amaliy tavsiyalar va ko'rsatmalar ham keltirilgan.

O'quv qo'llanma kasb-hunar kollejlari transport, aloqa, avtomobil, qurilish sanoati korxonalari, kommunal uy-joy xo'jaligi, metropoliten stansiyasi hamda stansiya xo'jaligiga xizmat ko'rsatish va ulardan foydalanish yo'nalishi bo'yicha bilim oladigan talabalarga mo'ljallangan bo'lsa-da, undan barcha texnika oliy o'quv yurtlarining elektrotexnika, elektromexanika va elektroenergetika sohasi bo'yicha mutaxassislar tayyorlaydigan bakalavtura talabalari ham foydalanishlari mumkin.

KIRISH

Zamonaviy fan va texnikaning istiqboli turli ishlab chiqarish jarayonlari va qurilmalarida elektr energiyani qo'llash bilan uzviy bog'liq. Elektr mashinalari va transformatorlar sanoat korxonalarida, energetika, radiotexnika, avtomatika va hisoblash texnikasi qurilmalarida, qishloq va suv xo'jaligi, transport hamda boshqa sohalarda ko'p ishlatiladi.

O'zbekistonda o'rtacha quvvatli hamda maxsus transformatorlarning ayrimlari Chirchiq transformatorsozlik zavodida ishlab chiqariladi, Andijon elektr mashinasozligi zavodida, asosan, kam-quvvatli asinxron motorlar tayyorlanadi.

O'quv qo'llanma mazmunini kichik mutaxassislar tayyorlash dasturiga moslashtirish maqsadida, umumiy maqsadli elektr mashinalari va transformatorlarning tuzilishi, ishlash prinsipi, asosiy xossalari va xarakteristikalari amaliy nuqtayi nazardan yondashilgan holda bayon etilgan. Bundan tashqari, turli sohalarda ko'p ishlatiladigan maxsus elektr mashinalari va transformatorlar, elektr mashinasozligida istiqbolli bo'lgan o'ta va giper o'tkazgichli materiallar hamda yangi turdagi elektr mashinalariga oid mavzular ham kitobning tegishli qismlarida o'z aksini topgan.

Mazkur o'quv qo'llanma mualliflarning Toshkent Davlat texnika universitetidagi ko'p yillik pedagogik tajribalari asosida yozilgan.

Mualliflar o'quv qo'llanma qo'lyozmasini ko'rib chiqib, o'zlarining qimmatli maslahatlari bilan uning sifatini yaxshilashga yordam bergan Beruniy nomidagi O'zbekiston Davlat mukofoti sovrindori, Toshkent Davlat texnika universiteti „Elektr yuritma va sanoat qurilmalarini avtomatlashtirish“ kafedrasini mudiri, texnika fanlari doktori, professor O. O. Hoshimov va mazkur universitetning „Elektromexanika“ kafedrasini professori G'. Odilov hamda Qibray Energetika kasb-hunar kolleji o'qituvchisi M.M. Hasan-xo'jayevga o'zlarining chuqur minnatdorchiliklarini bildiradilar.

ELEKTR MASHINALARI TO'G'RISIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

Elektr mashinalarining bajaradigan ishiga ko'ra tasnifi (klassifikatsiyasi). Elektr mashina mexanik energiyani elektr energiyaga (elektr generatorlari) yoki elektr energiyani mexanik energiyaga (elektr motorlari) aylantira oladigan elektromexanik o'zgartgich (EMO') dir.

Elektr generatorlarning yuqori quvvatlilari, asosan, elektr stansiyalarda o'rnatiladi. Uning rotorlari bug' va gidravlik turbinalar vositasida aylantiriladi. O'rtacha va kam quvvatlilari esa avtomobillar, havo va kosmik uchish apparatlari hamda ko'chma elektr stansiyalarida o'rnatilib, ular ichki yonuv motorlari va gaz turbinalari yordamida aylantiriladi.

Elektr motorlar sanoat, qishloq xo'jaligi, aloqa sistemasi, transport, harbiy texnikada, xo'jaliklarda turli mashina, mexanizm va qurilmalarni aylanma (maxsus tiplarining ayrimlari esa chiziqli) harakatga keltiradi. Sanoat elektronikasining rivojlanishi tufayli yarim o'tkazgich (tranzistor, tiristor)li o'zgartgich va kuchaytirgichlar sanoatda ko'p ishlatilmoqda. Shu sababli *elektr mashinaviy o'zgartgich va kuchaytirgichlarni* amalda qo'llash sohalari ancha kamaygan.

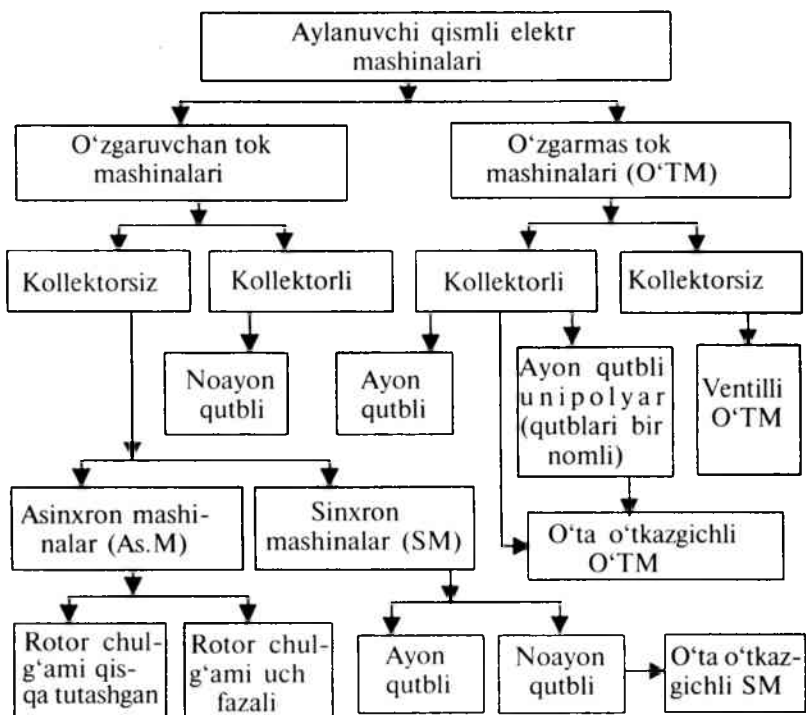
Elektr energiya manbayi va iste'molchilarning energetik ko'rsatkichlarini yaxshilash maqsadida elektr qurilmalarida reaktiv quvvat ishlab chiqarish (elektr energetikasining ayrim rejimlarida esa uni iste'mol qilish) uchun *elektr mashinaviy kompensatorlar* ishlatiladi. Ularning inersiyasi katta bo'lganligi tufayli amalda reaktiv quvvatning statik manbayidan tobora keng foydalanilmoqda.

Signallarni elektromexanik o'zgartgichlar avtomatik rostlash sistemalari, o'lchash va hisoblash qurilmalarida keng foydalaniladi.

Elektr mashinalari tokning turiga ko'ra o'zgaruvchan va o'zgarmas tok mashinalariga bo'linadi (1- chizma). O'zgaruvchan tok elektr mashinalari ishlash prinsipi va elektromagnit sistemasi ko'ra asinxron, sinxron va kollektorli mashinalarga bo'linadi.

O'zgaruvchan tok mashinalari, asosan, kollektorsiz (asinxron va sinxron) hamda kollektorli asinxron mashinalarga bo'linadi.

Asinxron mashinalardan, asosan, elektr motor sifatida foydalaniladi. Tuzilishi, ishga tushirish va texnik xizmat ko'rsatishning oddiyligi hamda ishonchliligining yuqoriligi kabi afzalliklari tufayli ular texnikada keng qo'llaniladi.



1- chizma. Aylanuvchi qismli induktiv elektr mashinalari.

Sinxron mashinalar elektr stansiyalarda sanoat chastotali ($f = 50$ Hz) o'zgaruvchan tok ishlab chiqaruvchi generator va mustaqil elektr energiya iste'molchilari (samolyotlar, katta kemalar va h.k.)da yuqori chastotali generator sifatida ishlatiladi.

Ba'zi yuqori quvvatli elektr yuritmalarda ham sinxron elektr motorlar ishlatiladi.

O'zgaruvchan tok kollektorli motorlarning konstruksiyasi murakkabligi va cho'tka-kollektor qurilmasi bilan bog'liq kamchiliklari tufayli ulardan amalda kam foydalaniladi.

O'zgarmas tok motorlari aylanish chastotasi keng ko'lamda o'zgartirilishi talab qilinadigan elektr qurilmalar, temiryo'l va shahar elektr transportida, metallarga ishlov beradigan murakkab dastgohlar hamda avtomashinalarning starteri sifatida ishlatiladi.

O'zgarmas tok generatorlaridan aloqa qurilmalarini energiya bilan ta'minlash, akkumulyatorlarni zaryadlash, transport (avtomobillar, samolyotlar, teplovozlar, yo'lovchilar vagoni)da asosiy elektr manbai sifatida foydalaniladi.

Transformatorlarning ishlash prinsipi elektr mashinalarining ishlash prinsipi singari elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan. O'zgaruvchan tok mashinalaridagi fizik jarayonlar ko'p jihatdan transformatorlarda bo'ladigan fizik jarayonlarga o'xshashligi tufayli ushbu kursda transformatorlar nazariyasi asoslarini o'rganish o'zgaruvchan tok mashinalari nazariyasini yanada chuqurroq tushunib olishga imkon beradi.

Transformatorlar odatda, elektr energiyani uzatish va iste'molchilar orasida taqsimlash, to'g'rilagich, aloqa, avtomatika, hisoblash texnikasi qurilmalarida hamda elektr o'lchash sxemalarida ishlatiladi.

Quvvatiga ko'ra, elektr mashinalarining quyidagi xillari bo'ladi:

- 1) 500 W gacha — elektr mikromashinalari;
- 2) $0,5 < P \leq 10$ kW — kam quvvatli elektr mashinalari;
- 3) $10 < P \leq 200$ kW — o'rtacha quvvatli elektr mashinalari;
- 4) $P > 200$ kW — yuqori quvvatli elektr mashinalari.

Yuqori va o'rtacha quvvatli elektr mashinalari, odatda, o'zgarmas yoki sanoat chastotali o'zgaruvchan tokda ishlashga mo'ljallanadi.

Elektr mashinalariga qo'yiladigan umumiy texnik talablar standartga mos kelishi, ya'ni:

- ishda ishonchli;
- energetik ko'rsatkichlari (FIK va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$) yuqori;
- gabarit o'lchamlari, massasi va narxi imkon qadar minimal bo'lishi;
- tuzilishi oddiy, texnik xizmat ko'rsatish hamda uni ishlatish oson bo'lishi zarur.

Har qaysi elektr mashina ma'lum sharoitlarda ishlashga mo'ljallangan bo'ladi. Bu sharoitda mashina belgilangan vaqt (davriy ta'mirlashlar orasidagi vaqt) mobaynida avariyasiz va nosozliklarsiz nominal quvvatda ishlay olishi zarur.

1.1. O'zgarmas tok mashinalarining tuzilishi

O'zgarmas tok mashinalarining ahamiyati. Zamonaviy elektr ta'minoti sistemasi o'zgaruvchan tokni qo'llashga asoslangan bo'lishiga qaramay, o'zgartgichlar texnikasining jadal rivojlanishi tufayli o'zgarmas tok mashinalarini, ko'pincha amalda motor rejimida ishlatgandagi tutgan o'rni salmoqlidir.

O'zgarmas tok motorlari o'zgaruvchan tok motorlariga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

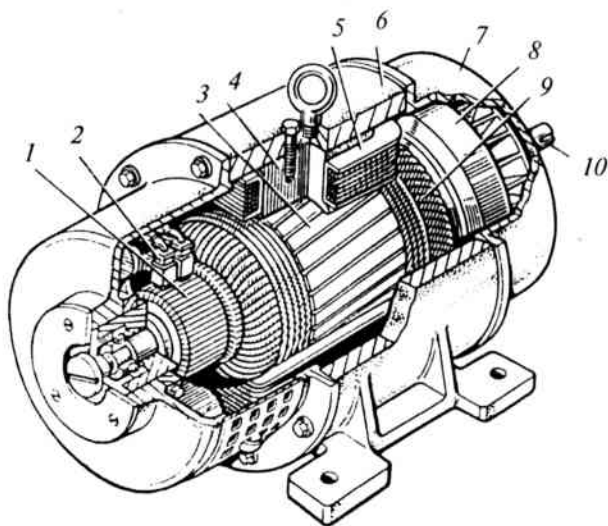
- aylanish chastotasi oddiy usulda oson rostlanadi;
- nisbatan kam tokda katta ishga tushirish momenti hosil bo'ladi;
- o'ta yuklama bilan ishlash xususiyati nisbatan katta. Shu

xossalari tufayli elektr mashinalar xalq xo'jaligining turli sohalarida, chunonchi, elektr transporti, avtomatik rostlash sistemasi, metallurgiya sanoati, yuk ko'tarish kranlari, ekskavatorlar, metallarga ishlov berish dastgohlari, to'qimachilik sanoati va boshqa sohalarda keng ishlatiladi.

O'zgarmas tok mashinalarining cho'tka kollektori ishi bilan bog'liq bo'lgan kamchiliklar ham mavjud, ya'ni katta yuklamada cho'tkalar bilan kollektor orasida yuzaga keladigan uchqunlanish mashina ishiga salbiy ta'sir ko'rsatib, uning ishonchligini nisbatan pasaytiradi. Shu sababga ko'ra, o'zgarmas tok mashinalarini portlashga havfli bo'lgan muhitda ishlatib bo'lmaydi. Kollektor o'zgarmas tok mashinasining konstruksiyasini murakkablashtiradi, uni ekspluatatsiya jarayonida muntazam nazorat qilib turish talab qilinadi. O'zgarmas tok motori qisqa tutashgan rotorli asinxron motorga nisbatan $2,5 \div 3$ barobar qimmat turadi. Uni ishlatish uchun o'zgarmas tok energiya manbayi yoki o'zgaruvchan tokni to'g'rilash qurilmasi talab etiladi.

O'zgarmas tok mashinasining qo'zg'almas qismi — stator, aylanuvchi qismi — yakordan tashkil topgan (1.1- rasm, a). Stator esa stanina va uning ichki qismiga mahkamlangan bosh hamda qo'shimcha qutblardan iborat (quvvati 1 kW gacha bo'lgan o'zgarmas tok mashinalarida qo'shimcha qutblarga ehtiyoj yo'q). Stanina va qutblar o'zagi magnit sistemasining tarkibiy qismidir.

Asosiy qutb qalinligi 1 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat plastinalardan yig'iladi.



1.1- rasm. O'zgarmas tok mashinasining umumiy ko'rinishi:

1 — kollektor; 2 — cho'tkatutqich va cho'tkalar; 3 — yakor o'zagi; 4 — bosh qutb o'zagi; 5 — qo'zg'atish chulg'ami g'altagi; 6 — stanina; 7 — podshpnikli qalqon; 8 — ventilator; 9 — yakor chulg'amingining pazlardan tashqaridagi qismi; 10 — val.

Qo'zg'atish chulg'amingining g'altaklari qutb o'zaklariga kiydirilib, staninaga mahkamlanadi. Mashinada asosiy magnit maydonni qo'zg'atish chulg'ami hosil qiladi.

Quvvati 1 kW va undan katta bo'lgan o'zgarmas tok mashinalarida kommutatsiya jarayonida sodir bo'ladigan uchqunlanishni kamaytirish maqsadida mashinaning ko'ndalang o'qi bo'ylab qo'shimcha qutblar o'rnatiladi.

Yakor mashinaning aylanuvchi qismi bo'lib, uning chulg'amlarida asosiy EYK hosil bo'ladi. O'zgarmas tok mashinalarida baraban tipidagi yakor qo'llaniladi. Yakor val va unga mahkamlangan silindr shakldagi po'lat o'zak, o'zakning pazlariga joylashtirilgan yakor chulg'ami va uning seksiyalarini ulash uchun ma'lum tartibda yig'ilgan maxsus shakldagi mis plastinalar to'plami (kollektor)dan iborat (1.1- rasmga qarang).

Yakorning po'lat o'zagi qalinligi 0,35 yoki 0,5 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat plastinalardan yig'iladi.

Kollektor yakorning po'lat o'zagi yoniga o'rnatiladi. Kollektor silindr shaklida bo'lib, uning plastinalari qattiq misdan tayyorlanadi. Plastinalar bir-biridan va valdan mikanit qistirmalar bilan izolatsiyalangan bo'ladi.

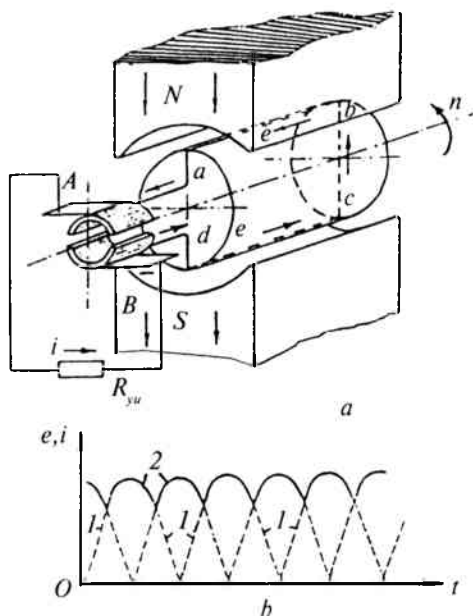
Kollektor plastinalari yakor chulg'ami o'ramlarini ketma-ket ulaydi va yakor chulg'ami bilan birga aylanadi. Uning yuzasida chulg'amni tashqi elektr zanjiri bilan bog'lovchi cho'tkalar cho'tkatutqichlar yordamida qo'zg'almas holatda tutib turiladi.

O'zgarmas tok mashinasini qizib ketishdan saqlash, ya'ni uni sovitish uchun uning valiga ventilator o'rnatiladi.

1.2. O'zgarmas tok mashinalarining ishlash prinsipi

O'zgarmas tok mashinalari generator va motor sifatida ishlatiladi.

Eng oddiy o'zgarmas tok generatorining tuzilishi 1.2- rasmda ko'rsatilgan. Unda magnit qutblari orasida erkin aylanadigan po'lat silindrga bir o'ram mis sim (yakor) o'rnatilgan.



1.2- rasm. Eng oddiy o'zgarmas tok generatori:

a— yakor chulg'ami bitta o'ramli o'zgarmas tok generatorining eng oddiy modeli;
b— bitta o'ramdagi o'zgaruvchan EYK (yoki tok)ning *A* cho'tka yordamida o'zgarmas ishoraliga o'zgarishi: *I*— tashqi zanjirda hosil bo'ladigan EYK (yoki tok)ning pulsatsiyasi; 2 — yakor chulg'ami fazoda bir-biriga nisbatan 90° burchak ostida joylashgan ikki o'ramli oddiy generator tashqi zanjirida EYK (yoki tok) pulsatsiyalanishining keskin kamayishi.

Yakor o'ramining uchlari ikkita yarim halqaga ulangan. Yarim halqalarga ikkita qo'zg'almas cho'tka tegib turadi. Yakor aylantirilganda yarim halqalar o'tkazgichlar bilan birga mos holda aylanadi. Mazkur yarim halqalar ko'rilayotgan oddiy o'zgarmas tok mashinasining kollektoridir.

O'tkazgichda hosil bo'lgan EYK ning vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi mashinaning havo oralig'ida magnit induksiyaning taqsimlanishiga mos keladi. Yakor aylanganda uning chulg'am o'tkazgichlari (*ab*, *cd*) magnit maydonida magnit induksiyaning kattaliklari har xil bo'lgan holatlarni egallaydi. Bunda o'tkazgichlar har xil magnit qutblari tagidan o'tgani uchun unda hosil bo'lgan EYK va, demak, yakor chulg'amidagi tok ham sinusoidal shaklda o'zgaradi. Lekin, kollektor hamda *A* va *B* cho'tkalar vositasida vujudga kelgan o'zgaruvchan EYK va tokning tashqi zanjirda yo'nalishi doimo bir xil bo'ladigan o'zgarmas EYK ga (yoki tokka) aylanadi.

Yakor 180° ga burilganda o'ramdagi EYK ning yo'nalishi qarama-qarshi tomonga o'zgaradi. Bunda cho'tkalarning qutbiyligi (ishorasi) va zanjirning tashqi qismida, tok o'z yo'nalishini o'zgartirgan paytda, cho'tkalar tagidagi kollektor plastinalarining joyi ham almashinadi.

Shunday qilib, *A* cho'tka tagida hamma vaqt shimoliy qutb ta'siridagi o'tkazgich ulangan plastina, *B* cho'tka tagida esa janubiy qutb ta'siridagi o'tkazgich ulangan plastina turadi. Natijada, o'zgarmas tok generatorida yakor chulg'amining har bir o'tkazgichidagi o'zgaruvchan EYK (yoki tok) kollektor va cho'tkalar vositasida zanjirning tashqi qismidagi pulsatsiyalanadigan EYK ga (yoki tokka) o'zgartiriladi.

Agar yakor chulg'ami fazoda bir-biriga nisbatan 90° da joylashgan ikkita o'ramdan iborat bo'lsa, tashqi zanjirda EYK (yoki tok)ning pulsatsiyalanishi keskin kamayadi.

Yakor chulg'ami bir necha (N_a ta) o'ramdan iborat bo'lgani uchun tokning tashqi zanjirdagi pulsatsiyasi keskin kamayadi. Masalan, chulg'amdagi o'tkazgichlar soni 16 ta, ya'ni o'ramlar soni 8 ta bo'lsa, tokning pulsatsiyasi sezilmay qoladi va generatorning tashqi zanjiridagi EYK (yoki tok)ni faqat yo'nalishi bo'yicha emas, balki kattaligi bo'yicha ham o'zgarmas deyish mumkin bo'ladi.

Yakor chulg'amining EYK. Qutblar magnit maydonida yakor aylanganda, yakor chulg'amining har bir o'tkazgichida elektromagnit induksiya hodisasiga binoan EYK induksiyanadi. Uning oniy qiymati:

$$e = Bl_{\delta} v, \quad (1.1)$$

yo'nalishi esa „o'ng qo'l qoidasi“ bilan aniqlanadi.

Odatda, o'zgarmas tok mashinalarida magnit induksiyaning yakor yuzasi bo'ylab taqsimlanishi trapetsiyaga yaqin bo'lgan egri chiziq shaklida bo'ladi. Bu egri chiziq va absissalar o'qi bilan chegaralanadigan yuza bitta qutbosti havo oralig'idagi magnit oqimiga mutanosibdir.

EYK ni aniqlashda magnit induksiyaning o'rtacha $B_{o'rt}$ qiymatidan foydalanish qulaydir, chunki induksiya (B) ning qiymati qutb bo'linmasi oralig'ida o'zgarib turadi. Shuning uchun yuqorida aytilgan egri chiziqli trapetsiyaning asosiga teng va yuzasiga ekvivalent bo'lgan to'g'ri to'rtburchak olinadi. U holda yakor chulg'aming bitta o'tkazgichida induksiyalanadigan EYK ning o'rtacha qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_{o'rt} = B_{o'rt} l_{\delta} v. \quad (1.2)$$

Yakor chulg'ami N ta o'tkazgichdan tashkil topgan, lekin chulg'amning EYK ketma-ket ulangan $N/(2a)$ o'tkazgichdan tuzilgan bitta parallel shoxobchanning EYK kattaligi bilan aniqlanadi. Shuning uchun yakor chulg'aming EYK quyidagicha topiladi:

$$E_a = E_{o'rt} [N/(2a)] = B_{o'rt} l_{\delta} v \cdot N/(2a), \quad (1.3)$$

bunda $v = 2\pi r n$ — yakorning aylanma tezligi, m/s; (n — yakorning aylanish chastotasi, ayl/s).

Aylanma tezlik v ning bu qiymatini (1.3) ifodaga qo'ysak,

$$E_a = B_{o'rt} l_{\delta} \tau \cdot 2\pi n \cdot N/(2a) \quad (1.4)$$

hosil bo'ladi. Bunda $l_{\delta} \tau$ — bitta qutbning magnit oqimi Φ ni kesib o'tadigan yuzani bildiradi, shu sababli $B_{o'rt} l_{\delta} \tau = \Phi$ bo'ladi.

Demak, yakor chulg'aming EYK

$$E_a = p(N/a) \Phi n$$

yoki

$$E_a = C_E \Phi n, \quad (1.5)$$

bunda E_a - [V], Φ — [Vb]; $C_E = pN/a$ — agar n ning o'lchov birligi [ayl/s] da berilgan bo'lsa, aylanish chastota [ayl/min] da berilganda esa $C_E = pN/(60 a)$ bo'ladi.

O'zgarmas tok mashinasida elektromagnit moment. Yakor chulg'ami tokining mashina asosiy magnit maydoni bilan ta'sirlashishi natijasida yakor chulg'aming magnit maydon ta'siridagi

har bir o'tkazgichiga, Amper qonuniga asosan, elektromagnit kuch ta'sir qiladi. Uning kattaligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_a = B_{o'n} l_{\delta} i_a. \quad (1.6)$$

Uning yo'nalishi esa „chap qo'l qoidasi“ yordamida aniqlanadi.

Elektromagnit kuch o'zgaras tok mashinasi generator rejimida ishlaganida yakorni harakatga keltirayotgan birlamchi motor aylantiruvchi momenti M_1 ga teskari yo'nalgan bo'ladi.

Bu kuch (F_{cm}) hosil qilgan elektromagnit moment kattaligi (1.6) ni ham hisobga olganda quyidagiga teng $[N \cdot m]$:

$$M = F_{cm} (D_a / 2) N = B_{o'n} l_{\delta} i_a (D_a / 2) N, \quad (1.7)$$

bunda N — yakor chulg'aming magnit maydon ta'siridagi o'tkazgichlari soni, $i_a = I_a / (2a)$ — chulg'am parallel shoxobchasidan o'tadigan tok qiymati, $D_a = \tau \cdot 2p/\pi$ — yakor diametri.

Bu kattaliklarni (1.7) ga qo'yib, elektromagnit momentning quyidagi formulasiga ega bo'lamiz:

$$M = B_{o'n} l_{\delta} \tau [N/(2a)] (p/\pi) I_a, \quad (1.8)$$

ya'ni

$$M = C_m \Phi I_a, \quad (1.9)$$

bunda $C_m = N/(2a) (p/\pi)$ — tayyor mashinada o'zgaras kattalik; $\Phi = B_{o'n} l_{\delta} \tau$ — magnit oqimi.

Demak, o'zgaras tok mashinasining elektromagnit momenti asosiy magnit oqimga va yakor tokiga mutanosib ekan.

1.3. O'zgaras tok mashinalarining yakor chulg'amlari

O'zgaras tok mashinasi (O'TM)ning qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan magnit maydonda aylanishi natijasida chulg'amda elektr yurituvchi kuch (EYK) hosil bo'ladigan qismi *mashina yakori* deyiladi.

Hozirgi O'TM larida barabanli yakor qo'llaniladi. Bunday yakor chulg'aming o'tkazgichlari magnit o'tkazgichning pazlarida joylashgan. Bu chulg'amda ketma-ket ulangan alohida elementlar yakorning butun aylanasi bo'ylab bir tekis taqsimlanadi.

Yakor chulg'aming *asosiy elementi* seksiyadir, ular bir-biridan izolatsiyalangan bir yoki bir necha o'ramdan iborat. Seksiyalarning pazlarda yotgan qismi aktiv, ularni birlashtiruvchi qismi esa pazlardan tashqi qismi deb ataladi.

Chulg'amning pazlardan tashqi qismlarini joylashtirish qulay bo'lishi uchun yakor chulg'ami ikki qatlamli qilib tayyorlanadi. Bunda har qaysi seksiyaning chapdagi aktiv tomoni bir pazning yuqorigi qatlamida, o'ng tomondagisi esa chulg'am qadami y_1 ga teng masofadagi boshqa pazning pastki qatlamida joylashtiriladi. Chulg'am qadami taxminan qutb bo'linmasining eni τ ga teng bo'ladi ($y_1 = \tau$).

Qutb bo'linmasi — qo'shni qutblarning o'qlari orasidagi yoki qo'shni geometrik neytral chiziqlar orasidagi, yakor aylanasi bo'yicha o'lchangan, masofadir, ya'ni $\tau = \pi D_a / (2p)$, [m].

Seksiyalarning uchlari kollektor plastinalariga tutashtiriladi. Bunda har qaysi plastinaga bitta seksiyaning boshi va ikkinchi bir seksiyaning oxiri ulanadi, ya'ni har qaysi seksiya S ga bitta kollektor plastinasi ($S = K$) to'g'ri keladi.

Sxemalar tuzish, ularni o'qish va yakor chulg'amini tayyorlash qulay bo'lishi uchun elementar paz tushunchasi kiritilgan.

Elementar paz — real pazda yuqorigi va pastki qatlamlarda ustma-ust joylashgan turli seksiyalarning ikkita aktiv qismi. Real pazda bitta (1.3- rasm, *a*) yoki bir necha (1.3- rasm, *b*) elementar paz (u_p) bo'lishi mumkin.

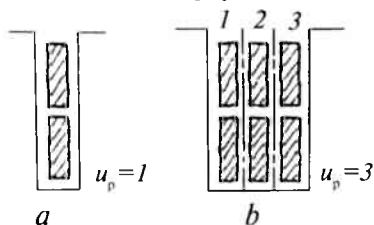
Seksiyada ikkita aktiv tomon bo'lganligi sababli, har qaysi seksiya S ga bitta elementar paz Z_e to'g'ri keladi. Eng oddiy holda real pazda bitta elementar paz $u_p = 1$ turadi, demak, yakorning real Z va elementar Z_e pazlari soni o'zaro teng bo'lganligidan quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$Z = Z_e = S = K. \quad (1.10)$$

Biroq to'g'rilangan kuchlanish va tokning pulsatsiyalanishini kamaytirish maqsadida pazning har qaysi qatlamida yonma-yon tarzda seksiyalarning bir necha ($u_p = 2 \div 5$) tomoni joylashtiriladi. Bunda elementar pazlar va kollektor plastinalari soni real pazlar soniga qaraganda u_p marta ko'payadi.

Chulg'amlarni hisoblashda mashina qutb bo'linmasi τ ni elementar pazlari soni orqali ifodalash qulay, ya'ni

$$\tau = Z_e / (2p). \quad (1.11)$$



1.3- rasm. O'zgarmas tok mashinalarida elementar paz sxemasi.

Seksiyalarning shakli va ularning kollektorga biriktirilish usul-lariga ko'ra, *sirtmoqsimon* va *to'liqinsimon* (1.4- rasm) hamda *aralash* yakor chulg'amlari bo'ladi. Sirtmoqsimon va to'liqinsimon chulg'amlar oddiy va murakkab ko'rinishda tayyorlanishi mumkin. *Aralash chulg'am* — murakkab to'liqinsimon va oddiy sirtmoqsimon chulg'amlarning parallel ulanishidan hosil bo'ladi.

Chulg'amni yakorga to'g'ri joylashtirish va uni kollektorga to'g'ri ulash uchun chulg'amlarning elementar pazlari soni bilan o'lchanadigan, yakor bo'yicha y_1 , y_2 , y qadamlarni va kollektor plas-tinalari soni bilan o'lchanadigan kollektor bo'yicha y_k qadamni bilish zarur (1.4- rasm).

Sirtmoqsimon chulg'amning birinchi qadami (y_1) chulg'am seksiyasining ikkita aktiv qismi orasidagi masofa (seksiya eni) ga teng va u butun son bo'lishi shart:

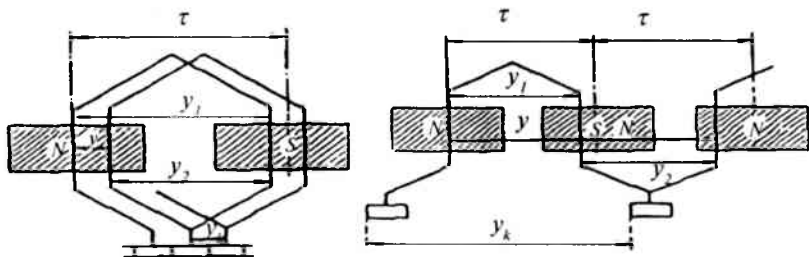
$$y_1 = Z_c / (2p) \pm \varepsilon = C_1, \quad (1.12)$$

bunda C_1 — butun son, ε — birdan kichik son bo'lib, butun son hosil qilish uchun seksiyaning eni $y_1 \varepsilon$ songa kamaytiriladi yoki uzaytiriladi. $(+\varepsilon)$ bo'lganda chulg'am *uzaytirilgan qadamli* ($y_1 > \tau$), $-\varepsilon$ bo'lganda *qisqartirilgan qadamli* ($y_1 < \tau$), $\varepsilon = 0$ bo'lganda esa, *to'la qadamli* ($y_1 = \tau$) *chulg'am* deyiladi.

Qisqartirilgan qadamli chulg'amning pazlardan tashqari qismlarining uzunligi to'la qadamlinikiga nisbatan kam bo'ladi, demak, mis kamroq sarflanadi, shuning uchun ham amalda qisqartirilgan qadamli chulg'am ishlatiladi.

Chulg'amning ikkinchi qadami y_2 chulg'am bitta seksiyasining ikkinchi tomoni bilan shu seksiyaga ketma-ket ulangan navbatdagi seksiyaning birinchi aktiv qismi orasidagi masofaga teng:

$$y_2 = y_1 - y. \quad (1.13)$$



1.4- rasm. O'zgarmas tok mashinasi sirtmoqsimon va to'liqinsimon yakor chulg'amlarining elementlari va qadamlari.

Chulg'amning natijaviy qadami y ketma-ket ulangan ikkita seksiyaning birinchi aktiv qismlari orasidagi masofaga teng, ya'ni oddiy (a) va murakkab (b) sirtmoqsimon chulg'amlar uchun

$$a) y = y_k = \pm 1; \quad b) y = y_k = \pm m, \quad (1.14)$$

bunda m — chulg'amlar soni.

Chulg'amning kollektor bo'yicha qadami y_k bir seksiyaning boshi va oxiri ulangan kollektor plastinalari orasidagi masofaga teng va (1.14) formula bo'yicha hisoblanadi. Bu tengliklarda „+“ ishora o'ng yo'lli chulg'amga, „-“ ishora esa chap yo'lli chulg'amga taalluqlidir.

Amalda chulg'am seksiyalari yakor aylanasi bo'yicha chapdan o'ngga qarab joylashtiriladi, ya'ni o'ng yo'lli chulg'am ishlatiladi (bunda mis biroz tejaladi).

Yakor chulg'ami seksiyalarini pazlarga joylashtirib, kollektorga ulagandan keyin, tenglashtiruvchi ulanishlarni bajarish maqsadida, teng potentsialli nuqtalarni aniqlash kerak bo'ladi. Buning uchun tenglashtiruvchi ulanishlar qadami y_{teng} topiladi, y_{teng} parallel shoxobchalarining bir jufti „ a “ ga mos keladigan seksiyalar yoki kollektor plastinalari soni bilan o'lchanadi.

Chulg'amlarning simmetriklik shartlari. Mashina yaxshi ishlashi uchun chulg'am hamma parallel shoxobchalarining EYK lari va ularning qarshiliklari bir xil bo'lishi zarur, bunda barcha parallel shoxobchalarining toki i_a ham bir xil bo'ladi.

Yakor chulg'amlarining simmetriklik shartlari quyidagi nisbatlarda aniqlanib, natijalar butun son (C_2 , C_3 , C_4 va C_5) bo'lishi kerak:

— yakorda pazlar bir tekis taqsimlanishi hamda har qaysi pazda teng sonli o'tkazgichlar joylashtirilishi kerak:

$$S/Z = K/Z = C_2; \quad (1.15)$$

— ko'p qutbli mashinalarda chulg'amning har qaysi juft parallel shoxobchalari tarkibida butun songa teng bo'lgan bir xil seksiyalar va kollektor plastinalari bo'lishi zarur:

$$S/a = K/a = C_3; \quad (1.16)$$

— har qaysi parallel shoxobchaning seksiyalari yakorda bir xil sondagi pazlarni egallashi shart:

$$Z/a = C_4; \quad (1.17)$$

— chulg'amning simmetrik joylashgan parallel shoxobchalari magnit maydonda bir xil vaziyatda bo'lishi kerak, ya'ni

$$2p/a = C_5. \quad (1.18)$$

(1.15÷(1.18) ifodalar o'zgarmas tok mashinalari yakor chulg'amlarining simmetriklik shartlaridir.

Yuqorida aytib o'tilgan simmetriklik shartlari bajarilmasa, chulg'am nosimmetrik bo'lib, undan (cho'tkalardan ham) mashinaning ishiga salbiy ta'sir etuvchi tenglashtiruvchi toklar o'tadi.

O'zgarmas tok mashinasi chulg'amlari uchlarining belgilanishi. Standart (GOST 26772—85)ga muvofiq 1.01.1987- yildan e'tiboran MDH davlatlari elektr mashinasozligi zavodlarida ishlab chiqarila boshlagan o'zgarmas tok mashinalari chulg'amlari uchun yangicha belgilanish joriy qilingan (1.1- jadval). Mazkur jadvalda taqqoslash uchun chulg'am uchlarining ilgarigi belgilanishi ham keltirilgan.

1.1- j a d v a l

**O'zgarmas tok mashinasi chulg'amlari uchlarining ilgarigi
(GOST 183—74) va yangicha (GOST 26772—85)
belgilanishiga oid ma'lumot**

Chulg'amning nomi	O'zgarmas tok mashinasi chulg'amlari uchlarining belgilanishi			
	1.01.87 gacha ishlab chiqarilgan va takomillashtirilgan mashinalar uchun (ilgarigi)		1.01.87 dan keyin ishlab chiqarilgan mashinalar uchun (yangicha)	
	boshi	oxiri	boshi	oxiri
Yakor chulg'ami	YA1	YA2	A1	A2
Mustaqil qo'zg'atish chulg'ami	H1	H2	F1	F2
Parallel qo'zg'atish chulg'ami	SH1	SH2	E1	E2
Ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami	S1	S2	D1	D2
Qo'shimcha qutblar chulg'ami	D _q 1	D _q 2	B1	B2
Kompensatsiyalovchi chulg'am	K1	K2	C2	C2

1.4. O'zgarmas tok mashinalari yakor chulg'amlarini hisoblash va tanlash

Yakor chulg'amlarini hisoblash va yoyilma sxemasini chizish quyidagicha amalga oshiriladi:

1. (1.15)+(1.18) ifodalar bo'yicha chulg'amlarning simmetriya shartlari tekshiriladi.

2. (1.12)+(1.14) formulalar bo'yicha chulg'amning qadamlari aniqlanadi.

3. Chulg'amning yoyilma sxemasi chiziladi, buning uchun:

— yakor pazlari seksiyalari aktiv tomonlari bilan sxematik tarzda chiziladi;

— seksiyaning aktiv qismlari ulangan kollektor plastinalari shu seksiyaga nisbatan simmetrik qilib joylashtiriladi;

— seksiyalar, pazlar va kollektor plastinalari 1- seksiyaning yuqorigi qatlami 1- pazda, 2- seksiyaning yuqorigi qatlami 2- pazda va hokazo tarzda joylashadigan qilib tartib raqami qo'yib chiqiladi (pazga tartib raqamini ixtiyoriy va xohlagan pazdan boshlab qo'yish mumkin);

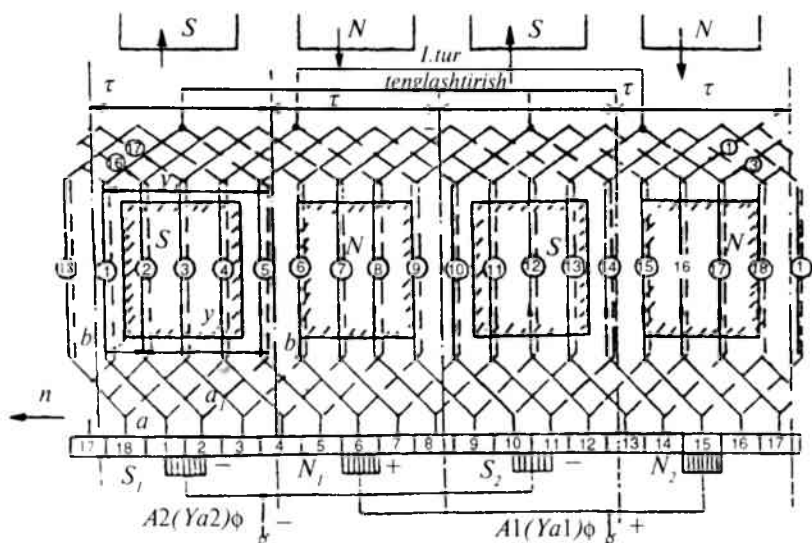
— tish bo'linmalari birligida o'lchangan qutb bo'linmasi $\tau_z = Z/(2p)$ aniqlanadi va yakor yoyilmasi bo'yicha geometrik neytralni bir-biridan τ masofada joylashtirib, qutblarning ta'sir zonasi chegaralanadi. Qutbning eni (b_m) taxminan $b_m = 0,8 \tau_z$ qilib olinadi;

— yakorga hamma seksiyalar oldin aniqlangan y_1, y, y_2, y_k qadamlar bo'yicha joylashtirib chiqiladi;

— cho'tkalar joyiga qo'yiladi va ularning qutbiyligi (ishorasi) aniqlanadi. Buning uchun yakorning aylanish yo'nalishi va qutblarning ishorasi ixtiyoriy tanlanadi. So'ngra „o'ng qo'l“ qoidasiga ko'ra, yakor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYK larning yo'nalishi aniqlanadi (1.5- rasm).

Sirtmoqsimon chulg'amlar. Oddiy (bir yo'lli) sirtmoqsimon chulg'amda har qaysi seksiyaning boshi va oxiri yonma-yon yotgan kollektor ikkita plastinasiga ulangan bo'ladi. Bunda har qaysi oldingi seksiyaning oxiri keyingi seksiyaning boshiga va eng oxirida, so'nggi seksiyaning oxiri birinchi seksiyaning boshiga, ya'ni chulg'am tutashgunga qadar yakor aylanasi bo'yicha (kollektor bo'yicha ham) ulanadi.

1.5- rasmda seksiyalari bir o'ramli, oddiy, o'ng yo'lli, ikki qatlamli sirtmoqsimon chulg'am ($Z=18$; $2p=4$; $u_p=1$; $2a=2p$)ning yoyilma sxemasi berilgan.



1.5- rasm. Oddiy o'ng yo'lli sirtmoqsimon chulg'amning yoyilma sxemasi ($S = K = 18$, $2p = 4$, $u_p = 1$).

Oddiy sirtmoqsimon chulg'amda kollektor plastinalarini joylashtirishni ko'rib chiqamiz. 1- kollektor plastinasini simmetrik joylashtirish uchun quyidagi shartlar bajarilishi zarur:

- 1 va 2- kollektor plastinalarini ajratib turuvchi chiziq oddiy chulg'amlarda 1- seksiya o'qi bilan ustma-ust tushishi;
- seksiyaning har ikkala uchining uzunligi bir xil, ya'ni $ab = a_1b_1$ bo'lishi kerak (1.5- rasm).

Barcha seksiyalar ulangandan keyin qutblar sxemada tasvirlanadi, ular bir-biridan τ masofada bo'ladi.

Odatda, magnit maydon kuch chiziqlarining yo'nalishi shimoliy qutb N dan yakor chulg'ami tomon chiqib, janubiy qutb S ga kiradigan qilib olinadi. Yakor soat strelkasi harakatiga qarama-qarshi yo'naladi, deb olamiz va EYK ning yo'nalishini, qulaylik uchun, faqat seksiyaning yuqorigi qatlamlarida ko'rsatish tavsiya etiladi.

Sxemaning eng muhim jihatlaridan biri, unda cho'tkalarning to'g'ri joylashtirilishidir. Cho'tkalarni mutlaqo bir tekis qilib kollektorning aylanasi bo'ylab geometrik neytrallarda o'rnatish zarur.

Seksiyaning pazlardan tashqarida joylashgan qismi simmetrik ulangan bo'lsa, cho'tkalar kollektorga qutblarning o'qi bo'yicha o'rnatiladi (bunda seksiyaning geometrik neytralga yaqin joylashgan qismlarining uchlari qutblar o'qiga yaqin bo'lgan kollektor plastinalariga ulanadi).

Qolgan qutblarning o'qlari va cho'tkalar bir-biridan 180° elektr gradusli yoy masofasida, ya'ni qutblar $Z_c/(2p)$ seksiya masofasida, cho'tkalar esa $K/(2p)$ kollektor plastinalari masofasida turishi kerak.

Oddiy sirtmoqsimon chulg'amlarda cho'tkalar soni doimo qutblar soni $2p$ ga teng.

Bir xil ishorali cho'tkalar parallel ulanib, mashinaning tegishli qisqichlariga chiqariladi.

Oddiy chulg'amlarning sxemalarida har bitta cho'tkaning eni bitta kollektor plastinasi enidan kichik bo'lmasligi kerak. Masalan, elementar pazlari $u_p > 1$ bo'lgan oddiy sirtmoqsimon teng seksiyali chulg'amda cho'tkalarning eni u_p ta kollektor plastinasini yopadigan bo'lishi lozim.

To'rtta cho'tkani to'rtta qutbning ostiga o'rnatib, sxema bo'yicha yakor chulg'aming seksiyalarida (1.5- rasm) EYK (yoki tokning) yo'nalishini kuzatish orqali oddiy sirtmoqsimon chulg'amning parallel shoxobchalari sonini aniqlash mumkin.

Parallel shoxobcha chulg'amning turli ishorali ikkita qo'shni cho'tkalari orasida ketma-ket ulangan hamda EYK (yoki toki) bir xil yo'nalishga ega bo'lgan bir necha seksiyadan iborat qismidir.

Oddiy sirtmoqsimon chulg'amda parallel shoxobchalar soni doimo mashina qutblari soniga teng bo'ladi, ya'ni

$$2a = 2p. \quad (1.19)$$

Ikki qo'shni pazlar orasidagi siljish burchagi α quyidagi ifodadan topiladi:

$$\alpha = (360/p) / S. \quad (1.20)$$

Murakkab sirtmoqsimon chulg'amda (masalan, ikki yo'lli, ya'ni $m = 2$) har qaysi oldingi toq raqamli seksiyaning oxiri keyingi toq raqamli seksiyaning boshiga va keyingi toq seksiyalar ham shu tarzda ulanadi, so'nggi toq seksiyaning oxiri birinchi seksiyaning boshiga ulanib, ikki yo'lli chulg'amning birinchi yarmini hosil qiladi. Juft raqamli seksiyalarni shu tartibda ulab chulg'amning ikkinchi yarmi hosil qilinadi.

Bunday chulg'amda cho'tkalarning eni uning ikki yo'lini qoplashi zarur, shu sababli cho'tkaning eni oddiy sirtmoqsimon chulg'amnikiga nisbatan ikki marta katta bo'ladi.

To'lqinsimon chulg'amlar. *Oddiy to'lqinsimon chulg'am* turli qutblar ostida joylashgan seksiyalarni ketma-ket ulash natijasida hosil qilinadi.

To'liqinsimon chulg'amlarning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, seksiyalarning uchlari sirtmoqsimon chulg'amlardagidek qo'shni kollektor plastinalariga emas, balki taxminan 2τ ga teng masofada joylashgan ikkita kollektor plastinasiga ulanadi. Yakorni bir aylanib chiqqanda mashinada qancha juft qutb bo'lsa, shuncha seksiya joylashtiriladi.

To'liqinsimon chulg'amning seksiyalari bir o'ramli va ko'p o'ramli (2 va undan ortiq) bo'lishi mumkin.

Oddiy, bir yo'lli to'liqinsimon chulg'am uchun chulg'amning natijaviy qadami y kollektor bo'yicha qadam y_k ga teng va quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$y_k = y = (K \pm 1) / p = (u_p Z \pm 1) / p, \quad (1.21)$$

bunda K — kollektor plastinalari soni, p — mashina juft qutblari soni.

(1.21) formuladagi manfiy (—) ishora yakor seksiyalari va kollektor plastinalarini ulash jarayonida yakor bo'yicha bir marta aylangandagi oxirgi kollektor plastinasi 1- plastinadan chapda joylashganini bildiradi. Shuning uchun manfiy ishora chap yo'lli chulg'amga, musbat ishora esa o'ng yo'lli chulg'amga mos keladi. Amalda, asosan, chap yo'lli to'liqinsimon chulg'amlar qo'llaniladi, sababi bunda mis sarfi ancha tejaladi.

Simmetrik to'liqinsimon chulg'amda $y_k = y$ qadam butun son bo'lishi kerak. Bu shartga rioya qilish uchun (1.21) formula p juft bo'lganda K toq bo'lishi va, aksincha, — $p = 2$ bo'lganda u_p faqat toq son bo'lishi kerak.

To'liqinsimon chulg'amning birinchi qadami y_1 sirtmoqsimon chulg'amdagidek, (1.13) formuladan aniqlanadi, ya'ni

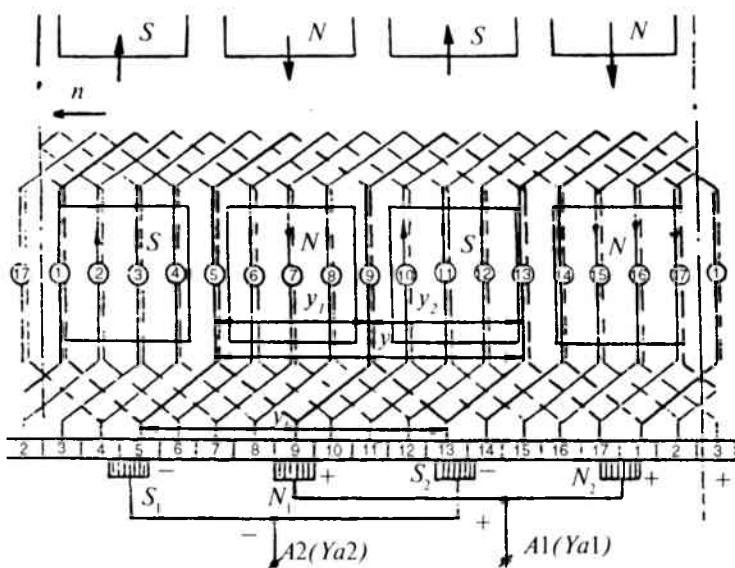
$$y_1 = Z_c / (2p) \pm \epsilon.$$

To'liqinsimon chulg'amning ikkinchi qadami y_2 quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$y_2 = y - y_1. \quad (1.22)$$

1.6- rasmda seksiyalari bir o'ramli oddiy chap yo'lli ikki qatlamli to'liqinsimon chulg'am ($Z = Z_c = S = K = 17$; $u_p = 1$; $2p = 4$) ning yoyilma sxemasi ko'rsatilgan.

To'liqinsimon chulg'amlarda cho'tkalar magnit maydonda biroz siljib qoladi va binobarin, ular ayni vaqtda qutblarga nisbatan simmetrik joylasha olmaydi. Shuning uchun qutblardan ixtiyoriysi birinchi aylanib o'tiladigan yo'lning boshi va oxiriga nisbatan (masalan, 17- va 1- plastinalar orasida) simmetrik joylashtiriladi.



1.6- rasn. Oddiy chap yo'lli to'liqinsimon chulg'am sxemas

($Z_c = S = K = 17$; $2p = 4$; $y_l = 4$; $y = y_k = 8$).

Qolgan qutblarning o'qlari τ masofada yotadi va ularning o'rtasiga boshqa cho'tkalar qo'yib chiqiladi.

Oddiy to'liqinsimon chulg'am juft qutblar soni p ning qiymatidan qat'iy nazar ikkita parallel shoxobchaga ega, ya'ni

$$2a = 2. \quad (1.23)$$

Har qaysi cho'tkaga to'g'ri keladigan tokni kamaytirish uchun cho'tkalarining to'la soni qutblar soniga teng qilib olinadi.

Mashina qisqichlaridagi kuchlanish bir parallel shoxobchaning EYK bilan aniqlanadi.

Oddiy to'liqinsimon chulg'amlarda har qaysi parallel shoxobchaning seksiyalari mashinaning hamma qutblari ostida bir tekis taqsimlangan bo'ladi, bu esa chulg'amlarni I-tur tenglashtiruvchi ulanishlarsiz tayyorlashga imkon beradi.

Murakkab to'liqinsimon chulg'am bir yakorning pazlariga joylashtirilgan bir necha oddiy to'liqinsimon chulg'amlardan iborat bo'ladi. Har qaysi to'liqinsimon chulg'amda ikkita parallel shoxobcha bo'lganligi sababli, murakkab chulg'amda parallel shoxobchalar soni quyidagiga teng:

$$2a = 2m, \quad (1.24)$$

bunda m — murakkab chulg'amni hosil qilgan oddiy to'liqin-simon chulg'amlar soni.

Murakkab chulg'amni hosil qiluvchi oddiy to'liqinsimon chulg'amlar cho'tkalar yordamida o'zaro parallel ulanadi.

Murakkab to'liqinsimon chulg'amda natijaviy qadam va kollektor bo'yicha qadamlar o'zaro teng bo'lib, quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$y = y_k = (K \pm m)/p = (K \pm a)/p. \quad (1.25)$$

Murakkab to'liqinsimon chulg'amning qolgan y_1 va y_2 qadamlari oddiy to'liqinsimon chulg'amlarniki kabi hisoblanadi.

Yakor chulg'aming turi quyidagilarga asoslanib tanlanadi:

— cho'tkalar ostidan kuchli uchqun chiqmasligi uchun yakor parallel shoxobchalaridagi tok kattaligi 350 A dan oshmasligi kerak;

— kollektor plastinalari soni haddan tashqari ko'p bo'lmasligi, plastinalarning qalinligi mexanik mustahkamlik sharti bo'yicha kamida 3,5 mm bo'lishi lozim;

— kollektor plastinalarining eng kam soni shunday aniqlanishi kerakki, bunda qo'shni plastinalar orasidagi kuchlanish ko'pi bilan 30 V dan oshmasin.

Parallel shoxobchalari soni eng kam bo'lgan chulg'amlar ma'qul chulg'am turi hisoblanadi. Oddiy to'liqinsimon chulg'am ($a = 1$) shunday chulg'amdir. Uning afzalliklaridan yana biri tenglashtiruvchi ulanishlar talab etilmaydi.

Har qaysi parallel shoxobchadagi tokni kamaytirish zarur bo'lganda, shuningdek, oddiy sirtmoqsimon chulg'amda qo'shni plastinalar orasidagi kuchlanish yo'l qo'yilgandan yuqori bo'lgan hollarda, parallel shoxobchalar sonini oshirish uchun murakkab sirtmoqsimon chulg'amlar qo'llaniladi.

Katta quvvat talab qilinadigan va og'ir ish sharoitli rejimda ishlaydigan mashinalarda ba'zan aralash chulg'amlar qo'llaniladi. Bu chulg'amning sirtmoqsimon chulg'amga nisbatan asosiy afzalligi unda tenglashtiruvchi ulanishlarga hojat yo'q. Tenglashtiruvchi ulanishlarni joylashtirish qiyin bo'lgan katta aylanish chastotasida ishlaydigan mashinalarda bu juda muhim ko'rsatkich hisoblanadi. Amalda aralash chulg'amlarning eng katta kamchiligi ularni ta'mirlash ancha murakkab ish.

Katta tokli va past kuchlanishli mashinalarda $u_p = 1$ qiymat ishlatiladi.

$U_N = 220$ V, $P_N > (30 \div 50)$ kW da seksiyalardagi o'ramlar soni hamma vaqt $w_s = 1$ bo'ladi.

2.1. Kollektorli o'zgarmas tok mashinasining magnit zanjiri va uni hisoblash

Magnit zanjirini hisoblashdan asosiy maqsad — mashinaning magnit oqimi va chulg'amlaridagi toklar orasidagi bog'lanishni aniqlashdan iborat.

O'zgarmas tok mashinasining chulg'amlararo magnit bog'lanishini yaxshilash va magnit oqimini oshirish uchun uning magnit sistemasi magnit o'tkazuvchanligi yaxshi bo'lgan elektrotexnik po'latdan (0,4÷ 4,8 % kremniy qo'shilgan) tayyorlanadi.

Magnit oqimining kuch chiziqlari mashinaning magnit zanjiri orqali o'tib berik kontur hosil qiladi. Mashinaning magnit zanjiri, uning konstruksiyasiga bog'liq holda, havo oralig'i va po'lat qismlardan tashkil topgan.

Mashina salt ishlaganda magnit oqimini qo'zg'atish chulg'amidan o'tadigan o'zgarmas tok hosil qiladi.

(I z o h: Mazkur mashinaning ba'zi kamquvvatli tiplarida asosiy magnit maydon doimiy magnit vositasida hosil qilinadi).

Magnit oqimining kattaligi MYK F_q ga to'g'ri, magnit zanjiri barcha qismlarining magnit qarshiliklari yig'indisi Σr_m ga esa teskari mutanosibdir:

$$\Phi_0 = \Phi_{qo'z} / \Sigma r_m. \quad (2.1)$$

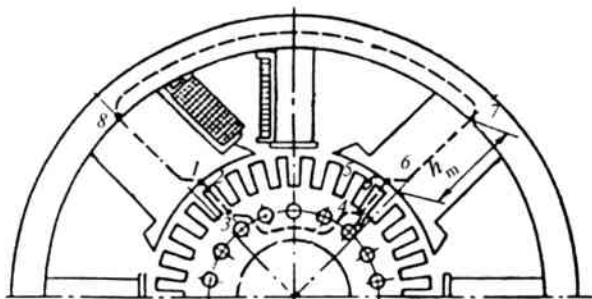
Ko'p qutbli mashinaning magnit oqimi salt ishlashda simmetrik, ya'ni barcha qutblarning magnit oqimlari bir xil bo'ladi, shu sababli magnit zanjirni juft qutblarga hisoblashning o'zi yetarlidir.

O'zgarmas va o'zgaruvchan tok mashinalari magnit zanjirini hisoblash *to'la tok qonuniga* asoslangan bir xil metodikada amalga oshiriladi va juft qutblar uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$F_{qo'z} = f H d l = 2 w_{qo'z} I_{qo'z}, \quad (2.2)$$

bunda $F_{qo'z}$, $I_{qo'z}$, $w_{qo'z}$ — tegishli qo'zg'atish chulg'amining MYK, toki va bitta qutbdagi o'ramlar soni B H — magnit maydon kuchlanganligi; l — integrallash konturi (zanjiri)ning uzunligi.

O'zgarmas tok mashinasida magnit zanjiriga (2.1- rasm) havo oralig'i (1—2 va 5—6), yakor o'zagi tish qatlami (2—3 va 4—5).



2.1- rasm. Kompensatsiyalovchi chulgʻami boʻlmagan oʻzgarmas tok mashinasining magnit zanjiri.

qutblarning oʻzaklari (6—7 va 8—1) hamda stator va rotor yarmolar (7—8 va 3—4)dan iborat deb qaraladi. Bu holda toʻla tok (magnit yurituvchi kuch ham deyiladi) qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$F_{qo'z(0)} = F_{\delta} + F_{z2} + F_m + F_{a1} + F_{a2}, \quad (2.3)$$

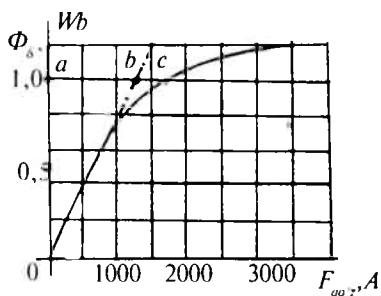
bunda $F_{qo'z(0)}$ — asosiy magnit oqimini hosil qiladigan qoʻzgʻatish chulgʻamining bir juft qutbga mos keladigan MYK.

Bu MYK magnit zanjirining tarkibiy qismlari magnit kuchlanishlarini muvozanatlaydi. Magnit zanjiri qismlarining magnit kuchlanishlariga quyidagilar kiradi: $F_{\delta} = H_{\delta} \cdot 2_{\delta}$ — mashina qutb uchligi va yakor orasidagi havo oraligʻining magnit kuchlanishi; $F_{z2} = H_{z2} h_{z2}$ — yakor poʻlat oʻzagi tishli qatlamining magnit kuchlanishi; $F_m = H_m h_m$ — qutb oʻzagining magnit kuchlanishi. $F_{a1} = H_{a1} l_{a1}$ va $F_{a2} = H_{a2} l_{a2}$ — tegishli stator va rotor yarmolari magnit kuchlanishlari. Bunda H va l — tegishli mazkur qismlardagi magnit maydon kuchlanganliklarining oʻrtacha qiymati va magnit maydon kuch chiziqlari oʻtadigan yoʻlning oʻrtacha uzunligi.

Magnit oʻtkazgich toʻyinganda mashina magnit zanjiri tarkibidagi ikkita havo oraligʻining magnit kuchlanishi qoʻzgʻatish chulgʻami MYK ning asosiy (60 ÷ 80 %) qismini tashkil qiladi.

Mashina magnit zanjirini hisoblashda havo oraligʻidagi induksiya B_{δ} ga meʼyoriy qiymat berib, magnit oqimini hisoblagandan keyin, magnit zanjirining boshqa tarkibiy qismlari uchun induksiya hisoblanadi. Keyin mazkur qismlarga tegishli poʻlat markasi (xili)ga oid jadvallar boʻyicha har bir qism uchun magnit maydon kuchlanganligi aniqlanadi.

Mazkur MYK ni havo oralig'i magnit induksiyasi B_δ ning bir necha qiymatlari uchun hisoblab, mashinaning magnit xarakteristikasi — $\Phi_\delta = f(F_{qo'z})$ quriladi (2.2- rasm). MYK ning kam qiymatlarida magnit o'tkazgich to'yinmaganligi tufayli bu xarakteristikaning bosh qismi to'g'ri chiziqli shaklida bo'ladi, ya'ni mashinaning havo oralig'idan o'tuvchi asosiy magnit oqimi Φ_δ qo'zg'atish chulg'ami MYK $F_{qo'z}$ ga mos ravishda o'zgaradi.



2.2- rasm. O'zgarmas tok mashinasining magnit xarakteristikasi.

Magnit oqimi osha borgan sari magnit zanjiri po'lat qismlarining magnit qarshiligini yengish uchun ham MYK ning qiymati oshadi (2.2- rasmdagi, b va c nuqtalar oralig'i).

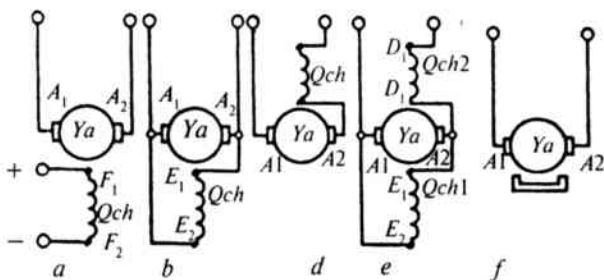
O'zgarmas tok mashinasini loyihalashda havo oralig'idagi magnit oqimining nominal qiymati $\Phi_{\delta N}$ ga mos keladigan ish nuqtasini mashina magnit xarakteristikasi egilgan qismining taxminan o'rtasiga to'g'ri keladigan qilib tanlanadi. Bu egilish magnit zanjirining to'yinish koeffitsiyenti k_μ ga bog'liq bo'ladi. Magnit oqimi Φ_δ ma'lum bo'lsa, bu koeffitsiyentni magnitlanish xarakteristikasidan topish mumkin, ya'ni $k_\mu = ac/ab$. Bu koeffitsiyent mashina havo oralig'i uzunligi va magnit zanjiri po'lat qismlarining to'yinish darajasiga bog'liq.

Aylanish chastotasi $n > 1000$ ayl/min bo'lgan o'zgarmas tok mashinalarida $k_\mu = 1,1 \div 1,3$, nominal aylanish chastotasi esa nisbatan kam, ko'p karra rostlanadigan o'zgarmas tok mashinalarida esa $k_\mu = 1,4 \div 1,8$.

2.2. O'zgarmas tok mashinasining yakor reaksiyasi

Asosiy magnit maydonni hosil qilish usuliga ko'ra mustaqil, ketma-ket, parallel, aralash qo'zg'atishli va doimiy magnitli o'zgarmas tok mashinalari bo'ladi (2.3- rasm).

Salt (yuklamasiz) ishlayotgan o'zgarmas tok generatorida asosiy magnit maydon qo'zg'atish chulg'ami magnit yurituvchi kuchi (MYK) tomonidan hosil qilinadi. Bunda yakor va bosh qutb o'zagi orasidagi havo oralig'i qutb uchligining kengligi bo'yicha bir xil bo'lsa, mashinaning bo'ylama o'qiga nisbatan simmetrik taqsimlangan bo'ladi.



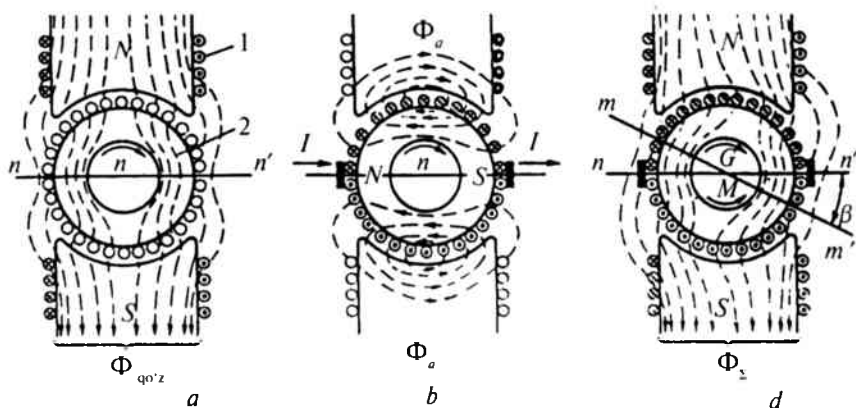
2.3-rasm. Har xil qo'zg'atishli o'zgarmas tok mashinalarining elektr sxemalari:

a— mustaqil; *b*— parallel; *d*— ketma-ket; *e*— aralash; *f*— doimiy magnitli.

Yakor reaksiyasi va uni bartaraf qilish. O'zgarmas tok mashinasi (generator)ga yuklama qo'yilganda yakor chulg'amidan tok o'tib MYK hosil bo'ladi. Yakor MYK ning mashina asosiy magnit maydoniga ta'siri *yakor reaksiyasi* deyiladi. Yakor reaksiyasi hodisasini tahlil qilishni soddalashtirish maqsadida, mashina magnit zanjiri to'yinishini hisobga olmasdan, qo'zg'atish chulg'ami ($F_{qo'z}$) va yakor chulg'ami (F_a) MYK lari mashina magnit zanjirining havo oralig'i magnit qarshiligini yengishga sarflanadi, deb hisoblab, tahlil uchun yuqorida ko'rsatilgan MYK lar o'rniga ularga mos bo'lgan magnit oqimlari ($\Phi_{qo'z}$ va Φ_a) ni qo'llash mumkin.

Mashina salt ishlaganda asosiy magnit yuklama oqimi ($\Phi_{qo'z}$) mashinaning bo'ylama o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi (2.4- rasm *a*), yuklama bilan ishlaganda esa yakor chulg'ami MYK (F_a) hosil qilgan magnit oqimi Φ_a , 2.4- rasm, *b* da ko'rsatilgan ikki qutbli mashinaning cho'tkalari geometrik neytralga qo'yilganda, mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha yo'naladi, shuning uchun uni ko'ndalang maydon ($\Phi_{aq} = \Phi_a$) deyiladi. Bu maydonning yakor reaksiyasi tufayli natijaviy maydonning bosh qutblar o'qlariga nisbatan taqsimlanishi simmetrik bo'lmaydi va maydon har bir qutbning bir chekkasiga siljigan bo'ladi (2.4- rasm, *d*). Bu holda fizik neytral *m-m'* (yakor aylanasi magnit induksiya nolga teng bo'lgan nuqtalarni birlashtiruvchi chiziq) mashinaning geometrik neytrali (*n-n'*) ga nisbatan biror β burchakka siljiydi. Generatorlarda (2.4- rasm, *d* da *G*) fizik neytral yakor aylanish yo'nalishi bo'yicha, motorlarda esa (2.4- rasm, *d* da *M*) yakor aylanishiga teskari yo'nalishga siljiydi.

Fizik neytralning geometrik neytralga nisbatan siljishi cho'tka kontaktini yomonlashtiradi (uchqun chiqishi kuchayishi mumkin)



2.4- rasm. O'zgarmas tok mashinasining magnit maydoni:

a— qo'zg'atish chulg'aming maydoni: *1*— qo'zg'atish chulg'ami, *2* — yakor;
b— yakor chulg'aming maydoni; *d*— mashinaning natijaviy magnit maydoni.

hamda mashina qutblarining ikkala maydon kuch chiziqlari bir xil yo'nalgan chekkalari ostidagi yakor chulg'aming seksiyalarida EYKning oniy qiymatlari keskin oshadi va kollektor plastinalari orasida elektr yoy vujudga kelib, uning xizmat muddatini keskin qisqartiradi.

Yakor reaksiyasi tufayli mashinaning natijaviy magnit oqimi, buning natijasida generatorda EYK, elektr motorda esa aylantiruvchi moment kamayadi.

Cho'tkalar geometrik neytralga qo'yilganda yakor reaksiyasi quyidagi yo'llar bilan bartaraf etiladi:

1. 1 kW va undan katta quvvatli O'TM larining qutblararo fazodagi yakor MYK ning cho'tkalar kontakti ishiga salbiy ta'sirini yo'qotish maqsadida mashina ko'ndalang o'qiga qo'shimcha qutblar o'rnatiladi va ularning chulg'ami yakor chulg'amiga cho'tkalari orqali ketma-ket ulanadi.

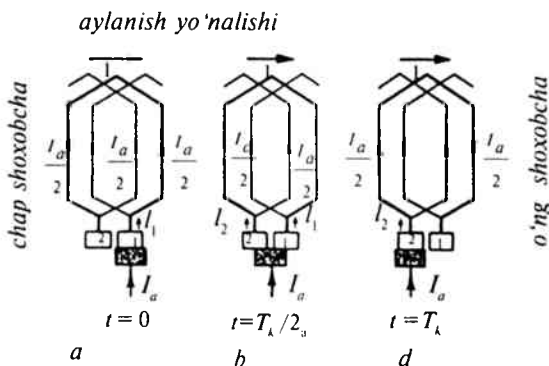
2. O'rtacha va katta quvvatli o'zgarmas tok motorlarining qutb uchliklarida maxsus pazlar qilinib, ularga kompensatsiyalovchi chulg'am joylashtiriladi. Kompensatsiyalovchi chulg'am mashina yuklamasining me'yoriy qiymatlarida yakor MYK ning salbiy ta'sirini avtomatik ravishda bartaraf qiladi, natijada bosh qutblar ostidagi havo oralig'ida asosiy magnit maydon shakli deyarli buzilmaydi.

2.3. Kollektorli o'zgarmas tok mashinasida kommutatsiya

Kollektor plastinalari qo'zg'almas holatdagi cho'tkadan sirpanib o'tib, yakor chulg'aming seksiyalari bitta parallel shoxobchadan uzilib ikkinchisiga ulangan paytdagi tokning o'zgarish jarayoni *kommutatsiya* deyiladi. Bu jarayonda mexanik, potensial va kommutatsion sabablarga ko'ra kollektorda uchqun chiqishi mumkin. Kommutatsiya sodir bo'ladigan seksiya *kommutatsiyalanuvchi seksiya*, kommutatsiya jarayoni sodir bo'lishiga sarflangan vaqt esa *kommutatsiya davri* T deyiladi. Kommutatsiya jarayonini tahlil qilishda cho'tkalar geometrik neytralda joylashgan va kommutatsiyalanayotgan seksiyada butun kommutatsiya davri davomida EYK induksiyalanmaydi deb, cho'tkaning kengligini esa kollektor bo'linmasiga teng ($b_{ch} = b_k$) deb qabul qilinadi.

Bunday paytdagi tokning o'zgarishi $i_1 / i_2 = r_{ch2} / r_{ch1}$ tenglik orqali ifodalanadi, bunda i_1, i_2 tegishlicha, 1 va 2- plastinalardagi tok bo'lib, bu tok o'tkinchi aktiv qarshiliklar (r_{ch1} va r_{ch2})ga teskari mutanosibdir. Kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tok $i = i_1 - i_2$ bo'ladi. 1- plastina bilan cho'tka orasidagi kontakt yo'qola borgan sari r_{ch1} qarshilik ortib, i_1 kamayadi. Cho'tka 2- plastinaga o'ta borgan sari oldin katta qiymatga ega bo'lgan r_{ch2} qarshilik kamaya borib, tok i_2 ortadi. Cho'tkaning yuzasi ikkala plastinaga teng tegib turgan paytda (2.5- rasm, b) o'tkinchi aktiv qarshilik $r_{ch1} = r_{ch2}$, kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tok $i_1 - i_2 = 0$ bo'ladi.

Shunday qilib, kommutatsiya davrida kommutatsiyalanayotgan seksiyadagi tok $+i$ dan $-i$ gacha o'zgaradi, tokning o'zgarish grafigi



2.5- rasm. Kommutatsiyalanuvchi seksiyada tok yo'nalishining o'zgarishi.

esa to'g'ri chiziqli bo'ladi. Bunday kommutatsiya to'g'ri chiziqli kommutatsiya deyiladi va u mashina uchun hech qanday salbiy oqibatlar vujudga keltirmaydi (2.5- rasm, a).

Ta'kidlash lozimki, o'zgar-mas tok mashinasining real ish sharoitlarida kommutatsiya jara-yoni ancha murakkab kechadi, chunki kommutatsiya davri juda qisqa, ya'ni 10^{-4} – 10^{-5} s ni tashkil qiladi. Seksiyada tokning bunday tez o'zgarishi natijasida katta qiymatli o'zinduksiya EYK e_L , qo'shni seksiyada o'zaro induksiya EYK e_M hosil bo'lib, ularning yig'indisi esa reaktiv EYK deyiladi:

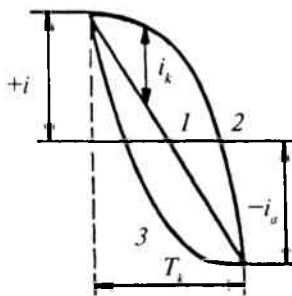
$$e_L = -L_s (di / dt) ; \quad e_M = -M_s (di / dt); \quad e_r = e_L + e_M, \quad (2.5)$$

bunda L_s — seksiyaning induktivligi, i — seksiyadagi tok, M_s — bir vaqtda kommutatsiyalanuvchi seksiyalarning o'zaro induktivligi.

Bu EYK Lens qoidasiga binoan kommutatsiyalanuvchi seksiyada tokning o'zgarishiga to'sqinlik qiladi, shu sababli uni *reaktiv* EYK deyiladi. Bundan tashqari, yakor reaksiyasi ta'sirida kommutatsiya zonasida (geometrik neytralda) magnit induksiya biror B_k qiymatga yetadi va bu induksiya ta'sirida ham kommutatsiya-lanuvchi seksiyada tashqi maydon tufayli EYK e_k hosil bo'ladi. Shunday qilib, kommutatsiyalanuvchi seksiyada natijaviy EYK $\Sigma_e = e_s + e_k$ hosil bo'ladi.

Kommutatsiyalanuvchi tokni reaktiv EYK hosil qiladi, reaktiv EYK hosil qilgan tok esa, ma'lumki, Lens qoidasiga binoan, elektr zanjirida tokning o'zgarishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli cho'tka ikkita plastinani bir xil qoplaganda ham kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tok nolga teng bo'lmaydi. Tok kommutatsiyaning ikkinchi yarim davridagina 0 ga tushadi, natijada kommutatsiya *egri chiziqli sekinlashgan* bo'ladi (2.6- rasm, 2).

Mashina ortiqcha yuklama bilan ishlaganda cho'tkaning tok zichligi katta bo'lgan tomoni qiziydi va kollektor bilan cho'tka orasida uchqun chiqa boshlaydi. Kommutatsiyalanuvchi seksiyaning qarshiligi r ancha kichik bo'lgani uchun uni e'tiborga olmay, kom-mutatsiyaning asosiy tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:



2.6- rasm. O'zgar-mas tok mashi-nasida tok kommutatsiyasi:

1— to'g'ri chiziqli; 2— sekinlashgan; 3— tezlashgan.

$$e_r + e_k = i_1 r_{ch1} - i_2 r_{ch2}. \quad (2.7)$$

Kommutatsiyaning zararli ta'sirini kamaytirish usullari.
O'zgarmas tok mashinalarida qoniqarsiz kommutatsiyaning asosiy sababi kommutatsiyaning qo'shimcha tokidir:

$$i_k = \Sigma_e / r_{ch}. \quad (2.8)$$

Bu tokni kamaytirish uchun kichik quvvatli mashinalarda katta qarshilikli cho'tkalardan foydalanish mumkin. Pasaytirilgan kuchlanishli katta quvvatli mashinalarda esa mis-grafitli yoki bronza-grafitli cho'tkalardan foydalaniladi.

Kompensatsiyalovchi chulg'am vositasida yakor reaksiyasining ta'siri kamaytiriladi. Kommutatsiya zonasida tashqi magnit maydon yaratilib, bu maydon kommutatsiyalovchi seksiyalarda reaktiv EYK e_r ga kattaligi jihatidan teng va qarama-qarshi yo'nalgan EYK e_k ni hosil qiladi. Bu holda kommutatsiyalovchi seksiyada $e_r + e_k = 0$ va kommutatsiya to'g'ri chiziqli bo'lib qoladi (2.6- rasm, 1).

Kommutatsiya zonasida bunday tashqi magnit induksiyaning hosil qilish uchun quvvati 1 kW dan ortiq bo'lgan mashinalarda qo'shimcha qutblar, 150 kW va undan katta quvvatli mashinalarda esa kompensatsiyalovchi chulg'am ishlatiladi. Qo'shimcha qutblar va kompensatsiyalovchi chulg'amlar yakor chulg'amiga ketma-ket ulanadi. Agar qo'shimcha qutblar MYK ning qiymati yakor chulg'aminikidan katta bo'lsa, $e_k > e_r$ bo'ladi, natijada ish toki i ga qarama-qarshi yo'nalgan kommutatsiya toki i_k paydo bo'lishi tufayli kommutatsiya egri chiziqli tezlashgan bo'ladi (2.6- rasm, 3).

Agar $e_k < e_r$ bo'lsa, kommutatsiya sekinlashib qoladi (2.6- rasm, 2).

Kommutatsiya jarayonida yuqori chastotali elektromagnit to'liqlar hosil bo'ladi. Ular radio va televizion qurilmalar ishiga xalaqit beradi. Shovqinni kamaytirish uchun yakorga kondensatorlarni parallel ulash yo'li bilan yuqori chastotali kuchlanish va toklar filtrlanadi.



Nazorat savollari

1. Kompensatsiyalovchi chulg'amning ahamiyati nimadan iborat?
2. Nima sababdan kommutatsiya sekinlashgan bo'ladi?
3. Qo'shimcha qutblarning vazifasi nimalardan iborat?
4. Tezlashgan kommutatsiya deb nimaga aytiladi?
5. Kommutatsiyaning yaxshilash usullari haqida nimalarni bilasiz?

3.1. Mustaqil qo'zg'atishli generatorning
xarakteristikallari

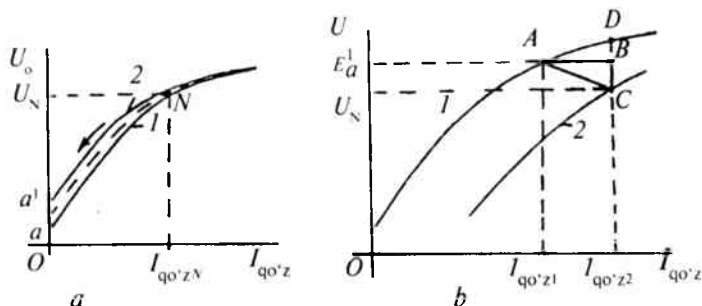
Mustaqil qo'zg'atishli generatorning qo'zg'atish chulg'amiga boshqa o'zgarmas tok manbayidan kuchlanish beriladi. Agar qo'zg'atish chulg'amiga ulangan kuchlanish $U_{qo'z} = \text{const}$ va uning qarshiligi $r_{qo'z} = \text{const}$ bo'lsa, generatorning har qanday ish rejimida ham bu chulg'amdagi tok $I_{qo'z}$ o'zgarmay qoladi.

O'zgarmas tok generatorining barcha xarakteristikallari yakorining aylanish chastotasi $n = n_N = \text{const}$ bo'lganda olinadi.

Salt ishlash va yuklanish xarakteristikallari. Salt ishlash xarakteristikasi (SIX) yakor toki $I_a = 0$ bo'lganda, uning chiqish klemmlaridagi kuchlanish U_0 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liqligini ifodalovchi egri chiziqdır, ya'ni $U_0 = E_0 = f(I_{qo'z})$.

SIX xarakteristikasini (3.1- rasm) tajriba o'tkazilayotgan paytda generator kuchlanishining qiymati $U_0 = (1,15 \div 1,2)U_N$ ga teng bo'lgunga qadar, qo'zg'atish toki 0 dan oshirib boriladi, so'ngra yana 0 gacha kamaytiriladi.

Xarakteristika qo'zg'atish tokining qiymati oshirib olinganda SIX ning o'suvchi shoxobchasiga ega bo'lamiz (3.1- rasm, 1). Bu egri chiziq ordinatalar o'qidagi birorta a nuqtadan boshlanadi, chunki $I_{qo'z} = 0$ da mashina qutblari o'zagidagi qoldiq magnit oqimi (Φ_{qol}) kam miqdorda qoldiq EYK $E_{qol} = 0_a$ ni hosil qiladi. Qo'z-g'atuvchi tok $I_{qo'z}$ ning qiymati kamaytirib olingan SIX ning kamayuvchi shoxobchasi uning o'suvchi shoxobchasiga nisbatan



3.1- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli generatorning salt ishlash (a) va yuklanish (b) harakteristikallari.

yuqorida joylashadi va $I_{qo'z} = 0$ bo'lganda qoldiq EYK ning qiymati $E'_{qol} = 0a' > 0_a$ bo'ladi. Bunga sabab SIX ning o'suvchi shoxobchasi olinganda qoldiq magnit oqimining qiymati dastlabki qiymatiga nisbatan biroz oshgan bo'ladi.

SIX ning boshlanish qismi, ya'ni kuchlanishning $U_0 = (0,55 \div 0,6) U_N$ qiymatlarigacha to'g'ri chiziqli bo'lishi magnit oqimining kam qiymatlarida mashinaning magnit zanjiri to'yinmaganligidan dalolat beradi.

Yuklama xarakteristikasi — yakor toki $I_a = I_N = \text{const}$ bo'lganda generator chiqish klemmlaridagi kuchlanish U_a ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liqligi $[U_a = f(I_{qo'z})]$ ni ifodalovchi egri chiziq (3.2- rasm, 2).

Yuklama xarakteristikasi yakor zanjiridagi qarshiliklarda kuchlanishning pasayishi va yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri tufayli SIX ga nisbatan pastda joylashadi.

Agar salt ishlash rejimida qo'zg'atish tokining birorta $I_{qo'z2}$ qiymatida D nuqta bilan aniqlanadigan kuchlanishga ega bo'lsak, yuklama bilan ishlaganda ($I_{qo'z2}$ ning o'sha qiymatida) generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanishi kamayadi (3.1- rasm, b , C nuqta), ya'ni DS kesma bilan ifodalanadigan kuchlanish pasayishiga ega bo'lamiz. Bu kesmaning BC qismi ($I_a r_a + 2\Delta U_{ch}$) ga teng bo'lgan yakor zanjiri va cho'tkalardagi kuchlanish pasayishini ifodalaydi. DB kesma yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri tufayli kuchlanish pasayishini ifodalaydi. Hosil bo'lgan ABC uchburchak (3.1- rasm) xarakteristika (yoki reaktiv) uchburchagi deyiladi.*

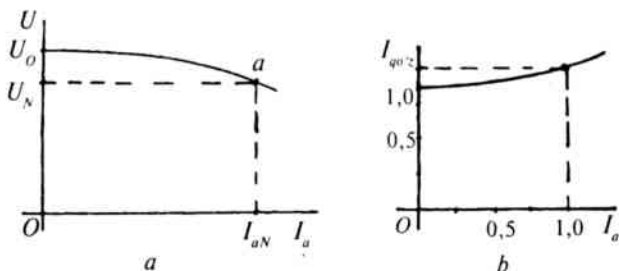
Tashqi xarakteristika — generatorni ishlatish jarayonini belgilovchi asosiy ish xarakteristikasidir.

Bu xarakteristika — qo'zg'atish toki $I_{qo'z} = I_{qo'zN} = \text{const}$ bo'lganda generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanish bilan yakordan o'tayotgan yuklama toki orasidagi bog'lanish $U_a = f(I_a)$ ni ifodalaydi (3.2- rasm).

Generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanish (U_a), natijaviy magnit oqimiga bog'liq ravishda o'zgaradigan EYK E_a va yakor zanjiridagi ($I_a r_a$) hamda cho'tkalardagi (U_{ch}) kuchlanish pasayishlari bilan aniqlanadi:

$$U_a = E_a - I_a r_a - U_{ch}. \quad (3.1)$$

Tashqi xarakteristikani tajribada olishda davlat standarti tavsiyasiga ko'ra, yakorning aylanish chastotasi $n = n_N$ va qo'zg'atish



3.2- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining tashqi (a) va roslash (b) xarakteristikalari.

toki qiymatini $I_{qo'z} = I_{qo'zN}$ o'zgartirmay saqlagan holda yakordan o'tayotgan yuklama tokini nominal qiymatidan 0 gacha kamaytirish lozim.

Yuklama toki kamaya borgan sari, ko'ndalang yakor reaksiyasi ta'sirining susayishi va yakor zanjirida kuchlanishning pasayishi $I_a r_a$ tufayli, yakor chulg'ami chiqish klemmlaridagi kuchlanish tobora oshadi (3.2- rasm, b).

Rostlash xarakteristikasi Yakor zanjirining chiqish klemmlaridagi kuchlanish $U = U_N = \text{const}$ bo'lganda $I_{qo'z} = f(I_a)$ bog'liqlik generatorning roslash xarakteristikasini ifodalaydi (3.2- rasm).

Bu xarakteristikani yuklama toki kamaytirilgan hol uchun ko'rib chiqamiz.

(3.1) formulaga asosan, agar qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ning qiymatini o'zgartirmasa, yuklama toki I_a ning kamayishi tufayli yakor reaksiyasining kuchsizlanishi va yakor zanjirida kuchlanish pasayishi ($I_a r_a$)ning kamayishi sababli generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanish miqdori oshadi. Lekin, shartga ko'ra, $U_a = U_N = \text{const}$ bo'lishi uchun tajribada roslash xarakteristikasini olayotganda qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ni kamaytirib borish lozim bo'ladi (3.2- rasm, b).

3.2. Parallel va aralash qo'zg'atishli generatorlarning normal rejimdagi xarakteristikalari

Parallel qo'zg'atishli generator o'zgarmas tok generatorlarining keng qo'llaniladigan turidir, chunki qo'zg'atish uchun alohida

o'zgaras tok manbayi talab qilinmaydi hamda normal yuklama toki chegarasida turg'un kuchlanish beradi. Bu generatorning qo'zg'atish chulg'ami o'zining yakor chulg'amidan energiya oladi, ya'ni o'z-o'zini qo'zg'atadi.

Mazkur *generatorning barcha xarakteristikalari* yakorning aylanish chastotasi $n = n_N = \text{const}$ bo'lganda olinadi.

Salt ishlash xarakteristikasi va o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni.

Bunday generatorning SIX mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorinikiga o'xshash bo'lib, yuklama toki $I_a = 0$ bo'lganda $U_a = f(I_{qo'z})$ bog'liqlikni ifodalaydi.

Parallel qo'zg'atishli generatorning SIX ni kuchlanish U_0 va qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ larning faqat musbat qiymatlari uchun tajriba yo'li bilan aniqlab olish mumkin, chunki qo'zg'atish tokining ishorasini o'zgartirganda, generatorning kuchlanishi U_0 o'zining 0 qiymati orqali o'tadi va natijada mashina magnit zanjirining po'lat qismlaridagi qoldiq magnit oqimi yo'qoladi, mashina esa o'z-o'zini qayta qo'zg'atish imkoniyatidan mahrum bo'ladi.

Parallel qo'zg'atishli generatorning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni. Ma'lumki, zavod sinovidan o'tgan har qanday o'zgaras tok mashinasi magnit zanjirining po'lat qismlarida qiymati $\Phi_{qol} = (0,02 \div 0,03)\Phi_N$ bo'lgan qoldiq magnit oqimi bo'ladi. Odatda, bu magnit oqim mashina magnit zanjiridagi gisterezisning, ya'ni ayrim maxsus po'lat materialning kam miqdordagi magnit oqimini o'zida saqlab qolish xossasi tufayli mavjud bo'ladi. Agar shunday magnit oqimi mashinada bo'lmasa, uni hosil qilish uchun tashqi o'zgaras tok manbayini qo'zg'atish chulg'amiga ulab qisqa muddatli tok o'tkazish lozim.

Agar yakor birlamchi motor yordamida aylantirilsa, uning chulg'amida Φ_{qol} ta'sirida dastlab kam miqdorda EYK (E_{qol}) hosil bo'ladi. Bu EYK ta'sirida „yakor chulg'ami — qo'zg'atish chulg'ami“ yopiq zanjirida kichik miqdorda tok vujudga keladi. Bu tok o'z navbatida, qo'zg'atish chulg'amida MYK $\Phi_{qo'z}$ va uning ta'sirida qo'shimcha qo'zg'atish oqimi $\Phi_{qo'sh}$ ni hosil qiladi. Bu oqimlar mos yo'nalgandagina qo'zg'atish oqimining natijaviy qiymati osha boradi. Bu esa yakor chulg'amidagi EYK ning ko'payishiga va, demak, qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ va qo'zg'atish oqim $\Phi_{qo'z}$ larning oshishiga hamda yakor chulg'ami EYK ning navbatdagi oshishiga olib keladi va hokazo.

Agar qo'zg'atish chulg'aminging qarshiligi $r_{qo'z} = \text{const}$ bo'lsa, unda $I_{qo'z} r_{qo'z}$ kuchlanish pasayishi qo'zg'atish toki I_q ga mutanosib ravishda o'zgaradi (3.3- rasm, 1). Bu to'g'ri chiziq absissalar o'qi bilan, burchak hosil qiladi. Bu burchak uning tangensi orqali quyidagicha topiladi:

$$\text{tg}\alpha = (m_u / m_l) \cdot AB/OB = (m_u / m_l) \cdot (I_{qo'z} \equiv r_{qo'z}) \equiv r_{qo'z}. \quad (4.3)$$

Demak, mashina salt ishlaganda o'z-o'zini qo'zg'atish jarayonining tugagan nuqtasi A va koordinatalar boshi O orqali o'tgan to'g'ri chiziqning absissalar o'qiga nisbatan qiyalik burchagi qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $r_{qo'z}$ ga mutanosib bo'lar ekan. $r_{qo'z}$ ning qiymati ortishi bilan 3.3- rasmdagi A nuqta SIX egri chizig'i bo'yicha O nuqta tomon siljiydi.

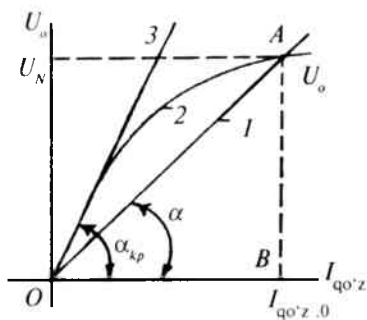
$r_{qo'z}$ ning 1- to'g'ri chiziqqa to'g'ri kelgan qiymati $r_{qo'z}$ dan katta bo'lgan qandaydir qiymatda to'g'ri chiziq SIX egri chizig'ining boshlang'ich qismiga urinma (3.3- rasm, 3) bo'ladi. Qarshilikning ana shu qiymatiga *kritik qarshilik* ($\Sigma r_{kr,q}$) deyiladi. Bunday sharoitda generator o'z-o'zini qo'zg'ata olmaydi.

Generator o'z-o'zini qo'zg'atishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

- qoldiq magnit oqimi Φ_{qol} mavjud bo'lishi;
- qo'shimcha magnit oqimi $\Phi_{qo'sh}$ qoldiq magnit oqimi Φ_{qol} bilan bir xil yo'nalishda, yani qo'zg'atish chulg'ami yakor chulg'amiga to'g'ri ulangan bo'lishi;
- qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $\Sigma r_{qo'z}$ kritik qarshilik $r_{kr,q}$ dan kichik ($\Sigma r_{qo'z} < \Sigma r_{kr,q}$) bo'lishi kerak.

Parallel qo'zg'atishli generatorning yuklanish va rostlash xarakteristikalarining tajribada olinishi va ularning o'zgarish xarakteri, xuddi mustaqil qo'z-g'atishli generatorlarniki kabidir (3.1- rasm, b va 3.2- rasm, b larga qarang).

Tashqi xarakteristikasi $r_{qo'z} = r_{qo'z} + r_r = \text{const}$ bo'lganda bog'liqlik $U_a = f(I_{yu})$ ko'rinishda bo'ladi. Parallel qo'zg'atishli



3.3- rasm. $n = \text{const}$ bo'lganda, parallel qo'zg'atishli generatorning o'z-o'zini qo'zg'atishi.

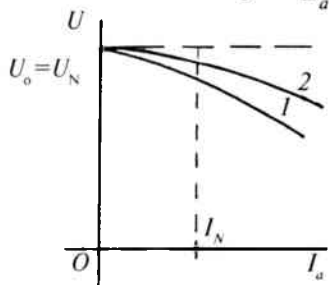
generatorning tashqi xarakteristikasining o'zgarish shakli ham yuklamaning yo'l qo'yilgan qiymatlarida xuddi mustaqil qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikalari kabi bo'ladi. 3.4- rasmda yuklama tokini oshirib olingan parallel qo'zg'atishli (1- egri chiziq) va mustaqil qo'zg'atishli (2- egri chiziq) generatorlar tashqi xarakteristikalari o'zgarishining farqi ko'rsatilgan bo'lib, u quyidagicha tushuntiriladi. Agar mustaqil qo'zg'atishli generatorda yuklama tokining oshishi bilan kuchlanishning tushishiga yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri va yakor zanjiridagi kuchlanishning pasayishi sabab bo'lsa, parallel qo'zg'atishli generatorda bunga yana bir sabab qo'shiladi, ya'ni yuqorida ko'rsatilgan ikkita sababga ko'ra, yakor zanjiridagi demak, qo'zg'atish zanjiridagi, kuchlanishning pasayishi (chunki $U_{qo'z} = U_a$) tufayli qo'zg'atish toki kamaygan.

Xulosa. Mustaqil va parallel qo'zg'atishli generatorlarning xarakteristikalari va xossalari bir-biridan deyarli farq qilmaydi.

Aralash qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining ikkita qo'zg'atish chulg'ami bo'lib, ulardan bittasi yakor chulg'amiga parallel, ikkinchisi esa unga ketma-ket ulanadi.

Ma'lumki, yuklama tokining oshishi bilan parallel qo'zg'atishli generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanish pasayadi, ketma-ket qo'zg'atishli generatorda esa yuklamaning kamroq qiymatlarida oshadi. Aralash qo'zg'atishli generatorlarda esa bu qo'zg'atish chulg'amlarining ikkalasi ham bo'lganligi uchun loyihalash paytida ular shunday hisoblanadiki, generatorda yakor zanjirining chiqish klemmlaridagi kuchlanish

$$U = E_a - I_a r_a \quad (3.3)$$



3.4- rasm. Parallel qo'zg'atishli (1) va mustaqil qo'zg'atishli (2) generatorning tashqi xarakteristikalari.

yuklamaning yo'l qo'yilgan qiymatlarida o'zgarmay qolishi lozim. Buning uchun yakor chulg'amidagi EYK E_a (magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ ham), yuklama toki I_a ga qat'iyan mos o'zgarishi zarur.

Parallel (Φ_{sh}) va ketma-ket (Φ_s) qo'zg'atish chulg'amlari hosil kilgan MYK larning birgalikdagi ta'siridan umumiy qo'zg'atish oqimi $\Phi_{qo'z}$ vujudga

keltiriladi. Ko'pincha qo'zg'atish chulg'amlari, ular hosil qilgan magnit oqimlari bir xil yo'naladigan qilib ulanadi. Bunda generator kuchlanishi avtomatik tarzda rostlab turiladi, ya'ni qo'lda rostlashga hojat qolmaydi.

Payvandlash generatorlarida parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari qarama-qarshi ulab ishlatiladi.



Nazorat savollari

1. Mustaqil qo'zg'atishli O'TG ning yuklanish va salt ishlash xarakteristikallari orasida qanday farq bor?
 2. Yakor reaksiyasi mustaqil qo'zg'atishli O'TG ning tashqi va rostlash xarakteristikalariga qanday ta'sir ko'rsatadi?
 3. Parallel qo'zg'atishli O'TG ning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni qanday sodir bo'ladi?
-

4- BOB. | O'ZGARMAS TOK MOTORLARI

4.1. O'zgarmas tok motorlarining ishlash prinsipi va ish xarakteristikalar

Boshqa elektr mashinalari kabi o'zgarmas tok mashinalari ham Lens kashf qilgan qaytarlik xossasiga ega, ya'ni ular generator sifatida ham, motor sifatida ham ishlay oladi. Demak, tuzilishi jihatdan o'zgarmas tok motori generator tuzilishidan farq qilmaydi (1.1- rasmga qarang).

Agar o'zgarmas tok mashinasi o'zgarmas tok energiya manbayiga ulansa, mashinaning qo'zg'atish chulg'ami va yakor chulg'amidan tok o'tadi. Yakor toki qo'zg'atish maydoni bilan ta'sirlashib elektromagnit moment M ni hosil qiladi. Lekin, bu moment generatordagi singari tormozlovchi emas, balki aylantiruvchi bo'ladi (chunki yakor toki va EYK bir-biriga teskari yo'nalgan) va uning ta'sirida mashina yakori aylana boshlaydi. Bunda mashina tarmoqdan elektr energiyani olib, motor sifatida ishlaydi va uni mexanik energiyaga aylantirib beradi.

O'zgarmas tok mashinasi generator sifatida ishlaganda kollektor va cho'tkalar *to'g'rilagich* vazifasini bajarsa, motor sifatida ishlaganda unga yakor chulg'amini o'zgarmas tok tarmog'i bilan bog'lovchi *chastota o'zgartirgich* sifatida qarash mumkin.

Qutblarning berilgan qutbiyligi va yakor ma'lum yo'nalishda aylanganda yakor chulg'amidagi EYK ning yo'nalishi o'zgarmas tok mashinasi generator hamda motor rejimlarida ishlaganda bir xil, yakor chulg'ami tokining yo'nalishi esa har xil bo'ladi. Shu sababdan elektr motor yakorining magnit maydoni generator rejimdagiga nisbatan teskari bo'lib, uning yo'nalishi va yakor reaksiyasi ham teskari ta'sir qiladi.

Elektr motorlarning istalgan rejimdagi ishini ularning *momentlari muvozanat tenglamasi* va *elektr yurituvchi kuchlari muvozanat tenglamasi* belgilaydi.

Elektr motorida yakorni aylanma harakatga keltiradigan elektromagnit moment M ning kattaligi (1.9) ifodadan aniqlanadi.

Barqarorlashgan ish rejimida ($n=\text{const}$) momentlarning muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$M = M_{\text{st}} = M_o + M_2, \quad (4.1)$$

bunda M_{st} — statik moment, M_0 — salt ishlash isroflari tufayli hosil bo'ladigan moment; M_2 — foydali moment.

Elektr motorning yakori magnit maydonda aylanganda yakor chulg'ami o'tkazgichlarida kattaligi (1.5) ifoda bilan aniqlanadigan EYK vujudga keladi. Bu EYK ning yo'nalishi yakor chulg'ami toki yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi, demak, yakor zanjiri uchlariga berilgan kuchlanish U ga ham teskari yo'nalgan bo'lganligidan uni teskari EYK $-E_a$ deyiladi.

Elektr motor EYK ining muvozanat tenglamasi barqaror ish rejimi uchun quyidagicha yoziladi:

$$U = E_a + I_a \Sigma r_a, \quad (4.2)$$

bunda Σr_a — yakor zanjirining to'la qarshiligi, E_a — teskari EYK ($-E_a$) ni muvozanatlaydigan kuchlanishning tashkil etuvchisi.

(4.2) dan yakor tokining qiymatini topamiz:

$$I_a = (U - E_a) / \Sigma r_a. \quad (4.3)$$

(4.3) tenglama elektr motori ishini xarakterlovchi muhim tenglama hisoblanadi. Teskari EYK ning mavjudligi tufayli yakor toki I_a elektr motorga qo'yilgan yuklamaga mos bo'lgan qiymatga ega bo'ladi. Masalan, elektr motor valiga yuklama ulansa, aylanish chastotasi

$$n = (U - I_a \Sigma r_a) / (C_E \Phi) \quad (4.4)$$

biroz kamayadi, bu esa EYK E_a miqdorining kamayishiga olib keladi. Bunda (4.3) ifodaning suratidagi ayirma oshadi, natijada yakor toki I_a ham oshadi.

Ish xarakteristikalari elektr motorlarning barqaror ish rejimidagi xossalarini belgilaydi.

$\eta = f(P_2)$ bog'lanishdan tashqari, barcha ish xarakteristikalari elektr motorning qo'zg'atish usuliga bog'liq. Masalan, parallel qo'zg'atishli motorlarda (mustaqil qo'zg'atishlisida ham) qo'zg'atish chulg'amining magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ me'yoriy oraliqdagi yuklamaning miqdoriga deyarli bog'liq emas, ketma-ket qo'zg'atishli motorlarda esa bog'liq bo'ladi.

Parallel qo'zg'atishli motorning $U_a = U_N = \text{const}$ va $I_{qo'z} = I_{qo'z \cdot N} = \text{const}$ bo'lgandagi n , M , I_a , $\eta = f(P_2)$ bog'liqlik bilan ifodalanuvchi **ish xarakteristikalarini** ko'rib chiqamiz (4.1- rasm).

Parallel qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasi n ga faqat ikkinchi darajali ikki omil, ya'ni yakor zanjiridagi kuchlanish pasayishi $I_a \Sigma r_a$ va yakor reaksiyasi qarama-qarshi ta'sir etadi, ya'ni elektr motor validagi yuklamaning ortishi bilan I_a hamda $\Sigma I_a r_a$ ning qiymati oshishidan motorning aylanish chastotasi pasaysa, ko'ndalang yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri tufayli natijaviy magnit oqimi kamayib, motorning aylanish chastotasi biroz ortadi.

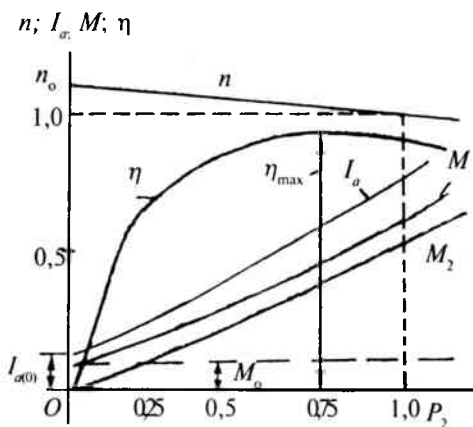
Parallel qo'zg'atishli motor aylanish chastotasining yuklamaga nisbatan kuchsiz bog'liqligi muhim xossalardan biri hisoblanadi. Shu bilan birga, ba'zan parallel qo'zg'atishli motorning ish jarayonida qo'zg'atish zanjiri ayrim sabablarga ko'ra uzilishi mumkin, bu juda xavflidir, chunki (4.3) tenglamaga binoan, qo'zg'atish zanjiri uzilganda $E_a = 0$ bo'lib, elektr motor yakorining toki I_a yo'l qo'yilgan qiymatidan ancha oshib ketadi. Bunday xavfli holat yuz bermasligi uchun elektr motor sxemasida yakor tokining yo'l qo'yilmagan katta qiymatlarida zanjirni uzib qo'yadigan avtomat bilan ta'minlanishi nazarda tutilishi kerak.

Elektr motor foydali momenti M_2 ning kattaligi uning validagi foydali quvvat P_2 ga to'g'ri mutanosib bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$M_2 = 9,55 P_2 / n, \quad (4.5)$$

bunda: P_2 [Wt] ; M_2 [N·m] ; n [ayl/min] .

Yuklamaning oshishi bilan elektr motorning aylanish chastotasi biroz kamayadi, shuning uchun ham moment M_2 foydali



4.1- rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalari.

quvvat P_2 ga nisbatan tezroq o'sadi (4.1- rasm). Moment M esa foydali moment M_2 dan $M_0 = \text{const}$ qiymatga katta bo'ladi.

M_0 ning qiymati kichik bo'lganligidan $M_0 \approx 0$ deb, (4.5) ifodada M_2 ning o'rniga (1.9) formuladan M ning qiymatini qo'yib, tok I_a ni keltirib chiqaramiz:

$$I_a = P_2 / (C'_m \Phi n). \quad (4.6)$$

(4.6) dan ko'rinib turibdiki, foydali quvvat P_2 oshishi bilan uning aylanish chastotasi biroz pasayadi, yakor reaksiyasi ta'sirida esa magnit oqimi biroz kamayadi, shu sababli $I_a = (P_2)$ bog'liqlik $M = f(P_2)$ egri chizig'iga nisbatan ordinatalar o'qi tomonga ko'proq og'adi.

FIK ning o'zgarishi quyidagicha tushuntiriladi. O'zgarmas tok motoridagi isroflar o'zgarmas (magnit va mexanik isroflar) hamda yuklamaga bog'liq ravishda o'zgarib turadigan elektr isroflarning yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni:

$$P = P'_m + P'_{\text{mex}} + P'_e. \quad (4.7)$$

O'zgarmas tok motorining FIK quyidagicha aniqlanadi:

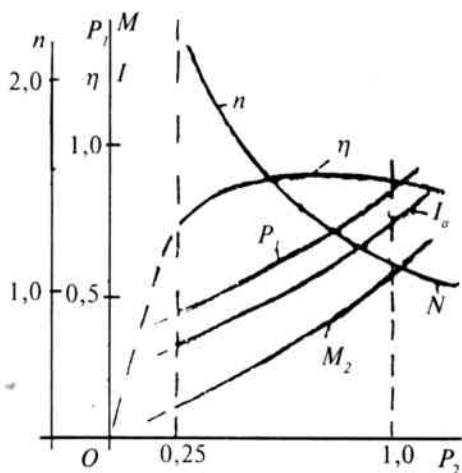
$$\eta = 1 - \Sigma P' / P_1. \quad (4.8)$$

O'zgarmas va o'zgaruvchan isroflar o'zaro teng bo'lganda FIK maksimal qiymatga erishadi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorda qo'zg'atish toki $I_{\text{qo'z}}$ yakor tokiga teng ($I_{\text{qo'z}} = I_a$) va u bilan bir vaqtda o'zgaradi. Qo'zg'atish tokining yuklamaga nisbatan bunday mutanosib ravishda o'zgarishi ketma-ket qo'zg'atishli motor ish xarakteristikalarining parallel qo'zg'atishli motor ish xarakteristikalaridan keskin farq qilishiga sabab bo'ladi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorning yuklamasi oshishi bilan qo'zg'atish toki ham oshadi, demak, motorning asosiy magnit oqimi Φ ham mashina magnitlanish egri chizig'i bo'yicha ko'paya boradi va uning aylanish chastotasi n yuklama oshishi bilan keskin pasayadi (4.2- rasm).

Yuklama kamaytirilgan sari, tok I_a va, demak, unga mutanosib bo'lgan magnit oqimi Φ ham kamayib, aylanish chastotasining haddan tashqari ko'payishiga olib keladi, mexanik sabablarga ko'ra bunga yo'l qo'yib bo'lmaydi. Shu sababdan, ketma-ket qo'zg'atishli motorlarni salt ishlash rejimida, ya'ni yuklamasiz ishga tushirish



4.2- rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli motorning foydali quvvati P_2 ga nisbatan olingan ish xarakteristikalar.

yoki normal ishlayotganida yuklamasini nominalga nisbatan 25 % dan kamaytirish mumkin emas.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorning momenti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M = C_M k_\Phi I_a^2, \quad (4.9)$$

bunda: $C_M k_\Phi$ — o'zgarmas sonlar.

(4.9) ga binoan mazkur motor momentining I^2 ga to'g'ri mutanosibligi ($M = I^2$) juda muhim amaliy ahamiyatga ega. Bu, ayniqsa, katta qiymatli ishga tushirish momenti talab qilinadigan hollarda (kranlar, metro, tramvay, trolleybus, avtomobillardagi startyor va elektrovozlar), shuningdek elektr motor o'ta yuklanish xususiyatiga ega bo'lishi kerak bo'lganda juda muhimdir.

Aralash qo'zg'atishli motorda magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari MYK larining birgalikdagi ta'siridan vujudga keladi.

Mos ulangan aralash qo'zg'atishli motorda parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari hosil qilgan MYK larning yo'nalishi bir xil bo'lib, ular qo'shiladi ($\Phi = \Phi_{sh} + \Phi_s$). Amalda shu hol ko'p qo'llaniladi.

Mos ulangan aralash qo'zg'atishli motorlarning ish xarakteristikalar parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalariga (4.1- rasm) yaqinlashadi.

Aralash qo'zg'atishli motorning xarakteristikalari parallel va ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning xarakteristikalari oralig'ida joylashadi.

Qo'zg'atish chulg'amlari mos ulanganda yuklamaning oshishi bilan natijaviy MYK oqimi Φ oshadi, shuning uchun uning tezlik xarakteristikasi $n = f(P_2)$ parallel qo'zg'atishli motorlarnikiga nisbatan pasayuvchan bo'ladi.

4.2. O'zgarmas tok motorlarining mexanik xarakteristikalari

O'zgarmas tok motorining mexanik xarakteristikasi $n = f(M)$ bog'liqlik, tarmoq kuchlanishi $U_t = \text{const}$, yakor zanjiridagi qarshilik $\Sigma r_a = \text{const}$ va qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $r_{qo'z} = \text{const}$ shartlari bajarilganda, motor valiga ulangan ish mexanizmining tormozlovchi momenti M_{yu} ni ($M_{yu} = M = M_0 + M_2$) o'zgartirib olinadigan aylanish chastotasi n ning o'zgarishini ifodalaydi. (4.4) ifodani yakor zanjiriga ulangan reostat qarshiligi $r_{r,a}$ ni ham hisobga olgan holda quyidagicha yozamiz:

$$n = [U_T - I_a (\Sigma r_a + r_{r,a})] / (C_E \Phi) = U_T / (C_E \Phi) - I_a (\Sigma r_a + r_{r,a}) / (C_E \Phi). \quad (4.10)$$

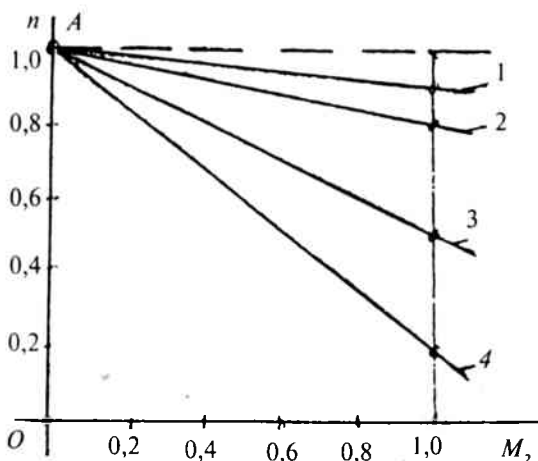
Bunga (1.9) ifodadan aniqlangan tok [$I_a = M / (C_M \Phi)$] ning qiymatini qo'yib, hamda $n = \text{const}$ bo'lganda $M = M_{yu} \approx M_2$ bo'lishini e'tiborga olgan holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$n = U_T / (C_E \Phi) - M_{yu} (\Sigma r_a + r_{r,a}) / (C_E C_M \Phi^2), \quad (4.11)$$

bunda C_E , C_M , U_T va $(\Sigma r_a + r_{r,a})$ lar o'zgarmas kattaliklardir.

Parallel qo'zg'atishli motorda qo'zg'atish magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ ga yakor reaksiyasining ta'siri sezilarli bo'lmagani uchun, $\Phi_{qo'z} = \text{const}$ deb hisoblash mumkin.

Agar reostatning qarshiligi $r_{r,a} = 0$ bo'lsa, tabiiy mexanik xarakteristikaga ega bo'lamiz. Bu xarakteristika absissalar o'qiga nisbatan biroz og'gan to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi (4.3- rasm, I). Yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik kiritish bilan bu xarakteristikaning absissalar o'qiga nisbatan qiyalik burchagi oshadi va bu burchak $r_{r,a}$ ning qiymatiga to'g'ri mutanosib bo'ladi. Bular *sun'iy mexanik xarakteristikalar* deyiladi.

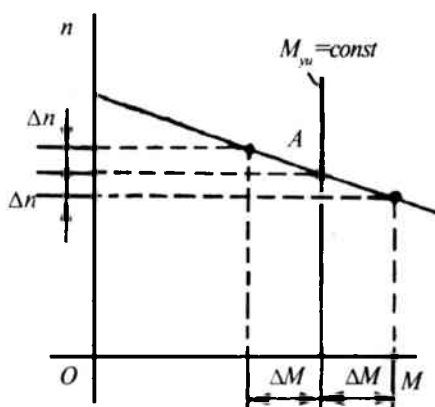


4.3- rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikalari.

Elektr motor turg'un ishlashi uchun quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$dM / dn < dM_{yu} / dn. \quad (4.12)$$

Umumiy hol uchun elektr motorning turg'un ishlash sharti quyidagicha xarakterlanadi: aylanish chastotasi oshganda aylantiruvchi momentning o'sishi dM , yuklama tormozlovchi momentining o'sishi ishga tushirish momenti dM dan kam bo'lishi zarur.



4.4- rasm. Elektr motor va ish mexanizmining turg'un ishlash shartlarini tushuntirishga oid mexanik xarakteristikalar.

Odatda, bu shart bajarilishi uchun aylanish chastotasi oshganda aylantiruvchi moment kamayishi zarur (4.4- rasm, a).

Mexanik xarakteristikaning ko'rinishi elektr motorning yuklama bilan ishlashidagi turg'unligini ifodalaydi.

4.5- rasmda ayrim ish mexanizmlari statik momentning aylanish chastotasiga bog'liqligi ko'rsatilgan. Bu bog'lanishlarni elektr motorning mexanik xarakteristikasi bilan taqqoslash oson bo'lishi uchun $M_{yu} = f(n)$ ko'rinishga emas, balki $n = f(M_{yu})$ ko'rinishda keltirilgan.

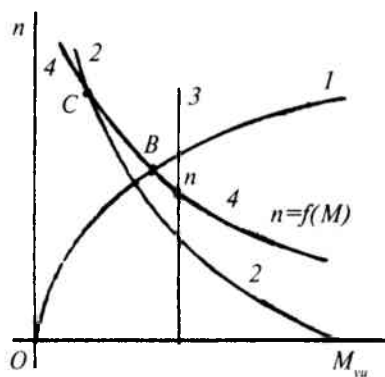
4.5- rasmda: 1 — aylanish chastotasi oshishi bilan yuklama momenti M_{yu} ning oshishini ifodalaydi. Bu o'zgarish taxminan $M_{yu} = 6n^2$ qonuniyat bo'yicha bo'lib, ventilator, nasos va shunga o'xshagan ish mexanizmlariga xos;

2 — aylanish chastotasi oshishi bilan momentning kamayishini ifodalaydi. Bu o'zgarish taxminan $M_{yu} = A - Bn$, qonuniyatga to'g'ri kelib, transportyor, betonqorgich, metall jo'valagich dastgohlari (prokat stanlar) kabi ish mexanizmlariga xos bo'ladi (A va B — tajriba natijasida olingan kattaliklar);

3 — $M_{yu} = \text{const}$, ya'ni moment aylanish chastotasiga deyarli bog'liq emas. Bunga yuklama ko'tarish mexanizmlari, tortish elektr motorlari va shunga o'xshash ish mexanizmlari misol bo'ladi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motor ventilatorga xos bo'lgan (4.5- rasm, 1) 3- egri chiziq bilan ifodalangan o'zgarmas yuklama momentlarida turg'un ishlaydi. Ammo transportyor va tegirmonga xos bo'lgan (2- egri chiziq) ish mexanizmlarida uning ishi (aylanish chastotasi yo'l qo'yilgan qiymatdan oshib ketishi tufayli) turg'un bo'lmaydi.

Normal sxema bo'yicha olingan tabiiy mexanik xarakteristika 4.5- rasmda ko'rsatilgan.



4.5- rasm. Har xil ish mexanizmlariga xos bo'lgan $n = f(M_{yu})$ bog'lanish (1, 2 va 3); 4 — ketma-ket qo'zg'atishli motorning tabiiy mexanik xarakteristikasi $n = f(M_{yu})$

Ketma-ket qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasini aniqlash uchun magnit oqimi Φ va tok I_a ning qiymatlarini quyidagicha aniqlab, (4.10) ga qo'yamiz. (4.9) dan $I_a = \sqrt{M/(C_M k_\Phi)} = C'_M \sqrt{M}$ bo'ladi (bunda $C'_M = 1/\sqrt{C_M k_\Phi}$ — o'zgarmas son).

Magnit zanjirining to'yinish darajasi kam bo'lganda $\Phi = k_\Phi I_a$ ekanligini e'tiborga olib (4.10) ni quyidagicha yozamiz:

$$\begin{aligned} n &= U_T / (C_E k_\Phi I_a) - I_a (\Sigma r_a + r_{ra}) / (C_E k_\Phi I_a) = \\ &= C_1 / \sqrt{M} - C_2 (\Sigma r_a + r_{ra}), \end{aligned} \quad (4.13)$$

bunda $C_1 = U_T / (C_E k_\Phi)$ va $C_2 = 1 / (C_E k_\Phi)$ lar ham o'zgarmas sonlar, chunki $U_T = \text{const}$.

Demak, aylanish chastotasining o'zgarishi giperbola shakliga yaqin bo'lgan egri chiziqni beradi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motor keskin egri chiziqli kamayuvchi mexanik xarakteristikaga ega bo'lganligidan uning validagi yuklama 25 % dan oshganda hamma vaqt turg'un ishlaydi.

Aralash qo'zg'atishli motorda ikkita qo'zg'atish chulg'ami bo'lganligi uchun uning mexanik xarakteristikalari parallel va ketma-ket qo'zg'atishli motorlar mexanik xarakteristikalari orasidagi o'rinni egallaydi.

Aralash qo'zg'atishli motor ideal salt ishlash rejimidagi tezlikka ega, ya'ni uning salt ishlash rejimidagi tezligi katta qiymatga ega bo'lsa ham chegaralangan va yakor zanjiriga ulangan qarshilik oshgan sari elektr motorning aylanish chastotasi pasayadi.

4.3. O'zgarmas tok motorini ishga tushirish

Elektr motorlarni ishga tushirishda quyidagi usullar qo'llaniladi:

— bevosita (reostatsiz) ishga tushirish, bunda yakor chulg'ami to'g'ridan-to'g'ri elektr tarmog'iga ulanadi;

— reostat yordamida ishga tushirish, bunda tokning qiymatini cheklash maqsadida qo'shimcha qarshilik yakor zanjiriga ketma-ket ulanadi;

— maxsus ishga tushirish agregati yordamida ishga tushirish, bunda yakor chulg'amiga beriladigan kuchlanishni bir tekis oshirish ko'zda tutiladi.

O'zgarmas tok motorini bevosita ishga tushirish paytida $n = 0$ bo'lganligidan yakor chulg'amining EYK ham $E_a = 0$ bo'ladi, bunda yakor chulg'amining toki quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$I_{i.t} = U / \Sigma r_a. \quad (4.14)$$

Yakor zanjiri qarshiligi Σr_a ning qiymati, odatda, kichik bo'lganligidan (4.14) ifodaga binoan aniqlanadigan ishga tushirish toki nominal tokka nisbatan 10 +20 marta katta bo'ladi. Bu mashina kollektorida kuchli uchqun chiqishiga sabab bo'ladi va zarbiy moment hosil bo'ladi. Bu hol elektr motor ulangan tarmoq uchun hamda elektr motorni harakatga keltirayotgan mexanizm uchun xavflidir. Shu sababli elektr motorni bevosita ishga tushirish usuli faqat kam quvvatli elektr motorlarda qo'llaniladi.

Bevosita ishga tushirish chegarasini tezkor avtomatlar qo'llash yo'li bilan kengaytirish mumkin. Bunda tokning qiymati belgilangan qiymatga yetganda yoki undan oshganda avtomat yakor zanjirini uzib qo'yadi va bu tok belgilangan qiymatga kamayganda avtomat yakor zanjirini tarmoqqa qayta ulyadi.

Quvvati $P > 0,5 \text{ kW}$ bo'lgan elektr motorlarda ishga tushirish tokini kamaytirish uchun yakor zanjiriga ketma-ket ishga tushirish reostati ulanadi. Bunda ishga tushirish toki quyidagiga teng bo'ladi:

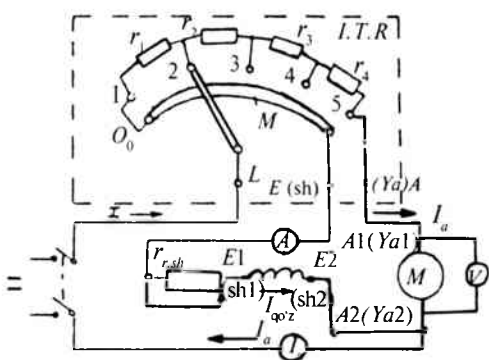
$$I_{i.t} = U / (\Sigma r_a + r_{r.a}), \quad (4.15)$$

bunda $r_{r.a}$ — ishga tushirish reostatining qarshiligi.

Quvvati katta bo'lgan elektr motorlarni ishga tushirish uchun reostatlarni qo'llash maqsadga muvofiq emas, sababi bunda elektr motor aylanuvchi qismlari massasining momenti J ga to'g'ri mutanosib bo'lgan energiya isroflari katta bo'ladi. Shuning uchun bunday hollarda elektr motorni ishga tushirishda kuchlanish maxsus ishga tushirish agregatidan foydalanib kamaytiriladi.

Reostat yordamida ishga tushirish amalda ko'p qo'llaniladigan usuldir.

4.6- rasmda uchta: (L, Sh, Ya) uchli ishga tushirish reostatining sxemasi ko'rsatilgan. Reostat ketma-ket ulangan to'rtta pog'onadan iborat. Ular 6 ta kontaktga ega bo'lib, ulardan boshlang'ichi nol 0, to'rtta



4.6- rasm. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorini ishga tushirish sxemasi.

1-4 oraliqdagilari va oxirgisi (5) ishchidir. 4- pog'onaning oxiri 5 - kontakt va „Ya“ harfi bilan belgilangan ulanish joyiga tutashtirilgan:

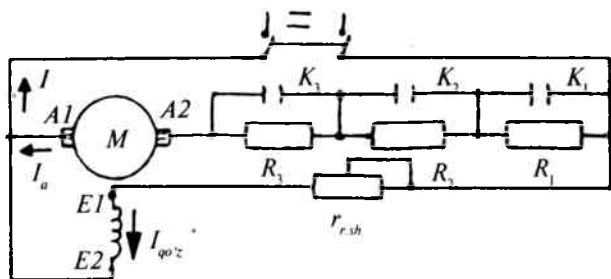
M harfi bilan belgilangan misdan yasalgan yoy esa *Sh* harfi bilan belgilangan joyga tutashtirilgan. Siljiydigan kontaktlar reostatning tutqichiga mahkamlangan va *L* harfi bilan belgilangan joyga birlashtirilgan bo'lib, ular yordamida tarmoq (liniya)simining birontasiga ulanadi.

Ishga tushirishdan oldin reostat 0 — ishga tayyor holatda, ya'ni uning tutqichiga mahkamlangan siljiydigan kontaktning uchi 0 kontaktga bo'lishi shart.

Yakor zanjiridagi ishga tushirish tokining cheklangan qiymatida ishga tushirish momentini oshirish maqsadida asosiy qutb magnit oqimining qiymatini ko'paytirish uchun qo'zg'atish sistemasidagi rostlash reostatini 4.6-rasm, *b* da ko'rsatilgandek qo'yish kerak (bunda $r_{r.sh} \approx 0$ bo'ladi). Ishga tushirish reostatining tutqichini kontakt 0 dan kontakt 1 ga ko'chirganda qo'zg'atish chulg'amiga darhol qiymati $U_N = U_1$ bo'lgan kuchlanish beriladi, yakor chulg'amiga esa (uning zanjiri ishga tushirish reostatining to'la $r_{it} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$ qarshiligiga ulanganligi sababli) pasaygan kuchlanish beriladi. Natijada, qo'zg'atish chulg'amidagi tokning qiymati katta bo'lib, yakor zanjiridan esa (4.15) tenglama bilan aniqlanadigan tok o'tadi, chunki ishga tushirishning boshlanishida yakorning aylanish chastotasi $n = 0$ bo'lganligidan (4.15) ifodaning suratidagi $E_a = 0$ bo'ladi.

Agar boshlang'ich ishga tushirish momenti M_{it} statik moment M_{st} dan katta ($M_{it} > M_{st}$) bo'lsa, elektr motorning yakori aylana boshlaydi. Bunda yakor chulg'amining o'tkazgichlari o'zgarmas magnit oqimining kuch chiziqlarini kesadi va, $I_{qo'z} = \text{const}$ bo'lganligidan, bu o'tkazgichlarda yakorning aylanish chastotasi n ga mutanosib bo'lgan teskari EYK vujudga keladi, (4.14) ifodaga binoan, ishga tushirish toki va bu tokka mutanosib bo'lgan ishga tushirish momenti kamayadi.

Ishga tushirish toki $I_{it.min}$ qiymatgacha kamayganda reostatning tutqichi kontakt 2 ga ko'chiriladi (bunda 1- pog'onaning qarshiligi r_1 keyingi jarayonda qatnashmaydi). Bunda tok yana $I_{it.max}$ gacha yetadi va elektr motorning aylanish chastotasi yanada o'sadi, bunda ishga tushirish toki va momenti kamayadi. Bu jarayon reostatning tutqichi 5- kontakt bilan ulangunga qadar davom etadi va bundan keyin



4.7- rasm. Avtomatlashtirilgan elektr yuritmada parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorini ishga tushirish.

elektr motor yakor toki I_a va aylanish chastotasi n bo'lgan barqaror ish rejimida ishlaydi.

Elektr motorni tarmoqdan uzishda yakor tokini kamaytirish maqsadida reostat tutqichini kintakt 5 dan kontakt 0 ga qadar birin-ketin ko'chirib, uzgich yordamida elektr motor tarmoqdan uziladi.

Ishga tushirish vositalari, odatda, ishga tushirish tokining maksimal qiymati qisqa vaqt ichida o'tishiga mo'ljallangan, shu sababli ularni elektr motorning normal ish jarayonidagi aylanish chastotasidan rostlash maqsadida foydalanib bo'lmaydi.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritmada elektr motorni ishga tushirish uchun bir necha pog'onaga bo'lingan qarshiliklar (R_1, R_2, R_3) dan foydalaniladi (4.7- rasm), bunda ishga tushirish kontaktlar K_1, K_2 , va K_3 vositasida amalga oshiriladi. Buning uchun ular qisqa tutashtiriladi, ya'ni shuntlanadi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorni ishga tushirish parallel qo'zg'atishli motordagi kabi ishga tushirish reostati vositasida amalga oshiriladi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorda ishga tushirish momenti parallel qo'zg'atishlinikiga nisbatan katta bo'ladi. Bu momentning katta bo'lishiga sabab, yakor chulg'amidan o'tuvchi ishga tushirish tokining oshishi bilan bir vaqtda bu chulg'amga ketma-ket ulangan qo'zg'atish chulg'amining magnit oqimi ham oshadi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning bu xossasi ayrim elektr yuritmalar, yuk ko'taradigan moslamalar, tortish qurilmalari va boshqalarda katta ahamiyatga ega.

(4.4) tenglamadan ko'rinib turibdiki, ketma-ket qo'zg'atishli motor mexanik jihatdan zararli bo'lgan, haddan tashqari katta

aylanish chastotasini hosil qilar ekan. Aralash qo'zg'atishli motorning parallel va ketma-ket qo'zg'atishli chulg'amlari mos holda ulanganda, ya'ni ularning MYK lari qo'shilsa, bu motor xuddi parallel qo'zg'atishli motordek ishga tushiriladi. Agar ikkala qo'zg'atish chulg'ami o'zaro teskari ulangan bo'lsa, unda hatto ketma-ket qo'zg'atish chulg'aming MYK parallel qo'zg'atish chulg'ami MYK ga nisbatan kuchsiz namoyon bo'lsa ham, qo'zg'atish oqimi $\Phi_{qo'z}$ ni ancha kamaytirishi mumkin, oqibatda elektr motorni ishga tushirish qiyinlashadi. Buning oldini olish maqsadida elektr motorlarning ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami ishga tushirish jarayoni davomida shuntlanadi.

4.4. O'zgarmas tok motorining rostlash xarakteristikallari

(4.10) formuladan ko'rinib turibdiki, o'zgarmas tok motorining aylanish chastotasini quyidagi uchta usul bilan rostlash mumkin ekan:

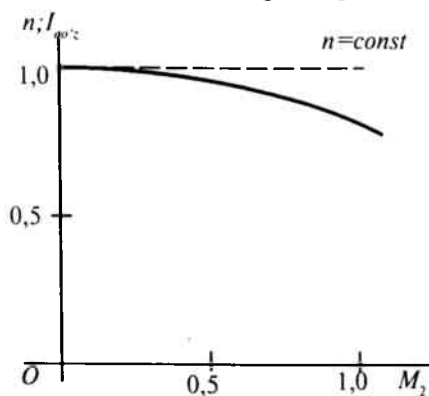
— qo'zg'atish tokini o'zgartirib, bunda shu tok hosil qilgan magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ o'zgaradi;

— yakor chulg'ami zanjiriga ulangan reostat (qarshilik) vositasida, bunda yakor toki I_a va demak, $I_a \sum r_a$ ham o'zgarib, natijada yakor chulg'amiga berilayotgan kuchlanish o'zgaradi;

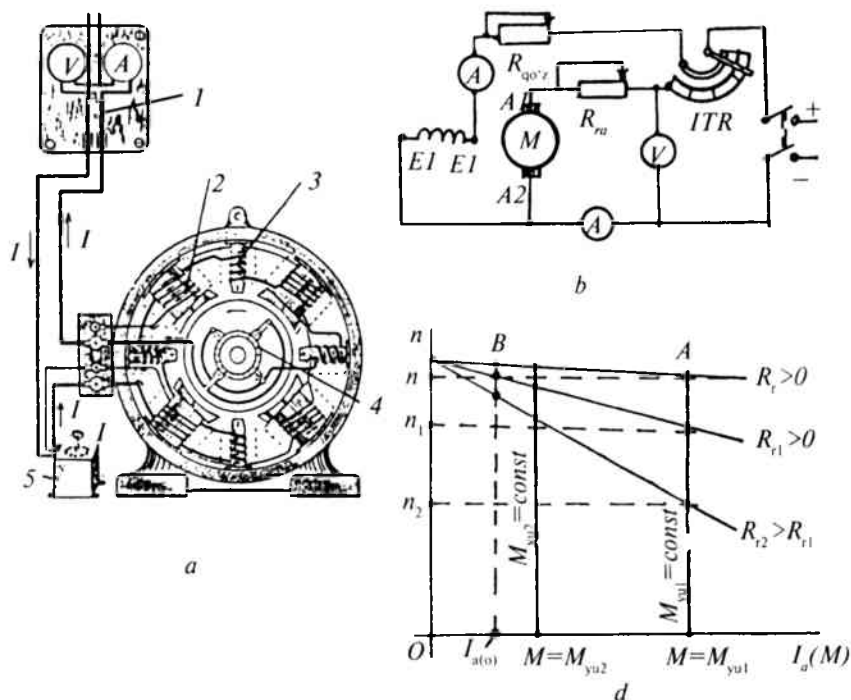
— tarmoq kuchlanishi U_1 ni o'zgartirish yo'li bilan.

$U = U_{qo'z} = \text{const}$ bo'lganda magnit oqimi kam o'zgariganligidan parallel va mustaqil qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasi ham kam o'zgaradi. Shu sababli mos ravishda elektr motorning aylanish chastotasini $n = \text{const}$ qilish uchun zarur bo'lgan qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ning o'zgarishi ham kam bo'ladi (4.8- rasm).

Elektr motorning aylanish chastotasini uning qo'zg'atish



4.8- rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning $n = n_N = \text{const}$ va $U = U_N = \text{const}$ bo'lgandagi rostlash xarakteristikasi — $I_{qo'z} = f(M_2)$.



4.9- rasm. Parallel qo'zg'atishli motorda tajriba o'tkazish qurilmasi (a); tajriba o'tkazish sxemasi (b); motorning tezlik xarakteristikalar (d): 1 — ulab-uzgich; 2 — qo'zg'atish chulg'ami; 3—qo'shimcha qutb chulg'ami; 4 — kollektor; 5 — ishga tushirish reostati.

tokini o'zgartirish yo'li bilan rostlashda energiya isroflari juda ham kam bo'ladi, sababi qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ elektr motor yakor toki (I_a) ning atigi bir necha foizini tashkil qiladi, xolos.

Shunday qilib, elektr motor aylanish chastotasini magnit oqimi Φ orqali rostlash usuli ancha qulay bo'lib, u elektr motor aylanish chastotasini bir tekis, nihoyatda sodda va tejamli o'zgartirish imkonini beradi, shu sababli bu usul amalda keng qo'llaniladi.

Parallel qo'zg'atishli motorning (4.10) tenglamaga ko'ra tezlik — $n = f(I_a)$ xarakteristikalar $U = \text{const}$, $I_{qo'z} = \text{const}$ va yakor zanjiriga ketma-ket ulangan reostat qarshiligi r_{ra} ning har xil o'zgarish qiymatlaridagi bog'liqliklar 4.9- rasmda ko'rsatilgan.

Bundan ko'rinib turibdiki, mazkur xarakteristikalar bitta nuqtadan boshlanadi va r_{ra} ning qiymati oshgan sari elektr motorning aylanish chastotasi yuklamaning oshishi bilan tez o'zgaradi.

Aylanish chastotasini rostdlashning ko'rib chiqilgan usulida yakor zanjiriga ulangan rostdlash reostatida energiya isroflari katta, shu sababli bu reosta faqat elektr mikromotorlarda qo'llaniladi.

Yakor zanjirining uchlaridagi kuchlanishni o'zgartirish yo'li bilan motorning aylanish chastotasini rostdlash uchun murakkab qurilma (generator-motor sistemasi) talab qilingani va uning narxi qimmat bo'lganligi sababli, u amalda deyarli qo'llanilmaydi.

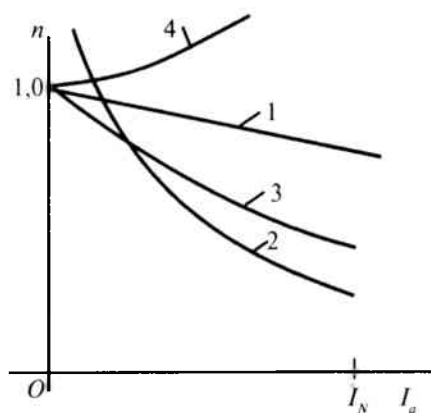
Ketma-ket qo'zg'atishli motor magnit zanjirining to'yinish darajasi kam bo'lganda, $\Phi = k_{\Phi} I_a$ ekanligini e'tiborga olib, uning aylanish chastotasini aniqlash formulasidan, ya'ni

$$n = (U_a - I_a \sum r_a) / (C_E k_{\Phi}) \quad (4.16)$$

tenglamadan ko'rinishicha, ketma-ket qo'zg'atishli motor aylanish chastotasini rostdlash quyidagi usullar bilan amalga oshiriladi:

- yakor zanjiriga ketma-ket ulangan reostat yordamida;
- qo'zg'atish chulg'amini shuntlab, ya'ni bu chulg'amga qarshilikni parallel ulash orqali;
- yakor chulg'amini shuntlash yo'li bilan.

Rostlashning 1- usulida energiya isroflari ko'p bo'lganligi tufayli amalda kam qo'llaniladi. Keyingi ikkita usulda esa elektr motor aylanish chastotasi asosiy magnit oqimini o'zgartirish yo'li bilan rostdlanadi.



4.10- rasm. Har xil qo'zg'atishli motorlarning $n=f(I_a)$ — tezlik xarakteristikallari:

1—parallel; 2—ketma-ket; 3—mos ulangan aralash; 4—teskari ulangan aralash.

Yakor chulg'ami qarshilik bilan shuntlansa, yakor toki I_a kamayadi, chunki yuklama tokining bir qismi shunt orqali o'tadi. Elektr motorning tarmoqdan iste'mol qilayotgan quvvati oshadi, foydali quvvati esa kamayadi.

Yuqorda aytganimizdek, qo'zg'atish chulg'amiga reostatni parallel ulash (shuntlash) yo'li bilan elektr motorning aylanish chastotasini rostdlashda qo'zg'atish tokining bir qismi shunt orqali o'tadi. Shu sababli qo'zg'atish oqimi $\Phi_{qo'z}$ kamayadi, elektr motorning aylanish chastotasi n oshadi.

Qo'zg'atish chulg'amiga reostatni parallel ulash yo'li bilan rostlash usuli ketma-ket qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasini oshirishga imkon berib, tejamlidir. Bu usul ko'pincha tortish elektr motorlarida ishlatiladi.

Aralash qo'zg'atishli motorning qo'zg'atish chulg'amlari moslab ulangan (MYK lar bir xil yo'nalgan)da aralash qo'zg'atishli motorning tezlik xarakteristikalari, parallel va ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning tezlik xarakteristikalari oralig'ida joylashadi (4.10- rasm).

4.5. O'zgarmas tok motorlarini tormozlash

Elektr motorni qisqa vaqt ichida mutlaq to'xtatish va uning aylanish yo'nalishini o'zgartirish (revers qilish) kerak bo'lganda, xavfli vaziyatlarda va shunga o'xshash holatlarda uni tormozlash zaruriyati tug'iladi. Elektr usulda tormozlash uchun elektr motorni generator rejimiga o'tkaziladi. Bunda yakorning aylanish yo'nalishiga teskari bo'lgan elektromagnit moment, ya'ni tormozlash momenti hosil bo'ladi.

Elektr tormozlash usuli: dinamik, rekuperativ (energiyani tarmoqqa qaytarish yo'li bilan tormozlash va teskari ulash yo'li bilan tormozlashga bo'linadi. Dinamik tormozlashda elektr mashinasi tarmoqqa ulanmagan generator sifatida, rekuperativ tormozlashda elektr tarmog'i bilan parallel ishlayotgan generator sifatida, teskari ulash yo'li bilan tormozlashda esa, tarmoqqa ketma-ket ulangan generator sifatida ishlaydi.

Parallel qo'zg'atishli motorni dinamik tormozlashda uning yakorini tarmoqdan uzgandan keyin yuklama qarshilik (reostat)ga ulanadi. Qo'zg'atish chulg'ami tormozlash jarayoni davomida tarmoqqa ulangan holda qoladi. Mashina, agregatda to'plangan kinetik energiya tufayli, mustaqil qo'zg'atishli generator sifatida ishlay boshlaydi va uning chulg'amida yo'nalish, xuddi elektr motoriniki singari teskari EYK hosil bo'ladi.

Elektr motor sifatida ishlagandagi yakor toki quyidagiga teng edi: $I_a = (U - E_a) / \Sigma r_a$, lekin yakorni tarmoqdan uzganda ($U = 0$) va uni yuklama qarshiligi r_a ga ulagandan keyingi (bu qarshilik tok kuchini cheklash uchun ulanadi) tokning qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_a = -E/(\Sigma r_a + r_{r.a}) = -C_E \Phi n / (\Sigma r_a + r_{r.a}). \quad (4.17)$$

Tok I_a ning yo'nalishi o'zgarganligi sababli momentning yo'nalishi ham o'zgaradi, ya'ni u tormozlash momenti bo'ladi.

Rekuperativ (generator)li tormozlash quyidagicha tushuntiriladi. Masalan, yuk krani parallel qo'zg'atishli motor bilan yuritilganda pastga tushirilayotgan yuk tufayli elektr motorning aylanish chastotasi n uning salt ishlashdagi aylanish chastotasi n_0 dan ham oshishi mumkin. Bunda yakor chulg'amida hosil bo'lgan EYK $E_a > U_T$ bo'ladi va, demak, tok $I_a = (U - E_a) / \Sigma r_a$, o'zining ishorasini teskariga o'zgartiradi. Bunga mos ravishda elektromagnit momentning ishorasi ham o'zgaradi, ya'ni elektr mashinasi generator sifatida elektr tarmog'i bilan parallel ishlay boshlaydi. Bunda, generatorning aylanayotgan qismlarida to'plangan kinetik energiya elektr energiyaga aylanib, elektr tarmog'iga qaytariladi (rekuperatsiyalanadi). Xuddi shunday rejim transport vositalarining (elektr poyezd, trolleybus, tramvay va boshqalar) qiyalikdan pastga qarab qilgan harakatida bo'ladi.

Elektr motorni generator rejimiga o'tib tormozlash boshqa tormozlash usullariga nisbatan eng tejimli hisoblanadi, chunki bunda energiya yo'qolmaydi (dinamik tormozlashda esa energiya isrof bo'ladi).

Teskari ulash yo'li bilan tormozlash elektr motor chulg'amining ulanishi aylanishning bir yo'nalishiga to'g'ri kelib, yakor esa tashqi yuklamaning tormozlovchi momenti yoki inersiya kuchli ta'siri ostida qarama-qarshi yo'nalishda aylanganda sodir bo'ladi.

Bunday rejim ikki usulda: ish mexanizmini elektr mashinaning aylantiruvchi momenti ta'sirida o'z yo'nalishidan teskari tomonga aylantirish va elektr motor yakor chulg'ami tokining yo'nalishini o'zgartirish yo'li bilan elektr motorning aylanish yo'nalishini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi.

Teskari ulash yo'li bilan tormozlash usuli motorni reverslashda (yakorning aylanishi, yo'nalishini o'zgartirish jarayonida) vujudga keladi, bu hol elektr motorni qisqa vaqt ichida tormozlashda (masalan, kranning surilib yuruvchi qismi — telejkasida) ro'y beradi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorlar uchun elektr tormozlashning ikki: dinamik va teskari ulash usuli mavjud. Bu motorlarda

rekuperativli (generatorli) tormozlashni qo'llashning iloji yo'q, chunki bunda faqat $E_a > U$ bo'lsagina tormozlash mumkin bo'ladi. Bunday elektr motorlar uchun aylanish chastota n ning qiymati hamma vaqt n_0 dan kichik ($n < n_0$). Demak, EYK E_a elektr motorga berilgan kuchlanish U dan katta bo'lishining imkoni yo'q.

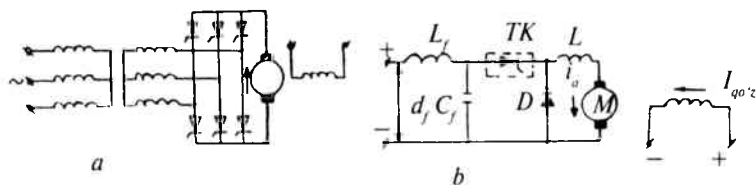
Aralash qo'zg'atishli motorlar ko'proq parallel qo'zg'atish chulg'amida dinamik tormozlanadi (ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami shuntlanadi), chunki bunda energiya ancha tejaladi.

4.6. O'zgaras tok motorlari aylanish chastotasini rostlashning zamonaviy usullari

Avtomatlashtirish jarayonining murakkabligi, tuzatish va ishlatishga sarf-xarajatlarning kattaligi sababli hozirgi vaqtda „reostat-kontaktorli“ boshqarish o'z o'rnini asta-sekin takomillashtirilgan boshqarish sistemalariga bo'shatib bermoqda.

Hozirgi vaqtda G—M sistemasi o'rniga „boshqariladigan to'g'rilagich — motor (BT—M)“ sistemasini qo'llash ancha qulay, bunda G—M sistemasidagi generator va uning yakorini harakatga keltiradigan birlamchi elektr motor boshqariladigan to'g'rilagich (BT) bilan almashtiriladi va hosil bo'lgan sistema oldingiga nisbatan ancha sodda va tejimli bo'ladi.

Tiristorlar asosida tayyorlangan boshqariladigan to'g'rilagichda bir vaqtning o'zida ham to'g'rilash, ham to'g'rilangan kuchlanishni rostlash jarayoni amalga oshiriladi. Bu usulni amalda qo'llash natijasida hosil bo'lgan BT — M sistemasining FIK G — M sistemasinikiga nisbatan yuqori bo'ladi, qurilmaning massasi esa kamayadi.



4.11- rasm. Boshqariladigan to'g'rilagichdan ta'minlanadigan mustaqil qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasini rostlash (a), o'zgaras tok motorini impulsli rostlash (b): $d_f C_f$ —kirish filtri; TK —tiristorli kalit; D — teskari diod; L_f — induktivlik.

Bu usulning kamchiligi shundan iboratki, chiqish kuchlanishining kamaytirilgan qiymatlarida kirishdagi quvvat koeffitsiyenti $\cos\phi$ pasayadi. Undan tashqari, kuchlanishning pulslanishi oqibatida tok pulslanadi va elektr motorning ishi yomonlashadi, quvvat isrofi oshadi, kommutatsiya jarayoni yomonlashadi va hokazo. Ayniqsa, to'g'rilagich bir fazali tok tarmog'idan ta'minlansa, tokning pulslanishi katta bo'ladi. Shunga qaramasdan, boshqa qator afzalliklari tufayli hozirgi vaqtda *elektr* motorning aylanish chastotasini BT—M sistemasi bo'yicha rostlash amalda keng qo'llaniladi.

Bunda elektr motorga impulsli uzgich vositasida ma'lum chastotali davriy kuchlanish impulsarlari beriladi.

Impulsli rostlash sxemasining ishlash tartibi (4.11- rasm, *b* da) tasvirlangan. Vaqtning τ davrida, ya'ni elektron kalit (TK) yopiq paytda kuchlanishning to'la qiymati elektr motorning yakor chulg'amiga uzatiladi, bunda yakor tokining oniy qiymati oshadi, elektron kalit ochiq bo'lganda, yakor toki birdaniga yo'q bo'lib qolmaydi, balki yakor zanjirining $(L_a + L)$ induktivliklarida to'plangan elektromagnit energiya ta'sirida yakor zanjiri va teskari diod D orqali o'tadi va tok I_a ning qiymati kamayadi.

Yakor tokining o'zgarish egri chizig'ini tekislash maqsadida uning zanjiriga filtr $(L_f S_f)$ ulanadi. Bunda yakor zanjirining uchlaridagi kuchlanish amaliy jihatdan o'zgarmas bo'lib qoladi.

Yakor chulg'amiga beriladigan kuchlanishning o'rtacha qiymati

$$U_a = U_{o.n} = U \cdot \tau / T = \alpha \cdot U, \quad (4.16)$$

bunda $\alpha = \tau / T$ — kuchlanishni rostlash koeffitsiyenti (bu koeffitsiyent elektron kalit TK ning nisbiy ulanish davomiyligiga teng).

Elektr motorning aylanish chastotasi

$$n = (\alpha U - I_a \Sigma r_a) / (C_E \Phi), \quad (4.17)$$

bunda $I_a = I_{o.n}$ — yakor tokining o'rtacha qiymati.

Elektr motorga beriladigan kuchlanishning o'rtacha qiymati $U_{o.n}$ chastota-impulsli rostlash yoki impuls kengligini o'zgartirish yo'li bilan rostlanadi. Qurama rostlashdan ham foydalaniladi, bunda ham davr T , ham vaqt τ birga o'zgartiriladi.

Shunday qilib, impulsli usulda elektr motor aylanish chastotasi n kuchlanishi o'zgarmas bo'lgan manbadan ta'minlanib, uning yakor zanjiri reostatsiz bo'lsa ham keng chegarada rostlash imkonini beradi, bunda qo'shimcha isroflar deyarli bo'lmaydi.



Nazorat savollari

1. Ishga tushirish reostatining ahamiyati nimadan iborat?
 2. Parallel qo'zg'atishli motorni ishga tushirish jarayonini so'zlab bering.
 3. Nima uchun ketma-ket qo'zg'atishli motorni yuklamasiz ishga tushirib bo'lmaydi?
 4. O'zgarmas tok motorlarining turg'un ishlash shartlari nimalardan iborat?
 5. Aralash qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikalar nima uchun tez o'zgaradi?
 6. O'zgarmas tok motorining aylanish chastotasini qanday usullar bilan rostlash mumkin va ulardan eng tejamligi qaysinisi?
 7. O'zgarmas tok motorlari aylanish chastotasini rostlashning zamonaviy usullari xususida nimalarni bilasiz?
-

Maxsus maqsadli o'zgarmas tok mashinalarining unipolar (qutblari bir nomli) va magnitogidrodinamik (MGD) turlari mavjud bo'lib, ular tor sohalar uchun mo'ljallangan. Shuni e'tiborga olib, maxsus maqsadli o'zgarmas tok mashinalarining amalda keng qo'llaniladigan hamda istiqbolli ayrim turlari bilan tanishamiz.

5.1. O'zgarmas tok taxogeneratorlari

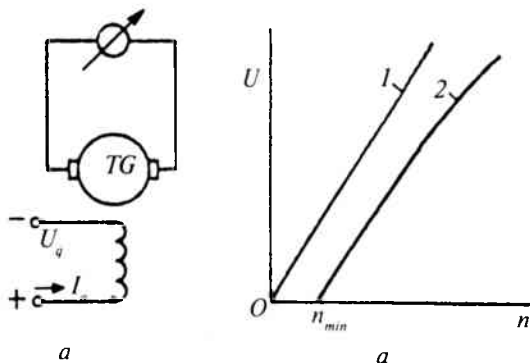
O'zgarmas tok taxogeneratorlari konstruksiyasi va ishlash prinsipi bo'yicha mustaqil elektromagnit qo'zg'atishli yoki qo'zg'atish maydoni doimiy magnit bilan hosil qilinadigan kam quvvatli kollektorli o'zgarmas tok mashinalaridir (5.1- rasm).

Ular chiqish klemmlaridagi kuchlanish kattaligiga qarab aylanish chastotasini o'lchash hamda avtomatik nazorat qilish va rostlash sxemalarida valning aylanish chastotasiga mutanosib bo'lgan elektr signallari olish uchun xizmat qiladi.

Qo'zg'atish toki o'zgarmas, ya'ni magnit oqimi $\Phi = \text{const}$ bo'lganda taxogeneratorning chiqish klemmlaridagi EYK E_{chiq} aylanish chastotasi n ga to'g'ri mutanosib ravishda o'zgaradi:

$$E_{\text{chiq}} = C_E \Phi n \quad (5.1)$$

Bu formula magnit oqimi $\Phi = \text{const}$ bo'lgan doimiy magnitlar bilan qo'zg'atiladigan taxogeneratorlarga ham to'g'ri keladi.



5.1- rasm. O'zgarmas tok taxogeneratori (a) ning to'g'ri chiziqli (1) va egri chiziqli (2) chiqish xarakteristikallari (b)

Taxogeneratorning chiqish kuchlanishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$U = E_a - I_a \Sigma r_a = E_a - U (\Sigma r_a / R_{yu}), \quad (5.2)$$

bunda R_{yu} — yuklama (elektr o'lchash asbobining) qarshiligi.

Birorta mexanizmning aylanish chastotasini o'lchash uchun taxogenerator vali mexanizm vali bilan mexanik ravishda birlashtiriladi.

Taxogeneratorning chiqish xarakteristikasi $\Phi = \text{const}$ va $\Sigma r_a = \text{const}$ bo'lganda olinadi hamda ishining aniqlik darajasi mazkur xarakteristikaning to'g'ri chiziqli o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Lekin, amalda chiqish xarakteristikasi — $U_{\text{chiq}} = f(n)$ yakor reaksiyasi va cho'tkalar kontaktida bo'ladigan kuchlanish tushishi tufayli to'g'ri chiziqli bo'lmaydi, bundan tashqari, cho'tka kontaktidagi kuchlanish tushishi sababli u koordinata o'qlari boshidan chiqmay, n_{min} aylanish chastotadan keyingina $U_{\text{chiq}} > 0$ bo'ladi.

Qarshiligi katta bo'lgan o'lchov asboblardan foydalanib, chiqish xarakteristikasining o'zgarishi to'g'ri chiziqchiga yaqinlashtirilganda taxogeneratorning aniqlik darajasi oshadi.

Zamonaviy o'zgarmas tok taxogeneratorlari chiqish xarakteristikalarining tikligi $S = 3 \div 100 \text{ mV}/(\text{ayl}/\text{min})$ bo'ladi.

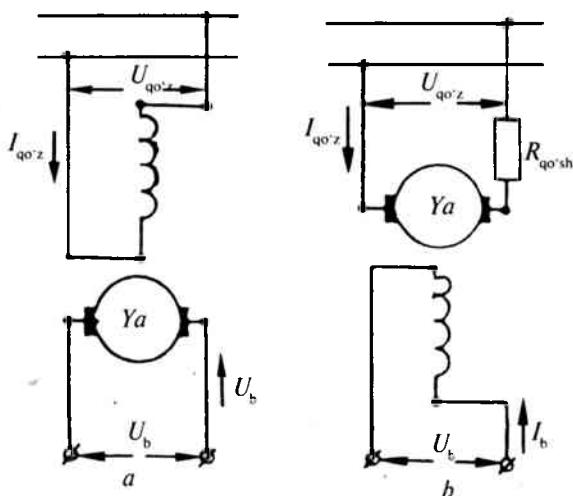
Aylanish chastotasi $n=0$ dan n_{min} gacha oshganda $U_{\text{chiq}}=0$ bo'lgan oraliq *nosezgir zona* deyiladi va uning chegarasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n_{\text{min}} = U_{\text{ch}} / (C_E \Phi). \quad (5.3)$$

Asosiy magnit maydoni doimiy magnit bilan hosil qilinadigan o'zgarmas tok taxogeneratorlari mustaqil o'zgarmas tok manbayini talab qilmaganligi, konstruksiyasining oddiyligi va ixchamligi tufayli amalda keng qo'llaniladi.

5.2. Ijrochi o'zgarmas tok motorlari

Ijrochi elektr motorlar elektr signallarni mexanik harakatga (siljishga) aylantirib berish uchun mo'ljallangan. Bunday motorlar kam inersiyali, ya'ni boshqarish elektr motori signallarini juda tez mexanik harakatga o'zgartirib bera olishi lozim. An'anaviy konstruksiyali o'zgarmas tok motorlarida yakor o'zagining mavjudligi yakorning inersiya momentini ancha oshiradi. Shu sababli ijrochi o'zgarmas tok motorlari pazzsiz yakorli va yakori bosma chulg'amli qilib tayyorlanadi.



5.2- rasm. Ijrochi o'zgarmas tok motorlari: (a)— yakordan boshqariladigan, (b) — qutbdan boshqariladigan.

Ijrochi, shu jumladan, ijrochi o'zgarmas tok motorlariga umumiy maqsadli elektr motorlarga qo'yiladigan talablardan tashqari, boshqarish signalining uzilishi bilan o'z harakatini tezda to'xtata olish hamda inersiyasining kamligi kabi maxsus talablar ham qo'yiladi.

Elektromagnit qo'zg'atishli ijrochi o'zgarmas tok motorlarining ikkita chulg'ami bo'lib, ulardan bittasi elektr tarmog'iga doimiy ulanib, u qo'zg'atish chulg'ami deyiladi. Valning aylanishi zarur bo'lganda ikkinchi chulg'amga, ya'ni boshqarish chulg'amiga elektr signal beriladi.

Ijrochi motorlarning magnit zanjiri to'yinmagan bo'ladi, shu sababli ularning ish xarakteristikalariga yakor reaksiyasi deyarli ta'sir qilmaydi.

Mustaqil qo'zg'atishli ijrochi motorlarni yakordan va qutbdan boshqarish mumkin. Xarakteristikalari chiziqli bo'lganligi va elektr signali uzilganda yakor tezda to'xtash xossasiga egaligi kabi afzalliklari tufayli yakordan boshqariladigan ijrochi o'zgarmas tok motorlari amalda keng qo'llaniladi.

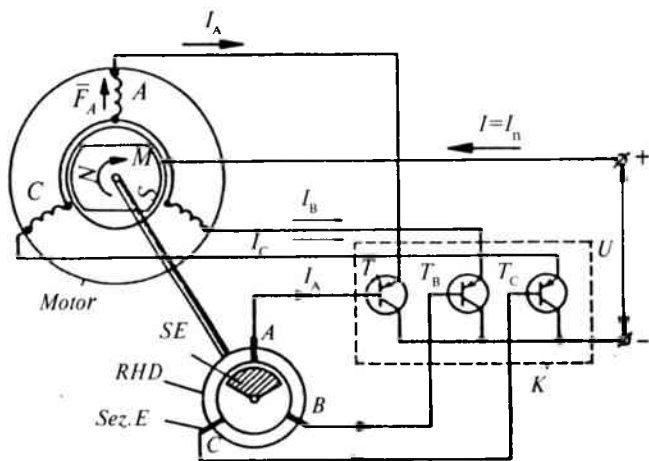
Bunday motorlarda qo'zg'atish chulg'ami motorning butun ish jarayonida elektr tarmog'iga ulangan bo'ladi. Yakor chulg'ami esa *boshqarish chulg'ami* deyiladi. Bu chulg'amga boshqarish signali berilganda yakor chulg'amidan o'tadigan tok qo'zg'atish chulg'ami magnit maydoni bilan ta'sirlashib aylantiruvchi moment hosil qilishi natijasida yakor aylanadi.

Ichi kovak yakorning inersiya momenti odatdagi yakornikidan ancha kam. Shu afzalligi tufayli tez ishlaydi. Qo'zg'atish chulg'ami joylashgan o'zak (tashqi stator) va qo'zg'almas ferromagnit o'zak (ichki stator) orasida katta nomagnit oraliq mavjudligidan magnit qarshilik nisbatan katta bo'ladi. Zarur magnit maydon hosil qilish uchun qo'zg'atish MYK ni ancha oshirish zarurligi (demak, motor o'lchamlarining nisbatan oshishi) ularning kamchiligi hisoblanadi.

5.3. Kontaktsiz o'zgarmas tok motorlari

Ma'lumki, odatdagi o'zgarmas tok motorlarining asosiy kamchiligi cho'tka-kollektor qurilmasi ishonchliligining kamligidir. O'zgarmas tok motorlarining ish xossalarini yaxshilash maqsadida ularning cho'tka-kollektor qurilmasi yarim o'tkazgichli kommutator (invertor) bilan almashtirilgan. Bu kommutator kontaktsiz rotorning datchigidan kiradigan signallar orqali boshqariladi. Motorning ishchi, ya'ni bir-biridan fazoda 120° siljigan va yulduz usulida ulangan A , B va C chulg'amlari stator po'lat o'zagi pazlarida joylashtirilgan, rotor esa doimiy magnitdan yasalgan (5.3- rasm).

Birorta mexanizmni harakatga keltirayotgan motorning vali rotorning holat datchigi (RHD) bilan mexanik ravishda birlashtirilgan. RHD ning rotorida signal elementi (SE), statorida esa sezgir element (Sez.E) o'rnatiladi. Bundan keladigan signal kommutator bloki (KB)ga kiradi. Yakor chulg'ami seksiyalari o'zgarmas tok manbayiga KB elementlari orqali ulanadi.



5.3- rasm. Kontaktsiz o'zgarmas tok motorining prinsipial sxemasi.

RHD ning vazifasi doimiy magnit qutblarining yakor chulg'ami seksiyalariga nisbatan tutgan holatiga mos holda boshqarish signalini KB ga uzatishdan iborat. RHD ning sezgir elementi sifatida, asosan, Xoll EYK datchigi qo'llaniladi. Bu datchikning chiqishidagi signal zanjirdagi tokning yo'nalishi va qo'zg'atish chulg'ami magnit maydonning yo'nalishiga mutanosib ravishda o'zgaradi.

Statik kommutator RHD dan boshqarish signalini olib motorning yakor chulg'amida toklarning o'zgarishini vujudga keltiradi. Kommutator (K) uchta, ya'ni har bir fazoviy chulg'am uchun bittadan T_A , T_B , T_C tranzistordan iborat bo'lib, ular stator chulg'amlari A , B , C ga ketma-ket ulangan. Tranzistorlarga beriladigan boshqarish signallari Sez.E ning holatiga qarab ishlab chiqiladi.

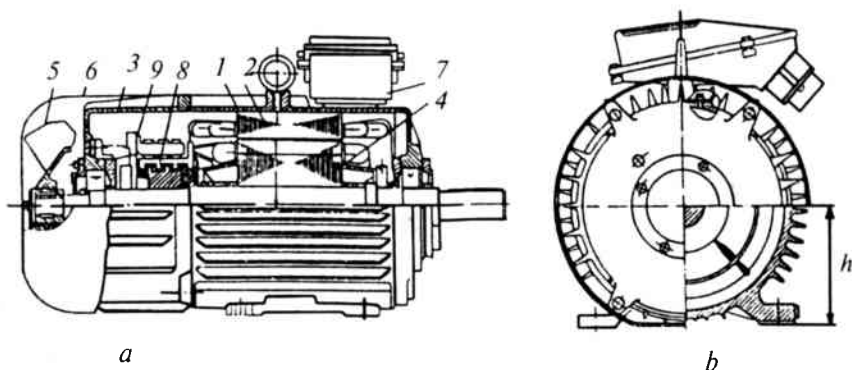
Tranzistorlar kalit rejimida ishlaydi, ya'ni ikkita yopiq yoki ochiq turg'un holatga ega. Birinchisi signal yo'q vaqtga, ikkinchisi esa signal berilgan vaqtga to'g'ri keladi. 5.3- rasmda Sez. E statorining A fazaga mos kelgan holati ko'rsatilgan. Bunda T_A ochiq, ya'ni A fazadan I_A tok o'tadi, T_B va T_C lar esa yopiq bo'ladi. I_A tok rotorning doimiy magnit maydoni bilan ta'sirlashib, aylantiruvchi moment M ni hosil qiladi. Natijada, rotor RHD bilan soat strelkasining aylanishi yo'nalishida aylana boshlaydi. Biroz vaqtdan keyin Sez.E birdaniga ikkita fazaga ta'sir eta boshlaydi, so'ngra B fazasi ishlaydi va hokazo. Kontaktsiz o'zgarmas tok motorlari shu tarzda ishlaydi.

Kontaktsiz o'zgarmas tok motorlari odatdagi o'zgarmas tok motorlarining ijobiy sifatlarini saqlagan holda, ularda cho'tka—kollektor qismining yo'qligi ularning afzalligi hisoblanadi. Motor, RHD va kommutatordan iborat konstruksiyaning murakkabligi va narxining qimmatligi kontaktsiz o'zgarmas tok motorlarining kamchiligi hisoblanadi.

5.4. O'zgarmas tok mashinalarining zamonaviy turlari

MDH hududida (asosan, Rossiyada) umumiy maqsadli o'zgarmas tok mashinalarining $2P$ va $4P$ seriyalari, kran-metal-lurgiya motorlari hamda maxsus maqsadli seriyalari ishlab chiqariladi.

O'zgarmas tok mashinasining yangi $4P$ seriyadagi mashinalarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yaxshilangan va uning ayrim qism va detallari $4A$ seriyadagi asinxron motorlarniki bilan bir xillashtirilgan, ya'ni unifikatsiya qilingan (5.4- rasm). Stator va yakor magnit o'tkazgichlari yupqa elektrotexnik plastinkalardan yig'iladi. Mazkur seriyadagi qator mashinalarning statori asinxron



5.4- rasm. 4PO seriyali o'zgarmas tok motorining bo'ylama (a) va ko'ndalang qirgimlari (b):

1 — korpus; 2 — stator magnit o'tkazgichi; 3 — old podshipnikli qalqon; 4 — yakor po'lat o'zagi; 5 — ventilator; 6 — himoya qoplamasi (kojux); 7 — chulg'am uchlari chiqarilgan quticha; 8 — kollektor; 9 — cho'tkatutqich; h — aylanish o'qi balandligi.

motorlarnikiga o'xshab noayon qutblidir. Qo'zg'atish va kompensatsiyalovchi chulg'amlar pazlarda bir tekis taqsimlangan. Asinxron motorlardan ishlab chiqarishda keng foydalanish maqsadida stator shunday konstruksiyada bajarilgan.

2P seriyali motorlar mustaqil qo'zg'atishli bo'lib, qisqa muddatga o'ta katta yuklanishni ta'minlaydigan kompensatsiyalovchi chulg'amga ega. Ularning aylanish chastotasini keng ko'lamda o'zgartirish mumkin.

Metallurgiya, yuk ko'tarish kranlari, ekskavator va boshqa elektr yuritmalar uchun ishlab chiqarilayotgan D seriyali motorlarning inersiya momenti nisbatan kichik bo'lib, ularning aylanish chastotasini keng ko'lamda ($n_{\max} = 3n_N$ gacha) rostlash mumkin.



Nazorat savollari

1. Nima uchun taxogeneratorning chiqish xarakteristikasi to'g'ri chiziqlidan farq qiladi?
2. O'zgarmas tok ijrochi motorlarini qanday qilib tejamli boshqarish mumkin?
3. Kontaktsiz o'zgarmas tok motorining ishlash prinsipini tushuntirib bering.

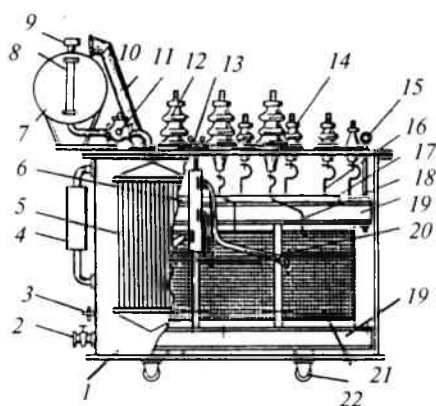
6.1. Transformatorlarga oid umumiy ma'lumotlar

O'zgaruvchan tok kuchlanishining qiymatini o'zgartirib beruvchi statik elektromagnit apparat *transformator* deyiladi.

Elektr energiyaning ma'lum quvvati ($S = \sqrt{3} UI$) ni iste'molchiga uzatishda transformator yordamida kuchlanish U qanchaga oshirilsa, tok kuchi I shuncha marta kamayadi, demak, elektr uzatish liniyasidagi elektr isroflar keskin kamayadi.

Umumiy maqsadli kuch transformatorlari, asosan, elektr energiyani uzatish va taqsimlash sistemalarida ishlatiladi. O'zbekistonning katta quvvatli elektr stansiyalarida nominal kuchlanishi 500 va 220 kV bo'lgan kuch transformatorlari bo'lib, ular elektr energiya kuchlanishini oshirib elektr uzatish liniyalari orqali markaziy va mintaqaviy podstansiyalarga uzatib beradi.

Elektr uzatish liniyasi juda uzun va uzatilayotgan quvvat qancha katta bo'lsa, texnik-iqtisodiy jihatdan asoslangan kuchlanish shuncha yuqori bo'ladi. O'zgaruvchan tok iste'molchilarining ko'pchiligi 220, 380 va 660 V, ayrimlari esa 3,3; 6; 10 kV li kuchlanishda ishlaydi. Shuning uchun o'zgaruvchan tok kuchlanishini kuch transformatorlari orqali ular uchun zarur bo'lgan kuchlanishgacha pasaytirib



6.1- rasm. Kuchlanishi 35 kV, quvvati 1000 ÷ 6300 kV·A bo'lgan pasaytiruvchi kuch transformatori:

1 — bak; 2 — moy uchun ventil; 3 — yerga ulash uchun qistirma; 4 — termosifonli filtr; 5 — radiator; 6 — kuchlanishni rostlagich; 7 — kengaytirgich; 8 — moy ko'rsatkich; 9 — havo quritgich; 10 — chiqaruvchi (saqlovchi) truba; 11 — gaz relesi; 12 — yuqori kuchlanishli (YK) chulg'am izolatori; 13 — qayta ulagich dastasi; 14 — past kuchlanishli (PK) chulg'am izolatori; 15 — transformatorni ko'tarish uchun ilgich;

16 — PK chulg'amini izolator bilan bog'lovchi o'tkazgich; 17 — magnit o'tkazgich; 18 — YK chulg'amini izolator bilan bog'lovchi o'tkazgich; 19 — yuqorigi va pastki yarmo balkalari; 20 — YK chulg'amini rostlash tarmog'ining simlari; 21 — YK chulg'ami (uning ichida PK chulg'ami); 22 — aravacha g'ildiragi.

beriladi. 6.1- rasmda kuchlanishi 35 kV, quvvati 1000 +6300 kV·A bo'lgan pasaytiruvchi kuch transformatori tasvirlangan.

O'zbekistonda kuch transformatorlari, ayrim maxsus transformatorlar (Chirchiq transformatorsozlik zavodida) ishlab chiqariladi.

Transformatorlarning tasnifi. Bajaradigan vazifasiga ko'ra transformatorlar quyidagi turlarga bo'linadi:

- kuch transformatorlari;
- maxsus transformatorlar.

Kuch transformatorlari, o'z navbatida, umumiy maqsadli va sohaviy transformatorlarga bo'linadi.

Elektr energiyani tejamli uzatish va iste'molchilarga taqsimlash sistemasining asosiy tarkibini umumiy maqsadli uch fazali, ikki va uch chulg'amli kuch transformatorlari hamda avtotransformatorlar tashkil qiladi. O'ta yuqori va yuqori kuchlanishli, katta quvvatli transformatorlarni transportda tashish va ularni ishlatishga qo'yiladigan talablardan kelib chiqqan holda, uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar o'rniga teng quvvatli, bir fazali, ikki chulg'amli kuch transformatorlarini ma'lum sxema bo'yicha ulab ishlatiladigan guruhli transformatorlar ham elektr energiyani tejamli uzatish sistemasiga kiradi.

Elektr energiyani uzatish, qabul qilish hamda ishlatishga mo'ljallangan, elektr tarmoqlari va uskunalarida elektr energiyani o'zgartirish (kuchlanishni oshirish yoki kamaytirish) vazifasini bajaradigan transformatorlar *kuch transformatorlari* deyiladi. Bu toifaga: quvvati 6,3 kV·A va undan katta bo'lgan uch va ko'p fazali (fazalar soni uchdan ko'p) transformatorlar hamda quvvati 5 kV·A va undan katta bo'lgan bir fazali transformatorlar kiradi.

Normal sharoitda ishlaydigan elektr tarmog'iga ulash uchun yoxud maxsus ish sharoiti, yuklamaning xarakteri yoki ish rejimi bilan farq qilmaydigan iste'molchilarni elektr energiya bilan bevosita ta'minlash uchun ishlab chiqarilgan transformatorlar *umumiy maqsadli kuch transformatorlari* deyiladi.

Fazalar soniga ko'ra bir, uch va ko'p fazali transformatorlar bo'ladi.

Elektr jihatdan o'zaro ulanmagan, ikkita (yuqori va past kuchlanishli) chulg'am bilan ta'minlangan transformator *ikki chulg'amli transformator* deyiladi.

Agar transformator (avtotransformator)ning har fazasida uchta [yuqori kuchlanishli (YK), o'rtacha kuchlanishli (O'K) va past kuchlanishli (PK)] elektr jihatdan ulanmagan (avtotransforma-

torlarda YK va O'K chulg'amlari elektr jihatdan ulangan) chulg'am bo'lsa, bunday transformator uch chulg'amli transformator deyiladi.

Elektr jihatdan ulangan elektr energiyaning bir qismi birlamchi tarmoqdan ikkinchisiga uzatilib, boshqa qismi esa magnit maydon orqali uzatiladigan transformatorning o'ziga xos ko'rinishi *avtotransformator* deyiladi.

Transformator (avtotransformator)ning elektr energiya manbayiga ulangan chulg'ami uning birlamchi, iste'molchiga ulanadigan chulg'amni esakikilamchi chulg'am deyiladi.

(Izoh: uch chulg'amli transformatorlarda ikkita ikkilamchi chulg'am bo'ladi.)

Agar transformator birlamchi chulg'aming nominal kuchlanishi ikkilamchi chulg'am nominal kuchlanishidan kichik ($U_{1N} < U_{2N}$) bo'lsa, *oshiruvchi*, katta ($U_{1N} > U_{2N}$) bo'lganda esa — *pasaytiruvchi* transformator deyiladi.

Nominal quvvat va kuchlanishiga qarab, kuch transformatorlari (avtotransformatorlar)ning o'lchamlari 6.1- jadvalda keltirilgan.

6.1- j a d v a l

Kuch transformatorlari va avtotransformatorlarning o'lchamlari (gabaritlari)

O'lchamni bildiruvchi raqamlar	Kuch transformatorlari (avtotransformatorlar)ning standartda belgilangan qatoriga mos keluvchi quvvat va kuchlanishlari	
	Nominal quvvati (S_N), kV·A	Nominal kuchlanishi (U_N), kV
I	$S_N < 100$	$U_N \leq 35$
II	$100 \leq S_N < 1000$	$U_N \leq 35$
III	$1000 \leq S_N < 6300$	$U_N \leq 35$
IV	$S_N \geq 6300$	$U_N \leq 35$
V	$S_N < 32000$	$U_N \leq 110$
VI	$32000 \leq S_N < 80\ 000$	$U_N \leq 330$
VII	$80\ 000 \leq S_N < 200\ 000$	$U_N \leq 330$
VIII	$S_N \geq 200\ 000$	$U_N \geq 330$

Kuch transformatorlariga nisbatan qo'yiladigan talablar. Elektrotexnika sanoatida ishlab chiqarilayotgan kuch transformatorlariga quyidagi talablar qo'yiladi:

- ishda ishonchli bo'lishi;
- tejamli bo'lishi;
- isroflar me'yordan oshmasligi;
- parallel ulash shartlarini qanoatlantirishi;
- me'yordan ortiqcha qizib ketmasligi;
- kuchlanishni rostlash mumkinligi;
- transformatorni ishlatish jarayonida ayrim sabablarga ko'ra sodir bo'ladigan qisqa muddatli o'ta kuchlanishlarga va oz muddatli qisqa tutashuvlarda bo'ladigan transformatorning nominal tokidan ancha katta tok ta'siriga bardosh berishi zarur.

Transformatorning nominal kattaliklari. Transformatorlar standart talablariga mos holda texnik shartlar bo'yicha tayyorlanadi. Transformatorning ishi quyidagi nominal kattaliklar bilan tavsiflanadi va ular elektr jihozlar kataloglari hamda transformator pasportida ko'rsatilgan bo'ladi.

Ikki chulg'amli transformator uchun bitta nominal to'la quvvat $S_1 = S_2 = S_N$ (uch chulg'amli transformatorlarda har qaysi chulg'am uchun alohida, ya'ni uchta quvvat) V·A yoki kV·A da ko'rsatiladi.

Bir fazali ikki chulg'amli transformator uchun: $S_{1N} = U_{1N} \cdot I_{1N}$.

Uch fazali ikki chulg'amli transformator uchun: $S_{1N} = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = 3 U_{1Nr} I_{1Nr}$

Transformatorlarda FIK juda katta bo'lganligi uchun ikki chulg'amli transformatorlarda birlamchi (S_{1N}) va ikkilamchi (S_{2N}) chulg'am nominal quvvatlari taxminan bir xil bo'ladi, ya'ni $S_{1N} \approx S_{2N}$.

Nominal kuchlanish deganda, har bitta chulg'amning liniya kuchlanishi tushuniladi (birlamchi kuchlanish nominal U_{1N} bo'lganda $U_{2N} = U_{2(0)}$).

Transformatorning nominal toki deganda uning nominal quvvati $S_1 = S_2 = S_N$ va kuchlanishlari U_{1N} va U_{2N} bo'yicha hisoblangan birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning liniya qiymatlari tushuniladi va pasportida ko'rsatiladi.

Bulardan tashqari, transformatorlarning nominal chastotasi f_N ; fazalar soni m ; chulg'amlarining ulanish sxemasi va guruhi; qisqa tutashuv kuchlanishi $u_{qt}(\%)$; transformatorni tayyorlagan zavodning nomi; transformator tayyorlangan yil; transformator tipi; tayyorlangan transformatorning standart nomeri; sovitish usuli; og'irligi va boshqa ma'lumotlar keltiriladi.

6.2. Transformatorning magnit o'tkazgichi va chulg'amlari

Transformatorning magnit o'tkazgichi, chulg'amlararo magnit bog'lanishni kuchaytirishdan tashqari, uning chulg'amlari va yordamchi qismlarini o'rnatish hamda mahkamlash uchun konstruktiv asos vazifasini ham bajaradi.

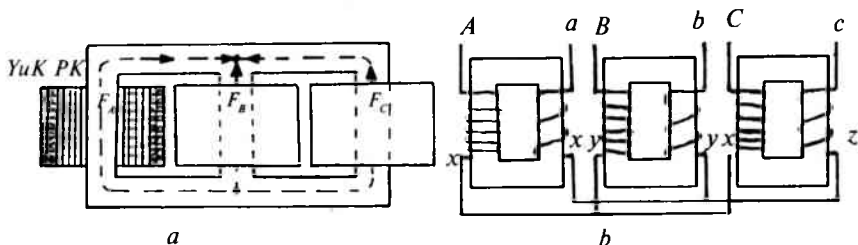
50 Hz chastotali o'zgaruvchan tok chastotasida uyurma tok tufayli bo'ladigan energiya isrofini kamaytirish maqsadida transformatorning magnit o'tkazgichlari magnit xossalari yaxshilangan, sovuqlayin jo'valangan 0,35 va 0,30 mm qalinlikdagi anizotrop po'latdan tayyorlanadi. Elektrotexnik po'lat plastinalar maxsus lok va oksid pardalar bilan qoplanib, izolatsiyalangan holda yig'iladi.

Uch fazali tok va kuchlanish, asosan, magnit o'tkazgichning sterjenlari bir tekislikda joylashgan umumiy uch fazali transformator vositasida o'zgartiriladi.

Uch fazali transformatorni tayyorlash hamda o'rnatish uchun sarflangan xarajatlar uchta bir fazali kuch transformatori uchun sarflangan xarajattan kam bo'lganligi va uch fazali transformatorning og'irligi uchta bir fazali transformatorning og'irligidan 30÷35 foizga kam hamda ishda ishonchli va unga xizmat ko'rsatish iqtisodiy jihatdan samarali bo'lganligi sababli, magnit o'tkazgichning sterjenlari bir tekislikda joylashgan uch fazali kuch transformatorlari amalda keng qo'llaniladi.

Magnit o'tkazgich sterjenlari bir tekislikda joylashgan kuch transformatori og'ir va o'lchami katta bo'lganligi uchun uni tashib keltirish va ishlatish uchun o'rnatishda texnik imkoniyatlar chegaralanganligi sababli, energetika sistemasida bir fazali transformatorlarning uch fazali guruhi ishlatiladi (6.2- rasm, b).

So'nggi yillarda amalda *fazoviy konstruksiyali* magnit o'tkazgichlar ham ishlatilmoqda.



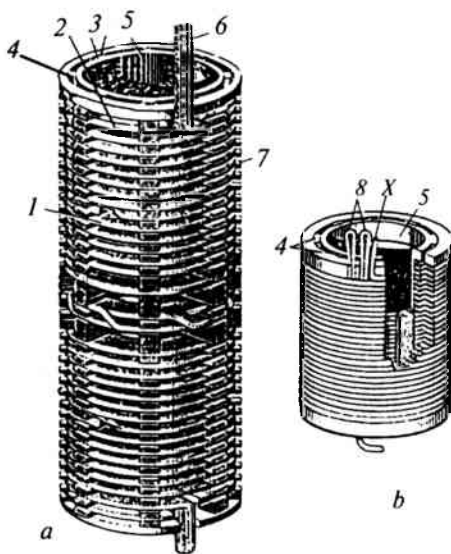
6.2- rasm. Magnit o'tkazgichning sterjenlari bir tekislikda joylashgan (a) va bir fazali transformatorning uch fazali guruhi (b).

Transformatorning chulg'amlari uning muhim tarkibiy qismidir. Chulg'amlar materialining narxi va ularni o'rash uchun to'lanadigan ish haqi transformator narxining taxminan 50 foizini tashkil etadi. Transformatorning xizmat muddati deyarli hamma vaqt uning og'ir sharoitlarda ishlaydigan chulg'amlarining xizmat muddatiga qarab belgilanadi.

Har bir chulg'amning asosiy elementi o'ram bo'lib, u bitta yoki bir necha parallel o'tkazgichlardan tashkil topgan bo'ladi. Ketma-ket ulangan o'ramlar majmuyi g'altakni hosil qiladi. Chulg'am bitta yoki bir necha g'altakdan tashkil topishi mumkin.

Moyli transformatorlarda „A“ sinfiga mansub izolatsiyalangan PB markali mis va APB markali aluminiy sim hamda aluminiy tasma yoki folga keng ishlatiladi. Havo bilan sovitiladigan („quruq“) transformatorlarda „B“ va „F“ sinflarga mansub izolatsiyalangan sim keng ishlatiladi.

Konstruksiya va o'rash usuliga ko'ra, konsentrik chulg'amlar vintsimon (6.3- rasm,*a*), silindrik (6.3- rasm,*b*) va g'altakli turlarga bo'linadi.



6.3- rasm. Transformator chulg'amlari: *a*—bir yo'lli vintsimon chulg'am; *b*— ko'p qatlamli silindrik chulg'am:

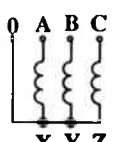
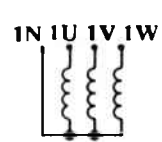
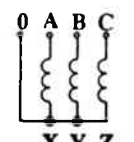
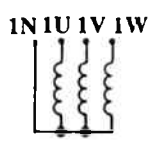
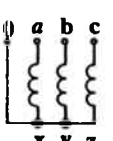
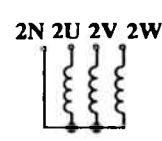
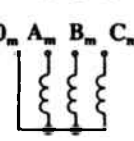
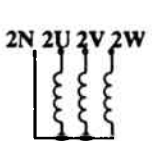
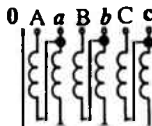
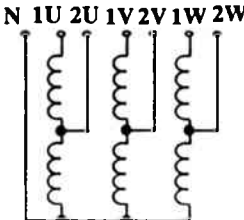
1—o'ramlar; 2—tenglashtiruvchi segmentlar; 3— ustki tayanch halqasi; 4 — vertikal sovitish kanalini hosil qilish uchun reyka; 5 —izolatsiyalovchi silindr; 6—parallel o'tkazilgan simlar; 7— qistirma; 8—chulg'am ichki shoxobchalarining uchlari.

Vintsimon chulgʻamlarda parallel simlardagi tok bir tekis taqsimlanishi uchun bir oʻramni hosil qiluvchi simlar maʼlum sxemada oʻrin almashtirib (transpozitsiya qilib) joylashtiriladi.

Katta quvvatli kuch transformatorlarining YK chulgʻamini tayyorlash uchun uzluksiz gʻaltakli chulgʻamlar qoʻllaniladi.

6.2- j a d v a l

Transformator chulgʻamlari uchlarining belgilanishi (GOST 11677—85 va unga kiritilgan 1, 2, 3, 4- raqamli oʻzgartirishlar asosida)

1987- yilgacha ishlab chiqarilgan transformatorlar uchun (Ilgarigi)	1987- yildan keyin ishlab chiqarilgan transformatorlar uchun (Yangi)	Ilgarigi belgilanishi	Yangi belgilanishi
1) Uch fazali ikki chulgʻamli		3) Uch fazali uch chulgʻamli	
			
			
2) Bir fazali ikki chulgʻamli		4) Uch fazali ikki chulgʻamli avtotransformator	
			

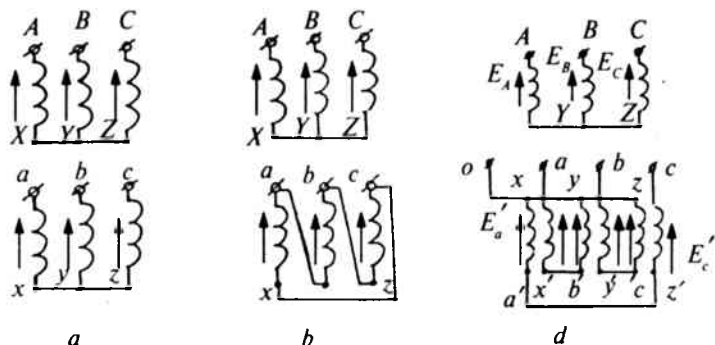
6.3. Uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish usullari hamda belgilanishi

Umumiy maqsadli uch fazali transformatorlarning chulg'am-lari yulduz (Y) (6.4- rasm, *a*) uchburchak (Δ) (6.4- rasm, *b*) usulida, maxsus maqsadli transformatorlarning ayrimlari esa zigzag (Z) (6.4- rasm, *d*) usulida ulanadi.

Chulg'amlar Y usulida ulanganda, liniya kuchlanishi U faza kuchlanishi U_f dan ($\sqrt{3}$ marta katta ($U = \sqrt{3} U_f$), liniya toki I faza toki I_f ga teng ($I = I_f$) bo'ladi. Bu nisbatlar simmetrik rejim uchun to'g'ridir.

Odatda, uch fazali ikki chulg'amli transformatorning yuqori kuchlanish chulg'ami ulanish usulining shartli belgisi kasr suratida, past kuchlanish chulg'amlari ulanish usulining shartli belgisi kasr maxrajida ko'rsatiladi. Masalan: Y/Y, Y/ Δ , Y/Z. Uch fazali uch chulg'amli transformatorlarda chulg'amlarning sxemalari YK / O'K / PK ketma-ketligida, ya'ni Y/Y/ Δ yoki Y/ Δ / Δ ko'rinishda belgilanadi. Zigzag usulida ulangan ikkilamchi ikkita chulg'am teng qismga ajratilib, magnit o'tkazgichning har xil sterjenlariga joylanadi. Bu ikkala qism o'zaro teskari ulanganda faza EYK $\sqrt{3}$ marta oshadi. Bunday sxemada liniya va faza kuchlanishlari (toklari ham) orasidagi o'zaro nisbat yulduz usulidagidek bo'ladi, lekin o'raladigan simlar zigzag sxemada $2/\sqrt{3}$ marta ko'p sarflanadi. Bu zigzag usulining kamchiligi hisoblanadi.

Faza chulg'am uchlarning belgilanishi. Ilgarigi standart tavsiyasi bo'yicha bir fazali ikki chulg'amli transformatorlarda: YK chulg'am-ni bosh va oxirgi uchlari tegishlicha — „A“ va „X“ (katta harflar),



6.4- rasm. Uch fazali transformatorlar chulg'amlarining ulanish usullari: *a*—yulduz—yulduz (Y/Y); *b*—yulduz—uchburchak (Y/ Δ); *d*—yulduz—zigzag (Y/Z).

PK chulg'amniki esa „a“ va „x“ (kichik harflar) bilan belgilangan. Bir fazali uch chulg'amli transformatorlarda o'rtacha kuchlanishli (O'K) chulg'amning bosh va oxirgi uchlari tegishlicha — A_m va X_m katta harflarga m indeksi qo'yib belgilanadi.

Uch fazali ikki chulg'amli transformatorlarda: YK faza chulg'amlarining bosh va oxirgi uchlari tegishlicha — „A“, „B“, „C“ va „X“, „Y“, „Z“; PK fazaviy chulg'amlarining bosh uchlari — „a“, „b“, „c“ va oxirgi uchlari tegishlicha — „x“, „y“, „z“ harflari bilan belgilangan.

Uch fazali uch chulg'amli transformatorning O'K faza chulg'amlarining bosh uchlari — A_m , B_m , C_m va oxirgi uchlari tegishlicha — X_m , Y_m , Z_m harflari bilan belgilangan.

Agar „yulduz“ usulida ulanganda neytral nuqtadan o'tkazgich chiqarilgan bo'lsa, yuqori kuchlanishda „0“ (katta raqam) va past kuchlanishda „0“ (kichik raqam), o'rtacha kuchlanishda esa — 0_m qo'yiladi. Bunda chulg'am ulanish usulining harflar orqali belgilanishiga „N“ indeksi (Y_N) qo'yilgan.

Transformator chulg'amlari uchlarining yangicha belgilanishi. GOST 11677-85 va unga kiritilgan 1, 2, 3, 4- raqamli o'zgartirishlar bo'yicha transformator va avtotransformator chulg'amlari uchlarining ilgarigi belgilanishi o'rniga Xalqaro elektrotexnika komissiyasi talablarini qanoatlantiradigan yangi belgilanish qabul qilingan. Bunga oid namunalar 6.2- jadvalda keltirilgan.



Nazorat savollari

1. Transformatorlar qanday belgilariga ko'ra tasniflanadi?
2. „Kuch transformatori“ tushunchasini qanday ta'riflaysiz?
3. Kuch transformatorlariga qanday talablar qo'yiladi?
4. Magnit o'tkazgichi umumiy bo'lgan uch fazali transformatorning magnit sistemasi qanday hosil qilinadi?
5. Chulg'amlarning vazifasi nimalardan iborat va ularning qanday turlari mavjud?

7.1. Transformatorning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayonlar

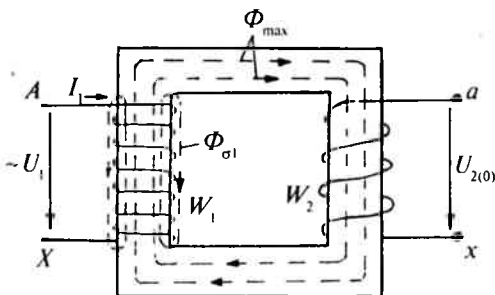
Transformatorning ishlash prinsipi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan. Buni oddiy bir fazali ikki chulg'amli kuchlanishni pasaytiruvchi transformator misolida ko'rib chiqamiz (7.1- rasm).

Ikkilamchi chulg'ami yuklama ulanmagan transformatorning birlamchi chulg'ami o'zgaruvchan tok manbayiga ulansa, birlamchi chulg'amdan salt ishlash toki $I_1 = I_0$ o'tadi. Uning reaktiv tashkil etuvchisi $I_0 \approx I_{0,r}$ shu chulg'amda magnit yurituvchi kuch (MYK) $i_0 w_1$ ni vujudga keltirib, u esa o'z navbatida, asosiy Φ va tarqoq $\Phi_{\sigma 1}$ qismlardan iborat o'zgaruvchan magnit oqimini hosil qiladi.

Asosiy magnit oqimining kuch chiziqlari birlamchi va ikkilamchi chulg'am o'ramlari bilan deyarli to'la ilashib elektromagnit induksiya qonuniga asosan birlamchi chulg'amda o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchi EYK e_1 ni, ikkilamchi chulg'amda esa o'zaro induksiya EYK e_2 ni hosil qiladi. Ularning oniy qiymatlari Maksvell tomonidan *elektromagnit induksiya hodisasini yangicha ta'riflab* kiritgan formulasi bo'yicha aniqlanadi, ya'ni:

$$e_1 = w_1 (d\Phi/dt); \quad e_2 = w_2 (d\Phi/dt), \quad (7.1)$$

bunda w_1, w_2 — tegishlicha birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'ramlari soni, Φ — ikkala chulg'am uchun umumiy bo'lgan magnit oqimi, Wb.



7.1- rasm. Bir fazali transformatorning elektromagnit sxemasi.

Transformator faqat o'zgaruvchan tok zanjirida ishlay oladi.

Salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayonlar. Ishlatish jarayonida transformatorning birlamchi chulg'ami manbaga ulanib, ikkilamchi chulg'ami yuklamaga ulanmagan holat *salt ishlash rejimi* deyiladi. Bunda birlamchi chulg'amdan o'tadigan tok salt ishlash toki (I_0) deyiladi. U ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'ladi:

$I_0 = I_{0,r} + I_{0,a}$ yoki $I = \sqrt{I_{0,r}^2 + I_{0,a}^2}$. Bu tok tarkibining asosiy qismi induktiv (reaktiv) $I_{0,r}$ tashkil etuvchidan iborat bo'lib, u magnit maydon hosil qilish uchun xizmat qiladi va *magnitlovchi tok* deb ham ataladi.

Magnitlovchi tokning magnit oqimi bilan o'zaro bog'lanishi $\Phi = f(I_{0,r})$ magnitlanish xarakteristikasi deyiladi.

Birlamchi chulg'ami sinusoidal kuchlanishga ulangan transformatorning ferromagnit o'zagida magnit oqimi sinusoidal o'zgaradi, lekin o'zakning magnitlanish xarakteristikasi egri chiziqli bo'lgani uchun magnitlovchi tok bilan shu tok hosil qilayotgan magnit oqimi orasidagi to'g'ri mutanosiblik buziladi, ya'ni magnit oqimi sinusoidal o'zgarsa ham, ferromagnit o'zakning magnit to'yinishi sababli magnitlovchi tok $I_{0,r}$ ning vaqt bo'yicha o'zgarishi $I_{0,r} = f(t)$ nosinusoidal bo'ladi.

Tokning nosinusoidal shaklini Furrye qatoriga yoyib, uning yuqori garmonikalarini aniqlash mumkin. Ulardan eng kattasi 3-garmonika $I_{0,r(3)}$. Yuqori legirlangan po'latdan yasalgan magnit o'tkazgichli transformatorning magnit induksiyasi $B=1,6$ T bo'lganda salt ishlash toki 1-garmonika amplitudasining 34 %ga yetadi. Beshinchi va undan yuqori garmonikalarning amplitudalari esa ancha kichik bo'lib, ularni katta aniqlik talab qilmaydigan hisoblashlarda e'tiborga olmasa ham bo'ladi.

Magnit oqimining vaqt bo'yicha o'zgarish shakli sinusoidal bo'lganda $\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t$ qiymatni (7.1) ga qo'yib, differensiallagandan keyin, $\cos \omega t = -\sin(\omega t - \pi/2)$ ekanligi hisobga olinsa, quyidagi natija kelib chiqadi:

$$\begin{aligned} e_1 &= \omega w_1 \Phi_{\max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{1\max} \sin(\omega t - \pi/2); \\ e_2 &= \omega w_2 \Phi_{\max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{2\max} \sin(\omega t - \pi/2), \end{aligned} \quad (7.2)$$

bunda $E_{1\max} = \omega w_1 \Phi_{\max}$ va $E_{2\max} = \omega w_2 \Phi_{\max}$ — tegishli birlamchi va ikkilamchi chulg'am EYK larning maksimal qiymatlari, [V].

Bundan quyidagi xulosa kelib chiqadi. Transformator chulg'amlarida hosil bo'lgan e_1 va e_2 EYK larning vaqt bo'yicha o'zgarish fazasi magnit oqim $\Phi_{\max}$ dan $\pi/2$ burchakka kechikadi. Sinusoidal shaklda o'zgarayotgan EYK o'zining maksimal qiymatiga $\sin(\omega t - \pi/2) = 1$ bo'lganda erishadi. EYK larning maksimal ($E_{1\max}$ va $E_{2\max}$) qiymatlarini $\sqrt{2}$ ga bo'lib, (7.2) ga $\omega = 2\pi f$ qo'yilsa, EYK larning ta'sir etuvchi qiymatlari aniqlanadi:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{1\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) \cdot f w_1 \Phi_{\max} = 4,44 f w_1 \Phi_{\max}; \\ E_2 &= E_{2\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) \cdot f w_2 \Phi_{\max} = 4,44 f w_2 \Phi_{\max}, \end{aligned} \quad (7.3)$$

bunda $\Phi_{\max}$ — magnit oqimining maksimal qiymati, Wb; E_1 va E_2 — tegishli birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning EYK lari, V.

Tarqoq magnit oqimi $\Phi_{\tau 1}$ kuch chiziqlari faqat birlamchi chulg'am bilan ilashib, ularda „tarqoq EYK“ $e_{\tau 1}$ hosil bo'ladi. Uning ta'sir etuvchi qiymati kuchlanish tushishi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$E_{\sigma 1} = -jI_0 x_1, \quad (7.4)$$

bunda: x_1 — tarqoq magnit oqimi tufayli YK chulg'amida hosil bo'ladigan induktiv qarshilik.

Transformatorning birlamchi chulg'amiga berilgan kuchlanish

$$u_{1,0} \approx -e_1 = w_1 d\Phi / dt \quad (7.5)$$

shu chulg'amda hosil bo'lgan EYK e_1 ga miqdor jihatdan teng, faza jihatdan esa 180° ga siljigan bo'ladi (bunda birlamchi chulg'amdagi kuchlanish tushishi $\Delta U \approx 0$ deb olingan).

Transformatorga yuklama ulanmaganda, $I_2 = 0$ bo'lgani uchun ikkilamchi chulg'am kuchlanishi $U_{2,0} = E_2$ bo'ladi.

Transformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti standartga ko'ra quyidagicha aniqlanadi:

$$k = E_{yu.k} / E_{p.k} = w_{yu.k} / w_{p.k} \approx U_{yu.k} / U_{p.k}, \quad (7.6)$$

bundagi $U_{yu.k}$ va $U_{p.k}$ kuchlanishlar salt ishlash rejimining nominal qiymatlaridir.

Real transformatorning salt ishlash rejimini xarakterlaydigan tenglamalar vaqt bo'yicha sinusoidal shaklda o'zgarayotgan kuchlanish, EYK va toklar uchun kompleks shaklda quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_1 + j\dot{I}_0 x_1 + \dot{I}_0 r_1; & \dot{U}_{2,0} &= \dot{E}_2, \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 = \dot{I}_{0,r} + \dot{I}_{0,a}; & \dot{I}_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7.7)$$

Xulosa. Salt ishlashda transformator orqali elektr energiya uzatilmaydi. Bunday rejimda uning ikkilamchi chulg'ami chastotasi bir xil, kuchlanishining qiymati esa har xil ($E_2 = U_{2,0} \neq U_1$) bo'lgan o'zgaruvchan tok manbai vazifasini bajarishi mumkin.

Uch fazali transformator salt ishlash rejimining o'ziga xos xususiyatlari. Umumiy holda transformator chulg'amlaridagi EYK va tokining vaqt bo'yicha o'zgarishi sinusoidal shaklda bo'lmaydi, ularning tarkibida 1- garmonikadan tashqari yuqori garmonikalar ham bo'ladi. Ulardan 3- garmonika eng katta qiymatga ega bo'lganligidan quyidagi tahlillarda faqat 3- garmonikaning ta'sirini ko'rib chiqamiz.

[Izo h: birlamchi chulg'amni ko'rsatuvchi indeks 1 dan farq qilishi uchun garmonikalar tartibi kichik qavs ichiga olingan 1 yoki 3 indekslar orqali belgilangan].

EYK ning 1- garmonikalari:

$$\left. \begin{aligned} e_{A(1)} &= E_{(1)\max} \sin \omega t, \\ e_{B(1)} &= E_{(1)\max} \sin(\omega t - 120^\circ), \\ e_{C(1)} &= E_{(1)\max} \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (7.8)$$

3- garmonikalari:

$$\left. \begin{aligned} e_{A(3)} &= E_{(3)\max} \sin 3\omega t, \\ e_{B(3)} &= E_{(3)\max} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t, \\ e_{C(3)} &= E_{(3)\max} \sin 3(\omega t + 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t. \end{aligned} \right\} \quad (7.9)$$

(7.9) dan ko'rinib turibdiki, EYK ning 3- garmonikalari barcha fazalarda qiymat jihatdan teng va bir xil yo'nalgan, ya'ni faza jihatdan bir-biriga mos ekan.

EYK 3- garmonikasining transformator ishiga ta'siri faza chulg'amlarining ulanish usuliga bog'liq. Agar uch fazali transformatorning birlamchi chulg'ami yulduz usulida ulangan bo'lsa, faza EYK ining 3- garmonikasi liniya EYK ining 3- garmonikasini hosil qilmaydi.

Transformator liniya EYK ining o'zgarish egriligida 3- garmonikalar bo'lmaydi, shu sababli liniya kuchlanishi U_1 ning vaqt bo'yicha o'zgarish shaklida ham, binobarin liniya (I_p) va faza (I_{f1}) toklarining o'zgarish shakllarida ham bo'lmaydi.

Magnitlovchi tok $I_{0,r}$ ning vaqt bo'yicha o'zgarish shaklida 3- garmonika $I_{0,r(3)}$ ning yo'qligi uni sinusoidal shaklga yaqinlash-tiradi. Bu hol magnit oqimi Φ ning vaqt bo'yicha o'zgarish shaklini nosinusoidal qiladi, ya'ni uning tarkibida 3- garmonika bo'ladi.

3- garmonika magnit oqimlari faza jihatdan bir-biriga mos yo'nalganligi tufayli uch sterjenli magnit o'tkazgichda tutasha olmaydi. Bu oqimlar transformatorni sovitish sifatida ishlatiladigan muhit orqali va transformator bakining metall devorlari orqali tutashadi. Magnit oqimining 3- garmonikasi $\Phi_{(3)}$, transformator baki devorlarida uyurma tokni vujudga keltirib, qo'shimcha isroflarni hosil qiladi. Masalan, magnit induksiya $B = 1,4$ T bo'lsa, bu isroflar magnit o'tkazgichdagi isroflar P'_0 ning 10 %ini, $B = 1,6$ T bo'lganda esa $50 \div 65$ %ini tashkil qiladi. Bunda transformator ortiqcha qiziydi va salbiy oqibatlariga olib keladi.

Uch fazali transformatorning birlamchi chulg'ami uchbur-chak usulida ulanganda EYK ning 3- garmonikalari uchta faza chulg'amida ham mos ta'sir etib, shu chulg'amlarning berk konturida tokning 3- garmonikasini hosil qiladi. EYK ning bu garmonikasi liniyaga chiqmaydi.

Salt ishlash tokida 3- garmonika bo'lsa, magnit oqimining o'zgarish shakli va, binobarin, E_1 va E_2 EYK larning vaqt bo'yicha o'zgarish shakli sinusoidaga yaqinlashadi.

Transformatorning magnit induksiyasi $B = (1,4 \div 1,45)$ T bo'lganda uning bakida vujudga keladigan qo'shimcha isroflar salt ishlash quvvati P_0 ning 10 % ini tashkil qiladi, agar induksiya 1,6 T bo'lsa, bu isroflar $50 \div 65$ % gacha yetadi.

Transformator chulg'amlaridan birortasi uchburchak sxemasi bo'yicha ulansa magnit oqimi va EYK 3- garmonikalarning zararli ta'siridan saqlaydi.

7.2. Transformatorni salt ishlatib tajriba o'tkazish

Salt ishlash tajribasi ikkilamchi chulg'amga yuklama ulamasdan ($I_2 = 0$), 7.2-rasm, a da ko'rsatilgan sxema bo'yicha o'tkaziladi. Transformatorning bitta chulg'amiga rostlagich vositasida beriladigan kuchlanish U_1 ni 0 dan $1,2U_{1N}$ qiymatgacha oshirib, elektr o'lchash

asboblari yordamida berilgan kuchlanish U_1 , salt ishlash toki I_0 va salt ishlash quvvati P_0 o'lchab olinadi va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_0$ hisoblanadi. Bular asosida qurilgan $I_0 = f(U_1)$, $P_0 = f(U_1)$ va $\cos\varphi_0 = f(U_1)$ bog'lanishlar *salt ishlash xarakteristikalari* deyiladi (7.2-rasm, b).

$I_0 = f(U_1)$. Transformatorning birlamchi chulg'amiga berilgan kuchlanish U oshirilishi bilan uning magnit oqimi Φ oshadi. Kam kuchlanishda magnit zanjiri to'yinmagani sababli, U_1 va Φ kattaliklar orasida to'g'ri mutanosiblik ($U_1 \sim \Phi$) vujudga kelib, salt ishlash toki I_0 to'g'ri chiziqli o'zgaradi. Kuchlanishning taxminan $U_1 = (0,5 \div 0,6) U_{1N}$ qiymatlaridan boshlab magnit o'tkazgich to'yina boshlaydi va transformatorning Z_0 , x_0 va $r_0 \approx r_m$ qarshiliklari kamaya boradi. Natijada, salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi I_{0r} (salt ishlash toki I_0 ham) berilgan kuchlanishga nisbatan tez ortadi.

Odatda, kuch transformatorlarida salt ishlash toki $I_0 \approx 0,08 I_{1N}$, uning aktiv tashkil etuvchisi esa $I_{0a} \approx (0,01 \div 0,1) I_0$ bo'ladi (kichik qiymatlar katta quvvatli kuch transformatorlariga tegishli).

$P_0 f(U_1)$. Salt ishlayotgan transformatorning birlamchi chulg'ami toki va elektr isroflari juda kam, ikkilamchi chulg'amida esa tok $I_2 = 0$ bo'lganligidan, birlamchi chulg'am simlaridagi elektr isroflarni e'tiborga olmasdan, transformator iste'mol qilayotgan aktiv quvvat magnit o'tkazgichdagi gisterezis va uyurma toklar tufayli vujudga keladigan magnit isroflarni qoplashga sarflanadi deb, hisoblash mumkin. Shuning o'zi amaliy hisoblashlar uchun yetarli bo'ladi.

Magnit o'tkazgichdagi isroflar magnit induksiyaning kvadrati ($P'_m \sim B^2$) ga va chastotaning taxminan 1,3- darajasi ($P'_m \approx f^{1,3}$) ga bog'liq bo'ladi. Kuchlanish $U_1 = \text{const}$ va chastota $f = \text{const}$ bo'lganda magnit isroflar $P'_m \approx P_0 = \text{const}$ bo'ladi.

$\cos\varphi_0 = f(U_1)$. Quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_0$ bir fazali va uch fazali transformatorlar uchun quyidagi formuladan topiladi:

$$\cos\varphi_0 = P_0 / (\sqrt{3} U_1 I_0), \quad (7.10)$$

bunda P_0 — uch fazaning aktiv quvvati, W .

Salt ishlash rejimida transformatorga beriladigan kuchlanishning $U_1 > 0,6 U_{1N}$ qiymatlarida magnit o'tkazgichning to'yinishi tufayli kuchlanish U_1 va salt ishlash toki i_0 vektorlari orasidagi burchak φ_0 oshadi, $\cos\varphi_0$ esa kamaya boradi.

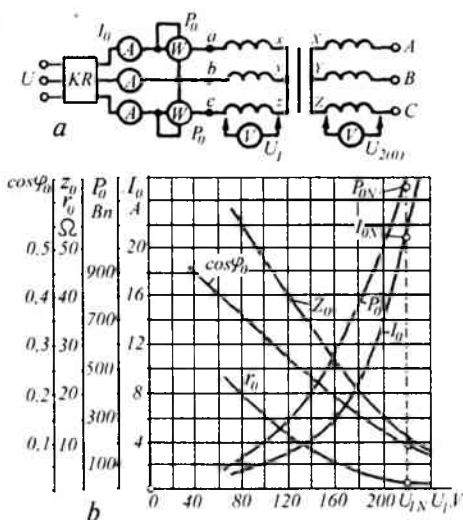
Tajribadan olingan ma'lumotlar bo'yicha transformator uchun *muhim* bo'lgan *parametrlar* nominal kuchlanishga to'g'ri kelgan quyidagi qiymatlar asosida aniqlanadi:

1) transformatsiyalash koeffitsiyenti: $k \approx U_{1N} / U_{2.0}$;

2) salt ishlash toki: $i_{0(\%)} (I_0 / I_{1N}) 100$;

3) magnitlovchi zanjirining aktiv qarshiligi: $P_0 = m I_0^2 r_0$ tenglamadan aniqlanadi, bunda m — transformator fazalari soni, r_0 — transformatorning salt ishlashdagi aktiv qarshiligi.

Birlamchi chulg'ami yulduz usulida ulangan uch fazali transformatorning salt ishlagandagi elektr qarshiliklari quyidagi formuladan topiladi:



7.2-rasm. Uch fazali ikki chulg'amli transformatorning salt ishlash tajribasini o'tkazish sxemasi (a) va salt ishlash xarakteristikallari (b);

KR — kuchlanishni rostlagich

$$Z_0 = U_1 / (\sqrt{3} I_0); r_0 = P_0 / (3 I_0^2); x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}. \quad (7.11)$$

7.3. Yuklama ulangan transformatoridagi elektromagnit jarayonlar

Agar transformatorning ikkilamchi chulg'ami yuklama qarshiligi Z_{yu} ga ulansa (7.1- rasmda kalit ulangan holat), EYK E_2 ta'sirida shu chulg'amdan I_2 tok o'tib, MYK $I_2 w_2$ ni vujudga keltiradi. Bu MYK asosiy magnit oqimiga aks ta'sir qilishdan tashqari, uning kuch chiziqlari nomagnit yo'llar orqali faqat shu chulg'am o'ramlari bilan ilashadigan tarqoq magnit oqimi Φ_{o2} ni ham hosil qiladi. Ikkilamchi chulg'am MYK $I_2 w_2$ ning asosiy magnit oqimiga ko'rsatadigan ta'sirini Lens qoidasi yordamida tushuntirish mumkin.

Bu qoidaga binoan, agar ikkilamchi chulg'amga aktiv-induktiv yuklama ulansa, undan o'tayotgan tokning reaktiv tashkil etuvchisi

I_{2r} vujudga keltirgan MYK $I_{2r}w_2$ transformatorning birlamchi chulg'am MYK I_0w_1 ga teskari yo'nalgan bo'lib, asosiy magnit oqimi Φ ni kamaytirishga, aktiv — sig'im yuklamada esa birlamchi chulg'am MYK ga mos yo'nalib, asosiy magnit oqimini oshirishga intiladi.

Aktiv-induktiv yuklamada natijaviy oqimning kamayishi birlamchi chulg'amda EYK E_1 ning kamayishiga olib keladi. Natijada, elektr tarmog'ining kuchlanishi $U_1 = U_{1N} = \text{const}$ bo'lganligidan $U_1 - E_1$ ayirma tufayli hosil bo'lgan birlamchi chulg'amdagi tokning qiymati I_0 dan I_1 gacha, ya'ni yuklama tokining magnit-sizlovchi ta'siri to'la kompensatsiya bo'lgunga qadar oshishiga sabab bo'ladi. Natijada, transformatoridagi magnit oqimi taxminan o'zining dastlabki qiymatiga tenglashadi.

Shunday qilib, ikkilamchi chulg'ami yuklamaga ulangan transformatorida magnit oqimi Φ to'la tok qonuniga binoan birlamchi va ikkilamchi chulg'am MYK larining birgalikdagi ta'siri tufayli hosil qilinib, ularning ta'sir etuvchi qiymatlarining geometrik yig'indisi salt ishlashdagi birlamchi chulg'am MYK I_0w_1 ga taxminan teng bo'ladi:

$$\dot{I}_1w_1 + \dot{I}_2w_2 \approx \dot{I}_0w_1. \quad (7.12)$$

Bu ifoda transformatorning *magnit yurituvchi kuchlari muvozanat tenglamasi* deyiladi. Bunda: $\dot{I}_1w_1$ — yuklama ulangan transformatorning birlamchi chulg'amida vujudga keladigan MYK; $\dot{I}_2w_2$ — ikkilamchi chulg'amda hosil bo'ladigan MYK; $\dot{I}_0w_1$ — salt ishlayotgan transformator birlamchi chulg'aming MYK.

(7.12) tenglamaning ikkala tomonini w_1 ga bo'lamiz va $I_2(w_2/w_1) = I_2'$ belgilashdan keyin hosil bo'lgan tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$\dot{I}_1 \approx \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2'). \quad (7.13)$$

Bu ifoda transformator *toklarining muvozanat tenglamasi* deyiladi.

Natijaviy (asosiy)magnit oqimining maksimal qiymati $\Phi_{\max}$ ni aniqlashda magnit zanjirlari uchun Om qonunidan foydalaniladi, ya'ni

$$\Phi_{\max} = \sqrt{2} (\dot{I}_1w_1 + \dot{I}_2w_2) / r_m. \quad (7.14)$$

Magnit oqimining bu qiymatini (7.3) formuladan ham topish mumkin. Bunda $U_1 \approx E_1$ ni hisobga olib quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\Phi_{\max} = U_1 / (4,44 f w_1). \quad (7.15)$$

Shu sababli birlamchi chulg‘amda hosil bo‘lgan EYK E_1 va shu chulg‘amga ulangan tarmoq kuchlanishi U_1 orasida taxminiy muvozanat ta‘minlanadi.

Demak, *birlamchi chulg‘amga berilgan kuchlanish U_1 va uning chastotasi fo‘zgarmas bo‘lganda transformator magnit o‘tkazgichidagi asosiy oqim Φ ikkilamchi chulg‘amga ulangan yuklamaning qiymatiga bog‘liq emas ekan.*

Bu transformatorning muhim xossalaridan biridir.

Yuklama ulangan ikkilamchi chulg‘amda hosil bo‘lgan elektr zanjiri uchun EYK va kuchlanishlar muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma_2} = \dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 Z_{yu}, \quad (7.16)$$

bunda r_2 — ikkilamchi chulg‘amning aktiv qarshiligi; $\dot{I}_2 Z_{yu}$ — yuklamada kuchlanish tushishi bo‘lib, u ikkilamchi chulg‘am chiqishidagi kuchlanish U_2 ni ifodalaydi ($\dot{I}_2 Z_{yu} = U_2$).

Birlamchi chulg‘am elektr zanjiri uchun EYK va kuchlanishlar muvozanat tenglamasi ularning ta‘sir etuvchi qiymatlari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1. \quad (7.17)$$

(7.16) formulaga $\dot{I}_2 Z_{yu} = U_2$ ni qo‘yib, ikkilamchi chulg‘am EYK va kuchlanishlar muvozanat tenglamasini quyidagicha yozamiz:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2. \quad (7.18)$$

Kuch transformatorlarida yuklama tokining nominal va unga yaqin qiymatlarida birlamchi chulg‘amdagi kuchlanish tushishi ($\Delta U_1 = I_1 r_1 + I_1 x_1$) nominal kuchlanish U_{1N} ning taxminan 2÷5 foizidan oshmaydi. Shu sababli transformatorga yuklama ulangan rejimda ham fizik jarayonni oydinlashtirish maqsadida birlamchi chulg‘am qarshiliklaridagi kuchlanish tushishi ΔU_1 ni e‘tiborga olmasdan, $|U_1| \approx |E_1|$ deb hisoblasak ham, xato sezilarsiz darajada bo‘ladi.

Transformatorning salt ishlashdagi MYK $I_0 w_1$ uning normal yuklama bilan ishlagandagi MYK $I_1 w_1$ ning taxminan 0,5÷3,0 %ini tashkil etadi. (7.12) tenglikdagi $I_0 w_1 \approx 0$ deb, qabul qilinsa ham, uncha xatolikka yo‘l qo‘yilmaydi va jarayonning fizik ma‘nosini

oydinlashtirishga imkon yaratiladi. Bunday cheklanmada chulgʻamlardagi tok u vujudga keltirgan MYK bilan oʻzaro muvozanatlashgan tarzda yoʻnalgan boʻladi:

$$I_2 = -I_1 (w_1 / w_2), \quad (7.19)$$

bundan quyidagi nisbat kelib chiqadi:

$$I_1 / I_2 \approx w_2 / w_1. \quad (7.20)$$

Demak, yuqori va past kuchlanishli chulgʻamlardagi toklar nisbati ularning oʻramlari soni nisbatiga taxminan teskari mutanosibda boʻlar ekan.

Zamonaviy kuch transformatorlarining foydali ish koeffitsiyenti (FIK) katta ($\eta = 0,97 \div 0,99$) boʻlganligi sababli, yuklama ulangandagi fizik jarayonning mohiyatini ochib berish maqsadida birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlardagi elektr quvvatlari bir-biriga tenglansa ($I_1 u_1 \approx I_2 u_2$) ham kuch transformatorlari uchun uncha xatolik boʻlmaydi. Bundan quyidagi nisbatlar kelib chiqadi:

$$I_1 / I_2 \approx u_2 / u_1. \quad (7.21)$$

Demak, transformatorlarda tok uning kuchlanishiga teskari mutanosib ekan.

7.4. Keltirilgan transformator

Transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlari toklari, kuchlanishlari, EYK va qarshiliklari bir-biridan miqdor jihatdan farq qiladi, shuningdek, transformatorning birlamchi hamda ikkilamchi chulgʻamlari elektr kattaliklarini vektor diagrammada bir xil masshtabda tasvirlashning imkoni boʻlmaydi. Bu noqulayliklarni bartaraf etish maqsadida oʻziga xos hisoblash usulidan foydalaniladi, yaʼni birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlar oʻramlari soni har xil ($w_1 \neq w_2$) boʻlgan real transformator, ikkilamchi chulgʻam oʻramlari soni birlamchi chulgʻam oʻramlari soni w_1 ga teng ($w'_2 = w_1$) boʻlgan ekvivalent transformator bilan almashtiriladi. Bunday transformator *keltirilgan transformator* deyiladi.

Keltirilgan elektr kattaliklardan foydalanish transformatoridagi elektromagnit jarayonlarni tahlil qilishni soddalashtiradi, vektor diagrammalar qurishni osonlashtiradi, chulgʻamlar orasidagi magnit bogʻlanish oʻrniga elektr bogʻlanish ishlatiladigan almash-tirish sxemasini qurish imkoni tugʻiladi.

Keltirilgan transformatoridagi barcha elektromagnit jarayonlar real transformatorniki bilan bir xil bo'lishini ta'minlash maqsadida quyidagi *keltirilgan ikkilamchi chulg'am elektr parametrlari* aniqlanadi:

1. Magnit oqimi Φ ni o'zgarmas qilish uchun ikkilamchi chulg'am (uch fazali transformator uchun faza chulg'am) MYK (keltirilgan transformatorida) quyidagicha muvozanatda bo'lishi kerak:

$$I'_2 w'_2 = I_2 w_2 . \quad (7.22)$$

(7.22) dan keltirilgan chulg'amning toki I_2 ni topamiz:

$$I'_2 = I_2 (w_2 / w'_2) = I_2 / k , \quad (7.23)$$

bunda: $k = w_1 / w_2$ — transformatsiyalash koeffitsiyenti bo'lib, $w'_2 = w_1$.

2. Magnit oqimi o'zgarmas bo'lganda chulg'amdagi EYK chulg'amning o'ramlari soniga to'g'ri mutanosib bo'ladi va keltirilgan ikkilamchi chulg'amda EYK E'_2 ning qiymati k marta oshadi. Uning qiymati keltirilgan va real chulg'amlar elektromagnit quvvatini o'zaro tenglab ($E'_2 I'_2 = E_2 I_2$) aniqlanadi:

$$E'_2 = E_2 (I_2 / I'_2) = k E_2 . \quad (7.24)$$

3. Keltirilgan va real chulg'amlarning to'la elektr quvvatlarini taxminan tenglab ($U'_2 I'_2 \approx U_2 I_2$), undan keltirilgan chulg'am kuchlanishi U'_2 topiladi:

$$U'_2 = U_2 (I_2 / I'_2) = k U_2 . \quad (7.25)$$

4. Keltirilgan chulg'am aktiv qarshiligi r'_2 ni aniqlashda keltirilgan va real chulg'amlardagi isroflar tengligi $(I'_2)^2 \cdot r'_2 = I_2^2 r_2$ dan foydalaniladi:

$$r'_2 = (I_2 / I'_2)^2 r_2 = k^2 r_2 , \quad (7.26)$$

bunda: (7.23) formulaga ko'ra $I'_2 = I_2 / k$.

5. Keltirilgan chulg'amning qiymati keltirilgan va real chulg'amlar reaktiv quvvatlari tengligidan $(I'_2)^2 x_2 = I_2^2 x_2$ foydalanib topiladi:

$$x'_2 = (I_2 / I'_2)^2 x_2 = k^2 x_2 . \quad (7.27)$$

6. Transformator ikkilamchi chulg'amining keltirilgan to'la qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Z'_2 = r'_2 + jx'_2 = k^2 (r_2 + jx_2) = k^2 Z_2 . \quad (7.28)$$

7. Ikkilamchi chulg'am chiqish uchlariga ulangan yuklarning keltirilgan to'la qarshiligi ham (7.28) kabi topiladi, ya'ni $Z'_{yu} = k^2 Z_{yu}$.

Keltirilgan transformator uchun kuchlanishlar va toklar tenglamalari kompleks (ya'ni, vektor kattalik) ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 = -\dot{E}_1 + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1, \\ \dot{U}'_2 &= \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 Z'_2 = \dot{E}'_2 - j\dot{I}'_2 x'_2 - \dot{I}'_2 r'_2, \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2). \end{aligned} \right\} \quad (7.29)$$

Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi.

Transformatorning elektromagnit hisoblashlarini osonlashtirish maqsadida uning chulg'amlari orasidagi magnit bog'lanishning elektr bog'lanishda tasvirlanishi (7.3- rasm, a) *T simon almashtirish sxemasi* deb yuritiladi va bu sxema transformator ish jarayonini to'la ifodalaydigan (7.29) tenglamalar sistemasiga mos kelishi lozim.

Simmetrik rejimdagi uch fazali (yoki ko'p fazali) transformator almashtirish sxemasi faqat bitta faza uchun quriladi.

Almashtirish sxemasi uchta shoxobchadan iborat:

1) birlamchi chulg'amning to'la qarshiligi $Z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}$ va toki I_1 ;

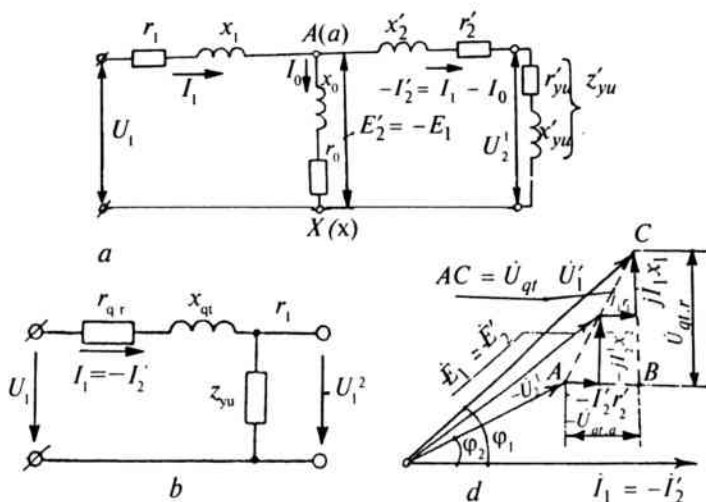
2) ikkilamchi chulg'amning to'la qarshiligi $Z'_2 = \sqrt{(r'_2)^2 + (x'_2)^2}$ va toki $(-I'_2)$;

3) magnitlovchi konturning to'la qarshiligi $Z_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2}$ va toki $-I_0$.

Almashtirish sxemasida Z_1 va Z'_2 qarshiliklar o'zgarmas deb qabul qilinadi, yuklama qarshiligi Z'_{yu} esa transformatorning ish sharoitida beriladi va o'zgarib turishi mumkin.

Transformatorning soddalashtirilgan vektor diagrammasi. Katta quvvatli transformatorlarda $I_0 \approx 0$ deb hisoblab, tokning muvozanat tenglamasi ($\dot{I}_1 \approx -\dot{I}'_2$) hamda yuklama ulangan transformatorning almashtirish sxemasi ancha sodda ko'rinishga ega bo'ladi va transformator ish jarayonini taxminiy hisoblashni ancha osonlashtiradi. Bunday vektor diagramma *soddalashtirilgan vektor diagramma* deyiladi (7.3- rasm, b) va u amalda keng foydalaniladi.

Bu diagramma aktiv-induktiv xarakterli yuklama uchun quyidagi tartibda quriladi. Buning uchun tok $\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2$, kuchlanish



7.3- rasm. Transformatorning T simon (a) va soddalashtirilgan (b) almashtirish sxemalari; soddalashtirilgan vektor diagrammasi (d).

$\dot{U}_2'$ va ular orasidagi burchak $\varphi_2 = \arctg(x_{yu}'/r_{yu}')$, transformator chulg'amlarining qarshiliklari yoki qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} hamda uning aktiv ($U_{qt.a}$) va reaktiv ($U_{qt.r}$) tashkil etuvchilari ma'lum bo'lishi lozim.

Dastlab, gorizontal yo'nalishda $\dot{I}_1 = -\dot{I}_2'$ tok vektori qo'yiladi. Bu vektordan φ_2 burchakka oldin keladigan ikkilamchi chulg'am kuchlanishi vektori ($-\dot{U}_2'$) 0 nuqtadan boshlab qo'yiladi. Uning uchidan qo'yilgan ikkilamchi chulg'am aktiv ($\dot{I}_2'r_2'$) va induktiv ($j\dot{I}_2'x_2'$) qarshiliklaridagi kuchlanishlar pasayishining geometrik yig'indisi $-\dot{E}_1 = -\dot{E}_2'$ vektorni beradi. Bu vektor uchidan birlamchi chulg'am aktiv ($\dot{I}_1r_1$) va induktiv ($j\dot{I}_1x_1$) qarshiliklaridagi kuchlanishlar pasayishini qo'yib, 0 nuqta bilan birlashtirilsa, birlamchi chulg'am kuchlanishi $\dot{U}_1$ hosil bo'ladi.

7.5. Transformatorni qisqa tutashtirib tajriba o'tkazish

Birlamchi chulg'ami nominal kuchlanishga ulangan transformator ikkilamchi chulg'aming qisqa tutashuvi *avariya rejimi* hisoblanadi. Bunday rejimda chulg'amlardan o'tadigan tok nominal tokka nisbatan bir necha o'n marta katta bo'ladi.

Qisqa tutashuv tajribasi muhim amaliy ahamiyatga ega. Bu tajriba orqali qisqa tutashuv isroflari P'_{qt} ni qoplaydigan aktiv quvvat P_{qt} va kuchlanish U_{qt} hamda almashtirish sxemasining ayrim parametrlari aniqlanadi:

[I z o h : energiya isroflarini aktiv quvvat belgilanishidan farqlash uchun „shtrix“ (') belgisi qo'yiladi].

Qisqa tutashuv tajribasini o'tkazish uchun ikkilamchi chulg'amni (uch fazalida faza chulg'am uchlarini) qisqa tutashirib (7.4-rasm, a), birlamchi chulg'amga pasaytirib beriladigan kuchlanish U_{qt} 0 dan boshlab, chulg'amdagi tokning qiymati nominalga yetguncha oshiriladi. Qisqa tutashuv toki $I_{qt} = I_{1N}$ bo'lgandagi kuchlanish *qisqa tutashuv kuchlanishi* U_{qt} deb ataladi va u transformatorning *muhim parametrlaridan biri* hisoblanadi. Kuch transformatorlarida qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} nominal kuchlanish U_{1N} ning $4,5 \div 14,5$ %ini tashkil etadi (katta qiymatlar katta quvvatli kuch transformatorlariga tegishli). Bu tajribada kuchlanish U_{qt} , tok I_{qt} va quvvat P_{qt} lar o'lchab olinadi. Bu qiymatlardan qisqa tutashuv paytidagi quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_{qt}$ hisoblab topiladi. Transformatorning qisqa tutashuv xarakteristikallari: $I_{qt} = f(U_{qt})$, $P_{qt} = f(U_{qt})$ va $\cos\varphi_{qt} = f(U_{qt})$ 7.4 -rasm, b da ko'rsatilgan.

$I_{qt} = f(U_{qt})$. Bu tajribada kuch transformatorlari chulg'amiga beriladigan kuchlanishning qiymati nominal kuchlanishga nisbatan ancha kamligidan, uning magnit o'tkazgichi to'yinmagan bo'ladi va qisqa tutashuv toki uning yo'l qo'yilgan qiymatlarigacha oshirilganda tok I_{qt} ning o'zgarishi to'g'ri chiziqli bo'ladi.

$P_{qt} = f(U_{qt})$. Magnit zanjiri to'yinmagan transformatorning magnit isroflari (P'_{m}) ni e'tiborga olmay, birlamchi chulg'amga berilgan quvvat P_{qt} ikkala chulg'am simlaridagi elektr isroflarni qoplashga sarflanadi deb, hisoblanadi, ya'ni: $P_{qt} \approx P'_{qt} = \text{var}$.

Chulg'amlardan nominal tok $I_{qt} = I_{1N}$ o'tgandagi qisqa tutashuv isroflari P'_{qtN} transformatorning *muhim parametrlaridan* biridir va u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$P'_{qt} \approx P'_{e1} + P'_{e2} = m I_1^2 r_1 + m (I_2')^2 r_2' = m I_{qt}^2 r_{qt} \quad (7.30)$$

Bu rejimdagi asosiy energiya isroflari tokning kvadrati (I_{qt}^2) ga mutanosib ravishda o'zgarganligi tufayli qisqa tutashuv quvvati P_{qt} ning o'zgarishi parabola shakliga yaqin bo'ladi.

$\cos\varphi_{qt} = f(U_{qt})$. Yuqorida ta'kidlaganimizdek, transformorning magnit zanjiri to'yinmaganligi sababli kuchlanishning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari nisbati o'zgar-masdir, natijada qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} va toki I_{qt} vektorlari orasidagi sil-jish burchagi φ_{qt} ham o'zgar-masdir. Shu sababli quvvat koefitsiyenti $\cos\varphi_{qt}$ qisqa tutashuv rejimida o'zgar-mas ($\cos\varphi_{qt} = \text{const}$) bo'ladi. U uch fazali transformator uchun tajribadan olingan qisqa tu-tashuv ma'lumotlari bo'yicha quyidagi formuladan aniq-qlanadi:

$$\cos\varphi_{qt} = P_{qt} / (\sqrt{3} U_{qt} I_{1N}). \quad (7.31)$$

Qisqa tutashuv tajriba-sidan olingan ma'lumotlar bo'yicha transformator al-

mashtirish sxemasining parametrlari, ya'ni to'la (Z_{qt}), aktiv (r_{qt}) va induktiv (x_{qt}) qarshiliklar (birlamchi chulg'ami yulduz usulida ulangan uch fazali transformator uchun) quyidagicha aniqlanadi:

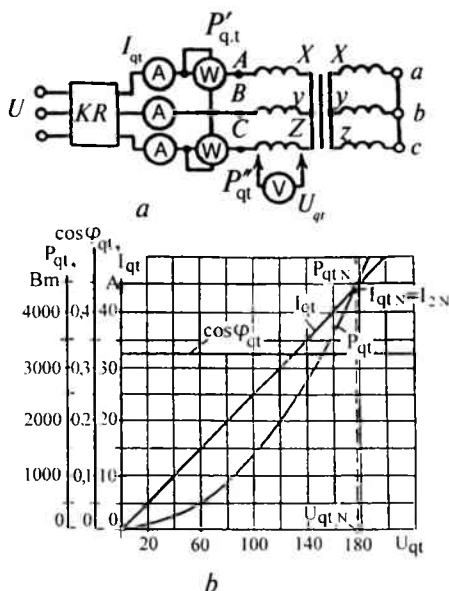
$$Z_{qt} = U_{qt} / (\sqrt{3} I_{qt}); \quad r_{qt} = P_{qt} / (3 P_{qtN}); \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}. \quad (7.32)$$

Odatda, birlamchi va keltirilgan ikkilamchi chulg'amlarning to'la (Z_1, Z'_2), aktiv (r_1, r'_2) va induktiv (x_1, x'_2) qarshiliklari taxminan qisqa tutashuv paytidagi to'la (Z_{qt}), aktiv (r_{qt}) va induktiv (x_{qt}) qarshiliklarning yarmiga teng, ya'ni

$$Z_1 \approx Z'_2 \approx 0,5 Z_{qt}; \quad r_1 \approx r'_2 \approx r_{qt} / 2; \quad x_1 \approx x'_2 \approx x_{qt} / 2 \quad (7.33)$$

deb hisoblaganda vujudga keladigan xatolik e'tiborga olmasa ham bo'ladigan darajada kam bo'ladi.

Qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} nominal kuchlanishga nisbatan foizlarda quyidagicha aniqlanadi:



7.4- rasm. Ikki chulg'amli uch fazali transformorni qisqa tutash-tirib tajriba o'tkazish sxemasi (a); qisqa tutashuv xarakteristikalari (b); KR — kuchlanishni rostlagich.

$$u_{qt(\%) } = (I_N Z_{qt} / U_{1N}) 100 , \quad (7.34)$$

uning aktiv ($u_{qt,a}$) va reaktiv ($u_{qt,r}$) tashkil etuvchilari ham xuddi shuningdek aniqlanadi.

Standartga binoan, u_{qt} va $u_{qt,a}$ larni aniqlashda r_{qt} va Z_{qt} qarshiliklar A, E, B issiqqa chidamlilik klassiga mansub izolatsiyalangan transformatorlar uchun o'rtacha hisoblangan 75 °C temperaturaga quyidagicha keltiriladi:

$$r_{qt(75^{\circ})} = r_{qt} [1 + 0,004 (75^{\circ} - \theta)], \quad (7.35)$$

bunda θ — chulg'am qarshiligini o'lchayotgan paytdagi temperatura.

Qisqa tutashuv paytidagi to'la qarshilik Z_{qt} va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_{qt}$ ni ham 75 °C temperaturaga keltirish lozim. Induktiv qarshilik x_{qt} esa temperaturaga bog'liq emas.

Transformatorning qisqa tutashuv paytidagi kuchlanish, EYK hamda toklar muvozanat tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_{1qt} x_{qt}, \\ 0 &= \dot{E}_2' - \dot{I}_{2qt}' x_2' - \dot{I}_{2qt}' r_{qt}, \\ \dot{I}_{1qt} &= -\dot{I}_{2qt}' \end{aligned} \right\} \quad (7.36)$$

Qisqa tutashuvda berilayotgan kuchlanish U_{qt} ning qiymati juda kamligidan (7.29) dagi toklar muvozanat tenglamasida magnitlovchi tok $I_m \approx I_0$ ni hisobga olmasa ham bo'ladi. Bunda transformatorning 7.3 -rasm, b da ko'rsatilgan T simon almashtirish sxemasidagi magnitlovchi zanjir va uning qarshiliklari (r_m va x_m) chiqarib tashlansa, qisqa tutashuv rejimi uchun almashtirish sxemasi kelib chiqadi.

7.6. Transformatorning tashqi xarakteristikalari va kuchlanishini rostlash

Transformatorning birlamchi chulg'amiga berilgan kuchlanish $U_1 = U_{1N} = \text{const}$ va tok chastotasi ham $f = f_N = \text{const}$ bo'lganda uning salt ishlashidagi va yuklama tokining nominal qiymatidagi ikkilamchi chulg'am kuchlanishlari ayirmasiga **transformator kuchlanishining o'zgarishi** (ΔU) deyiladi. Umumiy maqsadli kuch transformatorlari asosan aktiv-induktiv yuklamada ishlagani tufayli, mazkur o'zgarish kuchlanish tushishi ko'rinishida namoyon bo'ladi. Bu kattalik transformatorni ishlatishda *muhim xarakteristikalar*dan biridir.

Odatda, ΔU qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv $u_{qt.a(\%)}$ va reaktiv $u_{qt.r(\%)}$ tashkil etuvchilari orqali yuklamaning ixtiyoriy qiymati uchun foizlarda quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta U_{(\%)} = k_{yu} [u_{qt.a(\%)} \cos \varphi_2 + u_{qt.r(\%)} \sin \varphi_2], \quad (7.37)$$

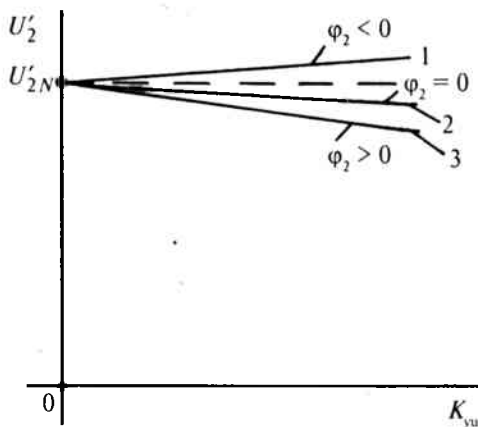
bunda $k_{yu} = I_2 / I_{2N}$ — yuklama ko'effitsiyenti.

(7.37) dan ko'rinishicha, ikkilamchi chulg'am kuchlanishi ΔU ning o'zgarishi yuklamaning qiymatiga va xarakteriga bog'liq ekan. Bunda ΔU quyidagilarga teng bo'ladi: 1) sof aktiv ($\varphi_2=0$) yuklamada $\Delta U = u_{qt.a}$; 2) sof induktiv va sig'im ($\varphi_2 = \pm 90^\circ$) yuklamalarda esa $\Delta U = \pm u_{qt.r}$.

Birlamchi chulg'amga berilgan kuchlanish $U_1 = U_{1N}$, tok chastotasi $f = f_N$ va yuklamaning quvvat ko'effitsiyenti o'zgarmaganda ($\cos \varphi_2 = \text{const}$) transformator ikkilamchi kuchlanishi U_2 ning shu chulg'amdanda o'tadigan yuklama toki I_2 (yoki yuklama ko'effitsiyenti k_{yu}) ga bog'liqligi $U_2 = f(k_{yu})$ — **transformatorning tashqi xarakteristikasi** deyiladi.

Yuklama ulanganda ikkilamchi chulg'amdanda tok o'tadi va Lens qoidasiga binoan birlamchi chulg'amdagi tok oshadi. Bu tok chulg'amlarning aktiv va induktiv qarshiliklarida kuchlanish pasayishlarini vujudga keltiradi.

Aktiv-induktiv xarakterli yuklama uchun qurilgan soddalashtirilgan vektor diagrammadan ko'rinishicha, tok I'_2 ning oshishi bilan kuchlanish U'_2 kamayar (7.5- rasm) ekan, katta sig'imli aktiv sig'im yuklamada esa kuchlanish U'_2 oshishi mumkin.



7.5- rasm. Transformatorning tashqi xarakteristikalari:

- 1 — aktiv sig'im; 2 — aktiv;
3 — aktiv-induktiv yuklamalar uchun.

Transformatorning kuchlanishini rostlash. Transformatorlarning ish jarayonida ikkilamchi chulg'am kuchlanishi U_2 transformatsiyalash koeffitsiyenti k ni o'zgartirish yo'li bilan rostlanadi. Buning uchun birlamchi chulg'am o'ramlari soni w_1 yoki ikkilamchi chulg'am o'ramlari soni w_2 ni o'zgartirish mumkin.

Kuchlanishni rostlashning quyidagi turlari mavjud:

1) transformatorni tarmoqdan uzib, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarni rostlash uchun mo'ljallangan shoxobcha pog'onasini o'zgartirish yo'li bilan (qisqacha ПБВ — переключение без возбуждения — qo'zg'atishsiz almashlab-ulash (QAU) deb yuritiladi);

2) transformatorni tarmoqqa ulangandagi normal ish holatida uning kuchlanishini rostlash [qisqacha РПН — регулирование под нагрузкой — yuklama ostida rostlash (YOR)] deb yuritiladi.

Chulg'am o'ramlari soni kontaktli qayta ulagich yordamida o'zgartiriladi. U bakning ichiga joylashtirilib, boshqariladigan qismi esa QAU turida bak qopqog'iga chiqarilgan bo'ladi. YOR turida qayta ulagich maxsus yuritma yordamida boshqariladi. Kuchlanishning yuqori kuchlanishli chulg'am tomonidan rostlanishiga sabab shuki, yuqori kuchlanish chulg'amida past kuchlanishligi nisbatan tok ancha kam bo'lib, bunda kontaktlarning ishi yengillashadi, ya'ni ularning xizmat muddati oshadi.

Kuchlanishni rostlashning YOR turida iste'molchini energiya bilan ta'minlashning uzilmasligi, uning QAU turiga nisbatan katta afzalligidir, lekin YOR turidagi qayta ulagichning tuzilishi murakkab, shu bilan birga, tannarxining qimmatligi uning kamchiligidir.

7.7. Transformatorlarda quvvat isroflari va uning foydali ish koeffitsiyenti

Ikkilamchi chulg'amdan iste'molchi (yuklama)ga beriladigan aktiv (foydali) quvvat P_2 ning transformator birlamchi chulg'ami elektr manbayidan oladigan aktiv quvvat P_1 ga nisbati *foydali ish koeffitsiyenti* (FIK) η deyiladi. U quyidagi formuladan topiladi:

$$\eta = P_2/P_1 = P_2 / (P_2 + \Sigma P') = 1 - \Sigma P' / (P_2 + \Sigma P'), \quad (7.38)$$

bunda $\Sigma P'$ — quvvat isroflari yig'indisi.

Transformatoridagi quvvat isroflari ($\Sigma P'$)ga o'zakning qayta magnitlanishi tufayli hosil bo'lgan *magnit isroflari* va chulg'am o'tkazgichlaridan tok o'tganda Joule-Lens qonuniga binoan vujudga keladigan *elektr isroflari* (shu jumladan, qo'shimcha isroflar) kiradi:

$$\Sigma P' = P'_0 + 0 + k_{yu}^2 P'_{e'}. \quad (7.39)$$

Transformatorga berilgan kuchlanish $U_1 = \text{const}$ va magnit oqimi ham $\Phi \approx \text{const}$ bo'lganligidan, transformatorning magnit isroflari o'zgarmas bo'lib, salt ishlash isroflariga taxminan teng bo'ladi.

Asosiy va qo'shimcha elektr isroflari tokning kvadratiga mutanosib ravishda o'zgaradi. Ularni nominal tokda olingan qisqa tutashuv isroflari orqali ifodalash oson:

$$P'_{e'} = (I_2/I_{2N})^2 P'_{qt.N} = k_{yu}^2 P'_{qt.N}. \quad (7.40)$$

Salt ishlashdan nominal yuklamagacha bo'lgan oraliqda ikkilamchi chulg'am kuchlanishi kam o'zgaradi, shu sababli FIK ni aniqlashda $U_2 \approx U_{2N} = \text{const}$ deb olish mumkin. U holda:

$$P_2 = m U_2 I_2 \cos\varphi_2 = k_{yu} m U_{2N} I_{2N} \cos\varphi_2 = k_{yu} S_N \cos\varphi_2, \quad (7.41)$$

bunda $S_N = m U_{2N} I_{2N}$ — transformatorning nominal quvvati, m — fazalar soni. (7.39) va (7.41) lar (7.38) ga qo'yilsa, transformatorning FIKni hisoblash formulasi kelib chiqadi:

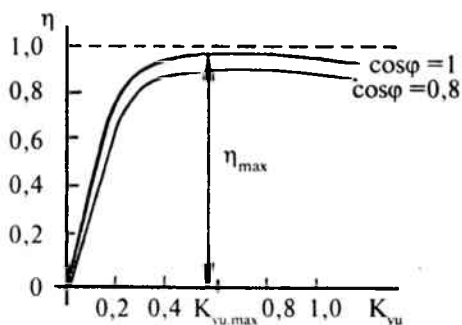
$$\eta = 1 - (P'_{0N} + k_{yu}^2 P'_{qt.N}) / (k_{yu} S_N \cos\varphi_2 + P'_{0N} + k_{yu}^2 P'_{qt.N}). \quad (7.42)$$

7.6- rasmda $\eta = f(k_{yu})$ bog'liqlik keltirilgan. FIK ning maksimum qiymati $\partial\eta/\partial k_{yu} = 0$ shartidan aniqlanadi. Bunda transformatorning o'zgarmas isroflari P'_{0N} uning o'zgaruvchan isroflari ($k_{yu}^2 P'_{qt.N}$) ga teng bo'ladi:

$$P'_{0N} = k_{yu}^2 P'_{qt.N} \quad (7.43)$$

bundan FIK ning maksimum qiymatiga to'g'ri kelgan yuklama koeffitsiyenti $k_{yu.max}$ ni aniqlash mumkin:

$$k_{yu.max} = \sqrt{P'_{0N} / P'_{qt.N}}. \quad (7.44)$$



7.6- rasm. Transformator FIK ning yuklama qiymati va xarakteriga bog'liq holda o'zgarishi.

Salt ishlash va qisqa tutashuv isroflarining o'zaro nisbati $P'_0 / P'_{qt.N} \approx 0,15 \div 0,35$ va FIK $0,98 < \eta < 0,995$ bo'lgan zamonaviy kuch transformatorlarida $k_{yu.max} \approx 0,5 \div 0,7$ bo'ladi.

Transformatorlar uchun $\eta = f(k_{yu})$ bog'liqlik o'ziga xos xususiyatga ega, ya'ni me'yoriy yuklamalarning $k_{yu} > k_{yu.max}$ qiymatlarida ham FIK kam o'zgaradi (7. 6- rasm).

FIK ga yuklamaning xarakteri ham ta'sir qiladi. Transformator yuklamasining qiymati $k_{yu} = \text{const}$ bo'lganda, uning elektr isroflari ham o'zgarmas bo'ladi. Bunday sharoitda quvvat koeffitsiyenti ($\cos \varphi_2$) ning oshirilishi aktiv quvvatning o'sishiga olib keladi va natijada transformatorning FIK η ham oshadi.

Transformatorlarning FIK katta bo'ladi. Masalan, quvvati uncha katta bo'lmagan kuch transformatorining FIK taxminan $\eta = 0,95$ bo'lsa, katta quvvatli transformatorniki $\eta = 0,995$ ga yetadi.



Nazorat savollari

1. Transformatorning ishlashi nimaga asoslangan?
2. Transformatorida o'zaro induksiya va o'zinduksiya EYK lari qanday aniqlanadi?
3. Transformatsiyalash koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
4. Uch fazali transformatorlar salt ishlashining o'ziga xos xususiyatlari nimalardan iborat?
5. Salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalarini o'tkazib transformatorning qanday parametrlari aniqlanadi?
6. Transformatorning tashqi xarakteristikasidan nima aniqlanadi?
7. Transformator FIK ning yuklama kattaligi va xarakteriga bog'liq holda o'zgarishini qanday tushunasiz?

8.1. Transformator chulg'amlarining ulanish
guruhini aniqlash

Bir fazali transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlash. 8.1- rasmda bitta o'zakda joylashtirilgan ikkita 1 va 2 chulg'amni bir xil magnit oqimi Φ ning kuch chiziqlari kesib o'tayotgan hol ko'rsatilgan. Agar chulg'amlarning o'ralish yo'nalishi va uchlarining belgilanishi bir xil bo'lsa (8.1- rasm, a), ularda hosil bo'lgan EYK bir xil yo'nalgan bo'ladi va, demak, faza bo'yicha mos tushadi,

Agar shu chulg'amlardan bittasida, masalan, PK chulg'ami 2 uchlarining belgilanishi almashtirilsa, unda hosil bo'lgan EYK ning chulg'am uchlariga nisbatan yo'nalishi teskariga o'zgaradi, ya'ni „a“ dan „x“ ga yo'nalib, YK va PK chulg'amlar EYK lari E_1 va E_2 faza bo'yicha 180° ga siljigan bo'ladi.

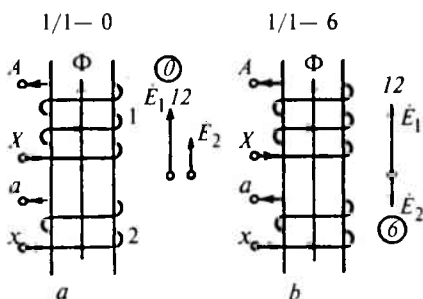
Chulg'am uchlarini o'zgartirmay bironta (masalan, PK) chulg'amning o'ralish yo'nalishini o'zgartirganda ham E_1 va E_2 EYK ning o'zaro siljish fazasi 180° bo'ladi.

Shunday qilib, YK va PK faza chulg'amlari EYK lari orasidagi faza siljishi shu chulg'amlar uchlarining belgilanishiga hamda o'ralish yo'nalishiga bog'liq ekan. Mazkur chulg'amlar bitta o'zakda joylashtirilganda, bu siljish 0 yoki 180° ga teng bo'lishi mumkin. Ularni ulanish guruhining birligi (30°) ga bo'lsak, 0 yoki 6-guruh kelib chiqadi (8.1- rasm, b).

Uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlash.

Uch fazali transformatorlarda chulg'amlarning ulanish guruhilari YK va PK chulg'amlariga tegishli bir xil liniya (bir fazali transformatorlarda esa faza) kuchlanishlari vektorlarining o'zaro siljish burchagini ifodalaydi.

Chulg'amlarning ulanish guruhini oddiy soatdan foy-



8.1- rasm. Bir fazali transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlash.

dalanib aniqlash oson usul hisoblanadi. Buning uchun avval soatni tasvirlovchi doira chizib, aylanaga uning raqamlari qo'yiladi. Uch fazali transformatorning ulanish guruhi YK va PK chulg'amlarning liniya EYK vektorlari orqali aniqlanganligidan doiraga YK chulg'ami uchun EYK vektor diagrammasi chiziladi.

Buni quyidagi sxemalar uchun ko'rib chiqamiz:

a) Y / Y sxema (usuli) uchun transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlash. Ma'lumki, yulduz sxemasida ulangan YK chulg'am faza EYK ining vektor diagrammasi bir-biridan faza jihatdan 120° ga siljigan uchta bir xil vektordan iborat bo'lib, ularning uchlari o'zaro to'g'ri chiziqlar bilan tutashtirilganda tomonlari liniya (fazalararo) kuchlanishni beradigan teng tomonli uchburchak hosil qiladi.

Uchburchakning bitta (masalan, AB) tomoni YK chulg'aminin liniya EYK vektoriga modul jihatdan teng ($AB = E_{AB}$) va soatning 12 raqamiga doim yo'nalgan bo'lishi kerak. Shu sababli YK chulg'aminin vektor diagrammasiga oid uchburchak doiraning markazidan 12 raqamga yo'naltirilgan AB radiusni chizishdan boshlanadi (8.2 -rasm, b). Uchburchak boshqa ikki tomonining holatini aniqlash uchun uzunligi AB radiusga teng BC vatarni B nuqtadan o'tkazamiz. A, B va C nuqtalarni o'zaro birlashtirib, teng tomonli uchburchak hosil qilinadi. Bu uchburchak medianalarining kesishgan nuqtasidan uning uchlorigacha bo'lgan masofa YK chulg'ami faza EYK ni beradi.

Yuqori kuchlanishli chulg'am uchun aniqlangan faza EYK vektorlari transformatorning PK chulg'ami uchun vektor diagrammani qurish uchun zarur. Bunda YK va PK chulg'amlarining o'ralish yo'nalishi hamda faza chulg'amlari uchlarning belgilanishi bir xil bo'lganda bir o'zakka joylashtirilgan chulg'amlarni bitta faza magnit oqimining kuch chiziqlari kesib o'tadi. Bunda faza chulg'amlarining oxiridan boshiga bir xil yo'nalganligi tekshiriladi.

Ikkilamchi chulg'am liniya EYK vektori E_{ab} (bir fazali transformator faza EYK vektori E_{xa}) YK chulg'aminin liniya EYK vektori E_{AB} ga nisbatan 0 dan 360° gacha oraliqdagi burchaklarga siljigani uchun 360° ni 12 ga bo'lgandan chiqqan natija (30°) ulanish guruhining birligi qilib qabul qilinadi. Yulduz sxemasida ulangan past kuchlanishli chulg'am EYK vektor diagrammasini qurish uchun YK chulg'aminin A faza chulg'amli EYK vektori E_{xa} bilan mos tushadigan yo'nalishda yordamchi MN punktir chiziq chiziladi va uning doiradan yuqori qismida

birorta nuqtani belgilab, shu nuqtadan PK chulg'amining faza EYK vektorlari (E_{xa} va E_{yb}) YK chulg'am A va B fazalarining tegishli EYK vektorlari (E_{xA} va E_{yB}) ga mos ravishda yo'naltiriladi. Ularning uchlarini to'g'ri chiziq bilan birlashtirib, liniya EYK vektori E_{ab} hosil qilinadi. Guruhni aniqlash uchun shu vektorning yo'nalishini bilish kifoya.

Past kuchlanishli chulg'am liniya EYK vektori E_{ab} ning YK chulg'am liniya EYK vektori E_{AB} ga nisbatan siljishini aniqlash maqsadida PK chulg'am uchun qurilgan vektor diagrammaning E_{ab} vektorini o'ziga parallel ravishda doiraning ichidagi YK chulg'ami uchun qurilgan vektor diagramma tomon shunday siljitish lozimki, bunda uning „a“ nuqtasi E_{AB} vektorning „A“ nuqtasi ustiga tushsin.

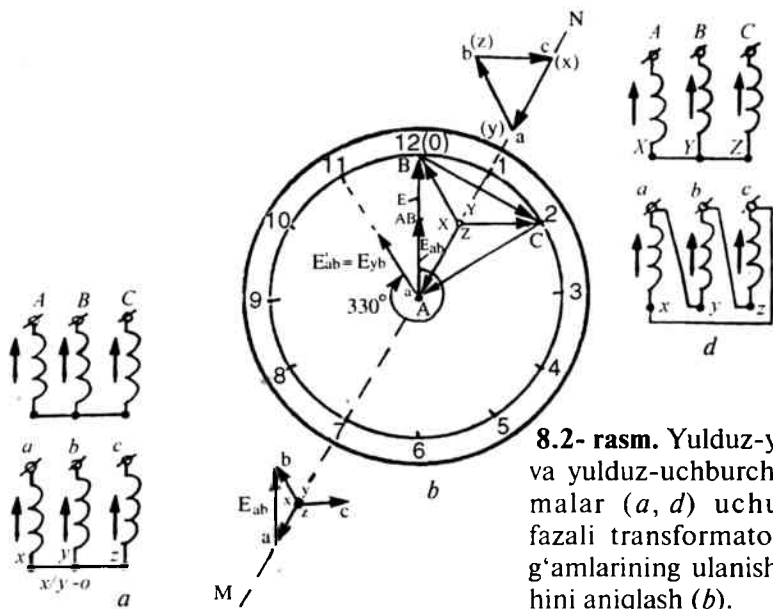
E_{xA} va E_{xa} faza EYK vektorlar MN chizig'i ustida yotganligidan „a“ nuqtani „A“ ning ustiga qo'yishda mazkur yordamchi chiziq juda qo'l keladi.

Chulg'amlar Y/Y sxemasi bo'yicha ulangan hol uchun qurilgan vektor diagrammalar shu tartibda birlashtirilganda PK chulg'amining liniya EYK vektori E_{ab} YK chulg'amining liniya EYK vektori E_{AB} bilan ustma-ust tushadi. Ularning orasidagi siljish burchagi 0 bo'lgani uchun chulg'amlarning ulanish guruhi 0 ($0 : 30^\circ = 0$) bo'ladi (mazkur usulda sanoq sistemasi 0 dan boshlangani uchun 12 ni 0 bilan almashtirish tavsiya qilinadi). Uch fazali transformatorning ulanish guruhini soat yordamida aniqlash usulida past kuchlanishli chulg'am liniya EYK vektori (E_{ab}) soatning kichik mili bilan belgilanadi va chulg'amning ulanish guruhlariga qarab, bu mil 12 (0) dan 11 gacha bo'lgan butun sonlarni ko'rsatishi mumkin (8.2- rasm).

b) „Yulduz - uchburchak“ sxema uchun transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlash.

Transformatorning YK chulg'ami yulduz, PK chulg'ami esa uchburchak sxemasi (8.2- rasm, d) bo'yicha ulanganda YK chulg'amida o'zgarish bo'lmagani uchun vektor diagramma 8.2-rasm, b dagi bilan bir xil bo'ladi.

Chulg'amlari bir xil yo'nalishda o'ralgan, faza chulg'amlari uchlarining belgilanishi va bu chulg'amlardagi EYK ning yo'nalishlari ham bir xil bo'lgan PK chulg'amida liniya EYK E_{ab} miqdor jihatdan shu chulg'am fazaviy EYK E_{ub} ga teng ($E_{ab} = E_{yb}$) bo'ladi.



8.2- rasm. Yulduz-yulduz va yulduz-uchburchak sxemalar (a, d) uchun uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlash (b).

8.2- rasm, d) dagi PK chulg'am uchun vektor diagrammani qurishda yordamchi MN chiziqning doiradan yuqori qismida bironta nuqtadan YK chulg'amining B faza EYK vektori E_{YB} ga parallel qilib, unga mos yo'nalishda $E_{ob} = E_{uy}$ vektori chiziladi. Boshqa fazalarga oid EYK vektorlarini ham shunday tartibda chizish mumkin. So'ngra PK chulg'am liniya EYK vektori E_{ob} ni o'ziga parallel qilib, „a“ nuqtasi YK chulg'ami liniya EYK vektori E_{AB} ning N chizig'i ustidagi nuqtasi bilan ustma-ust tushgunga qadar siljiriladi. Bunda E_{ob} vektor soatning 11 raqamiga yo'nalgan holatni egallaydi. Demak, transformator chulg'amlarining ulanish guruhi 11 ekan. E_{AB} vektordan boshlab soat milining aylanishi bo'yicha burchakni o'lchab, uni 30° ga bo'lganda ham shu natija ($330^\circ : 30^\circ = 11$) olinadi.

Uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish guruhini tajriba yo'li bilan voltmeter usulida aniqlash. Bu usulda chulg'amlarning liniya kuchlanishi (yoki EYK) orasidagi siljish burchagi o'lchanmaydi. Demak, u bilvosita usul bo'lib, YK va PK chulg'amlarining bir xil nomli uchlararo kuchlanish (yoki EYK) ni o'lchashga asoslangan.

Agar Y/Y (8.3- rasm) ulanish sxemasi tekshirilsa, YK va PK chulg'amlarining „A“ va „a“ uchlarini ulab, U_{Bb} („B“ va „b“

uchlariaro) va U_{Cc} („C“ va „c“ uchlariaro) kuchlanishlar o‘lchanadi. O‘lchangan kuchlanishlar quyidagi tenglamani

$$U_{Bb} = U_{Cc} = U_{ab} (k_l - 1) \quad (8.1)$$

qanoatlantirsa (bu tenglamada $k_l = U_{AB}/U_{ab}$ — liniya kuchlanishlarini transformatsiyalash koeffitsiyenti), 0- guruhga mos keladi.

Agar Y/Y sxemada tajribadan o‘lchab olingan qiymatlar

$$U_{Bb} = U_{Cc} = U_{a'b'} (k_l + 1) \quad (8.2)$$

tenglamani qanoatlantirsa, unda 6- guruhga mos keladi.

Yulduz-uchburchak sxemada tajribadan o‘lchab olingan qiymatlar

$$U_{Bb} = U_{Cc} = U_{ab} \sqrt{1 - \sqrt{3} + k_l + k_l^2} \quad (8.3)$$

tenglamani qanoatlantirganda Y/ Δ — 11 guruhga mos keladi, agar

$$U_{Bb} = U_{Cc} = U_{a'b'} \sqrt{1 + \sqrt{3} + k_l + k_l^2} \quad (8.4)$$

tenglamani qanoatlantirsa, Y/ Δ — 5 guruhga mos keladi.

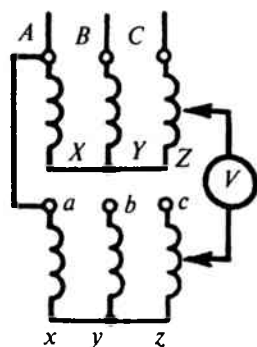
8.2, 8.3 va 8.4 tenglamalarda U_{av} va $U_{a'v'}$ — PK chulg‘ami liniya kuchlanishlaridir.

Agar o‘lchangan kuchlanishlar keltirilgan formulalarni qanoatlantirmasa, transformator chulg‘amlarining uchlari noto‘g‘ri belgilanganligidan dalolat beradi.

Transformator chulg‘amlari ulanish guruhlarining qo‘llanish sohalari.

Y/Y₀ — 0. Yuqori kuchlanishli chulg‘ami yulduz, past kuchlanishli chulg‘ami esa neytral (0) simi tashqariga chiqarilgan, yulduz sxemasida ulangan 0 guruhli, quvvati katta bo‘lmagan, kuchlanishi esa 10/0,4kV yoki 6/0,4kV bo‘lgan transformatorlar elektr iste‘molchilari yorug‘lik va kuch elektr jihozlaridan iborat bo‘lgan aralash yuklamalar uchun ishlatiladi.

Bunda elektr motor liniya kuchlanishi, yorug‘lik, uy-ro‘zg‘or hamda maishiy xizmat korxonalaridagi elektr asboblari, asosan, faza kuchlanishiga ulanadi. Bu sxemani Δ/Y — 11 guruhli ulanish



8.3- rasm. Transformatorning ulanish guruhini tajriba yo‘li bilan voltmetr usulida aniqlash.

sxemasi bilan almashtirish mumkin. Transformatorning chulg'am-lari bu sxemaga ulanganda, fazalarining yuklamasi nosimmetrik bo'lganda ham nisbatan yaxshi ishlaydi. Bu esa mazkur ulanish guruhining afzalligi hisoblanadi.

Y/ Δ – 11. Yuqori kuchlanishli chulg'ami yulduz, past kuchlanishli chulg'ami esa uchburchak sxemasiga binoan ulangan 11-guruhli transformatorlar past kuchlanishi 400 V dan katta bo'lgan (6/0,525; 10/0,525; 35/10; 35/6 kV) hollarda ishlatiladi.

Y_0/Δ – 11. Yuqori kuchlanishli chulg'ami, neytral (0) simi tashqariga chiqarilgan yulduz, past kuchlanishli chulg'ami esa uchburchak sxemasida ulangan 11-guruhli transformatorlar kuchlanishi 110 kV va undan yuqori bo'lgan hollarda ishlatiladi.

Yuqori kuchlanishlarda chulg'amni yulduz (Y) sxemasida ulash qulay, chunki chulg'amga beriladigan faza kuchlanishi (U_f) liniya kuchlanishi (U) dan $\sqrt{3}$ marta kichik bo'ladi. Bunda chulg'amni tayyorlashda izolatsiyalovchi material kam sarflanib, transformatorning tannarxi pasayadi.

Past kuchlanishli chulg'amlar ko'pincha uchburchak (Δ) sxemasida ulanadi. Bunday sxemada transformator fazalaridagi yuklama notekis bo'lsa ham yaxshi ishlaydi, undan tashqari, chulg'amning faza toki I_f liniya tok I dan $\sqrt{3}$ marta kam bo'ladi. Bunda chulg'am tannarxi nisbatan arzon bo'ladi.

Y/Y – 0 ulanish guruhida magnit oqimining asosiy tashkil etuvchisi $\Phi_{(1)}$ dan tashqari uning 3- garmonikasi $\Phi_{(3)}$ ham vujudga keladi. Transformatorning konstruktiv elementlarida $\Phi_{(3)}$ hosil qilgan uyurma tok uni me'yorida ortiqcha qizdirib yuboradi. Shu kamchiliklariga ko'ra Y/Y – 0 sxema kam qo'llaniladi.

Ehtiyojlarga ko'ra, sanoatda, asosan, Y/ Y_0 – 0; Δ/Y – 11; Y/ Δ – 11; Y_0/Δ – 11 ulanish guruhlari tayyorlanadi. Bulardan Y/ Δ yoki Δ/Y sxemaga oid ulanish guruhlari afzal hisoblanadi. Shu sababli davlat standarti Δ/Y – 11 ulanish guruhini qo'llashni tavsiya etadi.

Xulosa: 1) chulg'am fazalarining bak qopqog'idagi standart bo'yicha belgilanish tartibi („A–B–C“ va „a–b–c“) o'zgartirilmaganda Y/Y – 0 sxema 0 yoki 6 guruhni beradi;

2) moyli transformator chulg'amlarining bak ichida ulangan Y/Y – 0 sxemasini o'zgartirmagan holda, PK faza chulg'amlarining uchlarini chapdan o'ngga („a–b–c“; „c–a–b“; „b–c–a“) siljitib belgilash orqali 0- guruhdan 4 va 8-guruhlarni hosil qilish mumkin.

8.2. Transformatorlarning parallel ishlashi

Transformatorlar *parallel ishlaganda* ularning birlamchi chulg'ami umumiy tok manbayidan yoki elektr tarmog'idan energiya oladi va ikkilamchi chulg'amlari umumiy iste'molchini energiya bilan ta'minlaydi.

Transformatorlarni parallel ishlatish iste'molchilarni elektr energiya bilan uzluksiz ta'minlash imkonini beradi.

Masalan, parallel ishlayotgan transformatorlardan birortasida avariya sodir bo'lsa yoki ta'mirlash uchun uni manbadan ajratganda ham energiya ta'minoti uzilmaydi, chunki iste'molchilar elektr energiyani parallel ishlayotgan boshqa transformatordan oladilar.

Podstansiyaning umumiy yuklamasi oshganda parallel ishlayotgan transformatorlarning soni oshirilib, yuklama kamayganda esa bir qismi tarmoqdan ajratib qo'yiladi. Transformatorlar yuklamasidan shu tarzda foydalanish, ularning energetik ko'rsatkichlari (FIK va $\cos \alpha$)ni yaxshilaydi.

Transformatorlarni parallel ishlashga ulash shartlari.

Transformatorlarni parallel ishlashga ulashda ularning chulg'amlarida tenglashtiruvchi tok vujudga kelmasligi va umumiy yuklama parallel ulangan transformatorlarning quvvatiga mos holda taqsimlanishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak, ya'ni: parallel ulanadigan va ishlab turgan transformatorlarning:

— birlamchi nominal kuchlanishlari o'zaro teng ($U_{1.N(I)} = U_{1.N(II)}$) va ikkilamchi nominal kuchlanishlari ham teng bo'lishi, ya'ni liniya transformatsiyalash koeffitsiyentlari bir xil bo'lishi:

$$k_{1.I} = k_{1.II} = \dots = k_{1.n}; \quad (8.5)$$

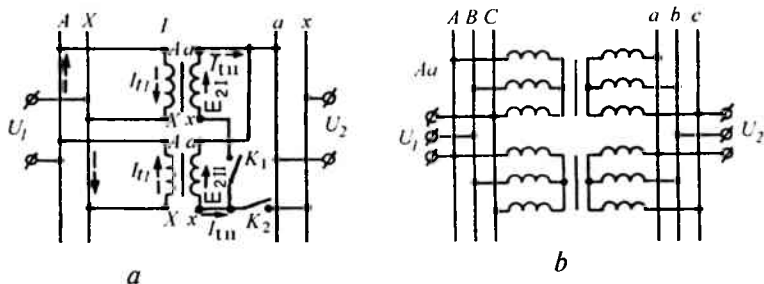
— qisqa tutashuv kuchlanishlari ham bir xil bo'lishi:

$$u_{qt.I} = u_{qt.II} = \dots = u_{qt.n}; \quad (8.6)$$

— chulg'amlar ulanishi jihatidan bitta guruhga taalluqli bo'lishi lozim.

Ikkita bir fazali kuch transformatorlarini parallel ishlashga ulash sxemasi 8.4 -rasm, *a* da va parallel ishlashga ulangan ikkita uch fazali kuch transformatorining sxemasi 8.4 -rasm, *b* da ko'rsatilgan.

Transformatsiyalash koeffitsiyentlari k_p ularning o'rtacha arifmetik qiymatlaridan $\pm 0,5$ % gacha, qisqa tutashuv kuchlanishlari U_{qt} esa ± 10 % gacha farq qilganda ham transformatorlarni parallel ishlatish mumkinligi standartda belgilangan. Undan tashqari,



8.4- rasm. Bir fazali kuch transformatorlarini parallel ishlashga ulash (a), parallel ishlashga ulangan ikkita uch fazali kuch transformatori (b);
 I — birinchi transformator, II — ikkinchi transformator.

parallel ishlaydigan transformatorlar nominal quvvatlarining farqi uch martadan oshmasligi kerak, chunki transformatorning qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} uning nominal quvvati va kuchlanishi oshgan sari oshib boradi.

Chulgʻamlarining ulanish guruhlarini har xil boʻlganda transformatorlarni parallel ulash mumkin emas, chunki bunda ularning chulgʻamlaridan qiymati qisqa tutashuv toki qiymatiga yetadigan tenglashtiruvchi tok oʻtadi. Bu esa transformatorlar uchun xavflidir.

Yuqorida koʻrsatilgan shartlardan birortasi bajarilmagan hol uchun transformatorlarning parallel ishlashini koʻrib chiqamiz.

$k_{1,I} \neq k_{1,II}$ boʻlgan transformatorlarning parallel ishlashi. Agar transformatorlarning birlamchi chulgʻam EYK i shartga koʻra teng boʻlsa, unda ikkilamchi chulgʻam EYK i transformatsiyalash koeffitsiyentlari $k_{1,I} < k_{1,II}$ da $E_{2,I} > E_{2,II}$ boʻladi. Natijada, $\Delta \dot{E} = \dot{E}_{2,I} + \dot{E}_{2,II}$ boʻlib, uning taʼsirida transformatorlar chulgʻamlari orasida tenglashtiruvchi tok I_{teng} vujudga keladi:

$$I_{teng} = \Delta E / (Z_{qt,I} + Z_{qt,II}), \quad (8.7)$$

bunda Z_{qt} — har bitta transformatorning toʻla qisqa tutashuv qarshiligi.

Tenglashtiruvchi tok I_{teng} ning taʼsiri tufayli transformatorlarda toklar tengsizligi ($I_{2,I} > I_{2,II}$) hosil boʻladi. Bunday sharoitda transformator T_I oʻta yuklanib, T_{II} niki meʼyorida kam boʻladi.

$u_{qI} \neq u_{qII}$ boʻlgan transformatorlarning parallel ishlashi. Agar transformatsiyalash koeffitsiyenti teng va chulgʻamlarining ulanish guruhlarini bir xil boʻlib, qisqa tutashuv kuchlanishlari teng boʻl-

magan ikkita transformatorni parallel ishlashga ulaganda yuklama oshirilsa, qisqa tutashuv kuchlanishi kam bo'lgan transformator ikkinchisiga nisbatan birinchi navbatda nominal quvvatiga erishadi. Umuman, parallel ishlayotgan kuch transformatorlari orasida yuklama ularning qisqa tutashuv kuchlanishlariga teskari mutanosibda taqsimlanadi, ya'ni

$$(S_I / S_{I,N}) : (S_{II} / S_{II,N}) = U_{qt,II} / U_{qt,I} . \quad (8.8)$$

Demak, qisqa tutashuv kuchlanishlari har xil bo'lgan transformatorlarni parallel ishlatishda ularning o'rnatilgan quvvatidan to'la foydalanib bo'lmas ekan.



Nazorat savollari

1. Transformator chulg'amlarining ulanish guruhi deganda nimani tushunasiz?
2. Uch fazali transformatorida ulanish guruhi qanday aniqlanadi?
3. Ulanish guruhi tajriba yo'li bilan qanday aniqlanadi?
4. Qanday shartlar bajarilganda transformatorlarni parallel ulash mumkin?
5. $u_{qt,I} \neq u_{qt,II}$ bo'lganda parallel ishlayotgan transformatorlarda yuklama qanday taqsimlanadi?

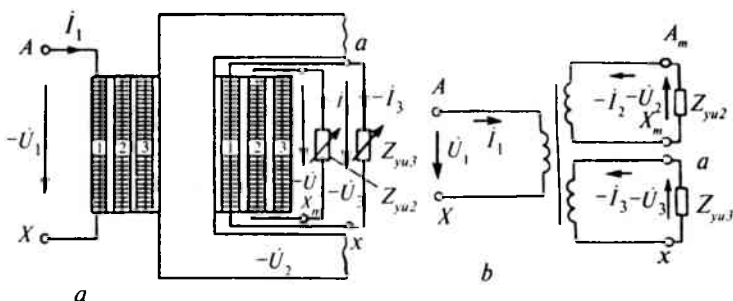
9.1. Uch chulg'amli transformatorlar

Uch chulg'amli transformatorning ishlash prinsipi ikki chulg'amli oddiy transformatornikidan farq qilmaydi. Birlamchi chulg'amga o'zgaruvchan tok berilganda magnit o'tkazgichda o'zgaruvchan magnit oqimi hosil bo'ladi. Magnit oqimining kuch chiziqlari ikkinchi va uchinchi chulg'amlarni kesib o'tib, ularda mos ravishda E_2 va E_3 EYK larni hosil qiladi. Ikkinchi va uchinchi chulg'amlarga yuklama ulansa, shu chulg'amlardagi EYK lar ta'sirida ulardan mos ravishda I_2 va I_3 toklar o'tib, chulg'amlarning chiqish uchlarida tegishli U_2 va U_3 kuchlanishlar yuzaga keladi (9.1- rasm). Uch chulg'amli transformatorning ikkinchi va uchinchi chulg'amlariga yuklama ulanganda uning magnit zanjiri uchta chulg'am magnit yurituvchi kuchlarining geometrik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\dot{I}_0 w_1 \approx \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 + \dot{I}_3 w_3. \quad (9.1)$$

Bu tenglamaning chap va o'ng tomonlarini w_1 ga bo'lib, $\dot{I}_2 w_2 / w_1 = \dot{I}_2'$ va $\dot{I}_3 w_3 / w_1 = \dot{I}_3'$ belgilashlar kiritgandan keyin hamda salt ishlash tokini $I_0 \approx 0$ deb, uch chulg'amli transformator toklarining muvozanat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\dot{I}_1 = -(\dot{I}_2' + \dot{I}_3'). \quad (9.2)$$



9.1- rasm. Uch chulg'amli pasaytiruvchi transformator o'zagida chulg'amlarning joylashtirilishi (a) va uning sxematik tasviri (b):

1, 2, 3 — tegishli birlamchi, ikkilamchi va uchlamchi chulg'amlar; Z_{yu2} , Z_{yu3} — tegishli ikkilamchi va uchlamchi chulg'amlarga ulangan yuklama.

Umumiy maqsadli uch chulg'amli kuch transformatorlari katta quvvat ($6300 \div 80\,000 \text{ kV} \cdot \text{A}$) va yuqori kuchlanishlar ($35 \div 220 \text{ kV}$)ga mo'ljallab tayyorlanadi. Uch chulg'amli transformatorning afzalligi shundan iboratki, ayrim hollarda elektr stansiyasi yoki transformator podstansiyasida kuchlanishi har xil bo'lgan ikkita ikki chulg'amli kuch transformatori o'rniga bitta uch chulg'amli transformator ishlatish mumkin.

Uch chulg'amli transformatorida barqaror elektromagnit jarayonlar ikki chulg'amli transformatornikiga o'xshash kechadi. Ikkilamchi chulg'amlar orasidagi magnit bog'lanish ularning o'zaro bir-biriga ta'sir etishiga sabab bo'ladi.

Uch chulg'amli transformatorning transformatsiyalash koefitsiyentlari ($k_{1,2}, k_{1,3}, k_{2,3}$) uning salt ishlash tajribasidan aniqlanadi;

$$\left. \begin{aligned} k_{1,2} &\approx U_1 / U_2, & k_{1,3} &\approx U_1 / U_3, \\ k_{2,3} &\approx U_2 / U_3 = (U_2 / U_1) / (U_3 / U_1) = k_{1,3} / k_{1,2}, \end{aligned} \right\} \quad (9.3)$$

bunda $k_{2,3}$ ni aniqlash uchun U_2 / U_3 kasrning surat va maxraji U_1 ga bo'lingan.

Standartga ko'ra, zamonaviy uch chulg'amli kuch transformatorlarida chulg'amlarning har bittasi 100 % quvvatga mo'ljallab tayyorlanadi. Bunda transformator 100 % quvvatni ikkilamchi chulg'amlardan bittasiga beradi yoki bu quvvat ikkinchi va uchinchi chulg'am quvvatlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

Chulg'amlarning o'zakda joylashtirilish tartibi transformator qisqa tutashuv kuchlanishlari qiymatiga ta'sir qiladi.

Ikkinchi va uchinchi chulg'am quvvat koefitsiyentlari $\cos\varphi_2 = \cos\varphi_3 = 1$ bo'lganda, uch chulg'amli transformatorlarning FIK $\eta = 98,25 \div 99,25$ % bo'ladi.

Standartga ko'ra, uch fazali uch chulg'amli transformatorlarda $Y_n / Y_n / \Delta = 0 - 11$ yoki $Y_n / \Delta / \Delta = 11 - 11$ guruhlar ishlatiladi.

9.2. Avtotransformatorlar

Chulg'amlari elektromagnit bog'lanishdan tashqari elektr bog'lanishga ham ega bo'lgan transformator turi *avtotransformator* deb ataladi.

Transformatorida birlamchi chulg'amdan ikkilamchi chulg'amga to'la energiya elektromagnit vositasida berilsa, avtotransformatorida to'la energiyaning bir qismi shu yo'l bilan, boshqa qismi esa bevosita beriladi. Bu avtotransformatorning o'ziga xos xususiyati hisoblanadi.

Avtotransformatorlar kuchlanishni *pasaytiruvchi va oshiruvchi, bir fazali va uch fazali, ikki chulg'amli va uch chulg'amli* turlarga bo'linadi. Kam quvvatli kuchlanishni rostlovchi avtotransformatorning bitta chulg'ami bo'lib, uning bir qismi ikkilamchi (yoki birlamchi) chulg'am vazifasini bajaradi. Bunda kuchlanish chulg'am sirtida sirpanuvchi kontaktlar yordamida ikkilamchi chulg'am o'ramlari sonini o'zgartirib rostlanadi.

Agar avtotransformator chulg'aminging „AX“ uchlarini tarmoqqa ulab, uning „ax“ qismiga iste'molchi ulansa, *pasaytiruvchi* avtotransformator (9.2- rasm), agarda „ax“ qismini tarmoqqa ulab, „AX“ uchlariga iste'molchi ulansa, *oshiruvchi* avtotransformator bo'ladi.

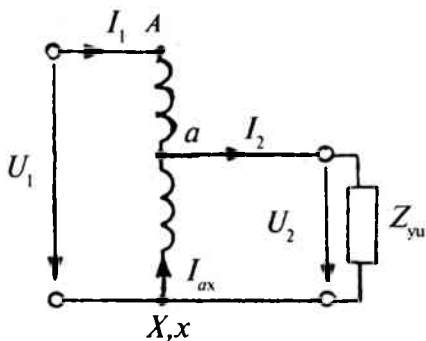
Yuklama ulanmagan pasaytiruvchi avtotransformatorning „AX“ chulg'amiga (o'ramlar soni W_{AX}) o'zgaruvchan kuchlanish U_1 berilganda, undan salt ishlash toki I_{0A} o'tib, transformator-dagi singari o'zinduksiya EYK E_{AX} hosil bo'ladi. Salt ishlashda shu chulg'amning yuklama ulanadigan (o'ramlar soni W_{ax}) qismidagi EYK E_{ax} kelib chiqishiga ko'ra o'zinduksiya EYK bo'lib, u E_{AX} ning bir qismini tashkil etadi (transformator ikkilamchi chulg'amida esa o'zaro induksiya EYK hosil bo'ladi).

Avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti k_A quyidagicha aniqlanadi:

$$k_A = E_{YK} / E_{PK} = w_{AX} / w_{ax} \approx U_1 / U_2 . \quad (9.4)$$

Salt ishlash rejimidan avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti k_A , salt ishlash toki I_{0NA} , isroflari P_{0NA} va parametrlarini aniqlash mumkin.

Pasaytiruvchi avtotransformatorga yuklama ulanganda chulg'amning birlamchi zanjiridan I_1 , ikkilamchi zanjirdan esa $I_2 > I_1$ tok o'tadi.



9.2- rasm. Chulg'aminging bir qismi ikkilamchi chulg'am vazifasini bajaradigan bir fazali pasaytiruvchi avtotransformatorning prinsipial sxemasi.

Pasaytirilgan avtotransformator chulg'aming umumiy qismi „a — x“ bo'yicha o'tayotgan tok I_{ax} :

$$I_{ax} = I_2 - I_1 \quad (9.6)$$

birlamchi zanjir toki I_1 ga teskari, ikkilamchi zanjir toki I_2 bilan esa mos yo'nalgan bo'ladi.

Agar avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti 1 ga yaqin ($k_A > 1$) bo'lsa, I_1 va I_2 toklar bir-biridan kam farq qilib, ularning ayirmasi kichik qiymatni tashkil etadi. Bu avtotransformator chulg'aming umumiy („a—x“) qismini kesimi kichik bo'lgan simdan tayyorlash imkonini beradi.

Avtotransformatordagi isroflarni hisobga olmagan holda uning kirishidagi ($S_1 = U_1 I_1$) va chiqishidagi ($S_2 = U_2 I_2$) quvvatlarni tenglaymiz:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 = S_{o1} \quad (9.7)$$

Chulg'am ikkilamchi zanjirining chiqishidagi to'la quvvat S_2 o'tuvchi quvvat S_{o1} deyiladi.

(9.6) tenglamadan tok I_2 ni topib, uning qiymati ($I_2 = I_1 + I_{ax}$)ni o'tuvchi quvvat formulasi (9.7)ga qo'yamiz:

$$S_{o1} = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_{ax}) = U_2 I_1 + U_2 I_{ax} = S_c + S_h \quad (9.8)$$

Avtotransformatorda hisobiy quvvat S_h o'tuvchi quvvat S_{o1} ning faqat bir qismini tashkil etib, quyidagi afzalliklarga ega: a) avtotransformator tayyorlash uchun teng quvvatli odatdagi transformator magnit o'tkazgichiga nisbatan kesim yuzasi kichik bo'lgan magnit o'tkazgichdan foydalanish mumkin; b) chulg'am o'ramining o'rtacha uzunligi nisbatan qisqa bo'lib, chulg'amni tayyorlashda sim va izolatsiyalar kam sarflanadi; d) FIK nisbatan katta, tannarxi esa arzon.

Transformatsiyalash koeffitsiyenti o'zgartirib turiladigan avtotransformatorlar amalda keng ishlatilib, ular *kuchlanish rostlagichlari* deyiladi. Bir fazali (RNO turi) va uch fazali (RNT turi) rostlagichlar bo'ladi.

Uch chulg'amli avtotransformatorda PK chulg'aming asosiy vazifasi elektr uzatish liniyasini tokning yuqori (uchinchi) garmonikasidan himoya qilishdan iborat.

Avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti $k_A > 2,5$ bo'lsa, quyidagi kamchiliklar yuzaga keladi:

1) pasaytiruvchi avtotransformatorda qisqa tutashuv toki katta bo'ladi;

2) yuqori kuchlanish tomoni past kuchlanish tomoniga ulanganligi sababli, butun chulg'am izolatsiyasi katta elektr mustahkamlikka ega bo'lishi talab etiladi;

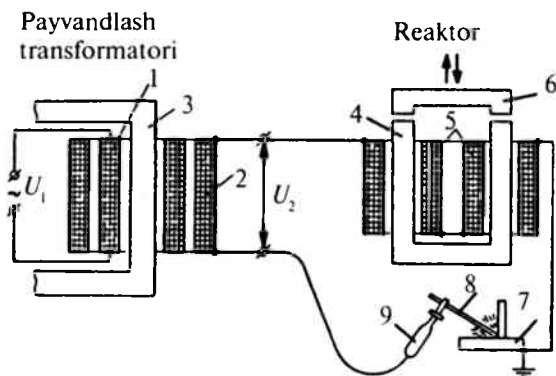
3) pasaytiruvchi kuch avtotransformatorlarida past kuchlanish tarmog'ining simlari bilan yer orasida katta kuchlanish paydo bo'ladi.

9.3. Maxsus maqsadli transformatorlar

Elektr yoy vositasida payvandlash uchun ishlatiladigan maxsus maqsadli transformatorlar, odatda, *payvandlash transformatorlari* deb yuritiladi. Payvandlash transformatorlari kuchlanishi 220 yoki 380 V bo'lgan elektr energiyani metallni yoy yordamida payvandlash uchun zarur bo'lgan salt ishlashdagi kuchlanishi 60 V bo'lgan elektr energiyaga o'zgartirib beradi.

Payvandlash transformatorining asosiy konstruktiv qismlari 9.3- rasmda ko'rsatilgan.

Metallarni payvandlashda STN-500-1 payvandlash transformatori amalda keng qo'llaniladi. Uning texnik ma'lumotlari: birlamchi chulg'am kuchlanishi 380 va 220 V, salt ishlashdagi ikkilamchi chulg'am kuchlanishi 60 V, nominal payvandlash toki 500 A (bu tok rostlash jarayonida 1700 A gacha oshishi mumkin), ikkilamchi chulg'am chiqishidagi quvvati 15 kW, tarmoqdan oladigan quvvati 33 kV·A.



9.3-rasm. Payvandlash transformatori (reaktor ajratib ko'rsatilgan):

1, 2 — tegishli YK va PK chulg'amnlari; 3 — magnit sistemasi; 4, 6 — tegishli reaktor magnit sistemasining qo'zg'almas va qo'zg'aluvchi qismlari; 5 — reaktor chulg'ami; 7 — payvandlanadigan detal; 8 — elektrod; 9 — tokli simning izolatsiyalangan tutqichi.

To'g'rilagich qurilmalari uchun transformatorlar. Kam quvvatli to'g'rilagich qurilmalari o'zgaruvchan tok tarmog'iga bevosita, katta quvvatli to'g'rilagich qurilmalar esa maxsus maqsadli kuch transformatorlari orqali ulanadi. Transformator moyi to'ldirilgan bitta bakda yarim o'tkazgichli asboblardan va ularni elektr energiya bilan ta'minlovchi maxsus maqsadli kuch transformatorlari joylash-tirilgan qurilma o'zgartirgich agregati deb ataladi.

O'zgartirgich agregati maxsus maqsadli kuch transformatorlari ikkilamchi chulg'ami (bu chulg'am *ventil chulg'ami* deb ham yuritiladi) fazalari soniga ko'ra bir, uch, olti, 12 va 24 fazali turlarga bo'linadi. Ularning kuchlanishi ishlatilish sohasiga qarab, PBV (QAU) va RPN (YOR) qayta ulash qurilmalari vositasida rostlanadi. Sovitilish usuliga ko'ra quruq, moyli va yonmaydigan, suyuq dielektrikli agregatlar bo'ladi.

To'g'rilagich sxemalarida ishlatiladigan transformatorlarning ikkilamchi chulg'amiga tokni faqat bir yo'nalishda o'tkazadigan ventillar ulanadi. Bunday transformatorning o'ziga xos xususiyatlaridan biri shuki, uning turli fazalariga ulangan ventillar navbatma-navbat ishlaganligi tufayli, ayrim fazalarida yuklama qiymati bir xil bo'lmaydi.

Yuklamaning notekisligi birlamchi va ikkilamchi chulg'am toklarining vaqt bo'yicha o'zgarishida yuqori garmonikalarning bo'lishiga va ayrim to'g'rilagich sxemalarida magnit o'tkazgichning qo'shimcha magnitlanishiga sabab bo'ladi.

O'zgartirgich qurilmalari maxsus maqsadli kuch transformatorlarida, umumiy holda, toklar I_1 va I_2 ning qiymatlari yuqori garmonikalar ta'sirida har xil bo'lishi natijasida S_{1N} va S_{2N} hisoblash quvvatlari turlicha bo'ladi. Shuning uchun „ventilli to'g'rilagich transformatorining tipaviy quvvati“ tushunchasi kiritiladi (tipaviy quvvat — o'zgartirgich qurilmasi transformatorining tipiga oid bo'lgan quvvatdir).

O'zgartirgich qurilmalari maxsus maqsadli kuch transformatorlarining tipaviy quvvati, to'g'rilash sxemasiga bog'liq holda, birlamchi chulg'am nominal quvvati S_{1N} va to'g'rilagich ulangan tomondagi ventil chulg'ami nominal quvvati S_{2N} ning o'rtacha qiymati orqali topiladi. Masalan, 6 fazali to'g'rilash sxemasida mazkur transformatorning tipaviy quvvati quyidagicha:

$$S_{\text{tip}} = 0,5 (S_{1N} + S_{2N}) = 1,26 P_{\text{dN}} , \quad (9.9)$$

bunda $S_{1N} = 3I_{1N}U_{1f.N} = 1,045P_{dN}$, $S_{2N} = 6 \cdot I_{2N}E_{2f.N} = 1,48P_{dN}$ ($P_{dN} = U_{dN}I_{dN}$ — to‘g‘rilagich(diod)ning o‘zgaras tok tomonidagi nominal quvvati, ya’ni chiqish quvvati), I_{1N} va I_{2N} , U_{1N} va $E_{2f.N}$ — tegishli tarmoq va ventil chulg‘amlarining nominal toklari, faza kuchlanishi va EYK.

Tipaviy quvvat koeffitsiyenti $K_{tip} = S_{tip} / P_{dN}$. To‘g‘rilagich qurilmasi uchun transformator tanlashda bu koeffitsiyent ma’lum bo‘lishi lozim.

Yuklama nominal bo‘lganda transformatorning tipaviy quvvati S_{tip} , uning chiqish quvvati P_{dN} dan katta ($S_{tip} > P_{dN}$) bo‘ladi.

Tarmoq chulg‘amlariga beriladigan nominal kuchlanishlar 0,4÷110 kV oralig‘idagi standart kuchlanishlarga mos keladi. Ventil chulg‘ami kuchlanishlari o‘zgartirgich qurilmalarining sxemasi va parametrlari orqali aniqlanadi.

Ventil chulg‘ami olti fazali sxemaga (9.4- rasm) ulanganda to‘g‘rilangan kuchlanishning pulsatsiyasi kam bo‘lganligi tufayli agregat birlamchi tokining vaqt bo‘yicha o‘zgarish shakli yaxshilanadi.

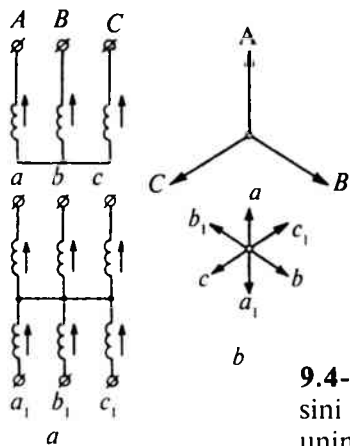
To‘g‘rilashning olti fazali sxemalari, asosan, quvvati 250÷4000 kW bo‘lgan o‘zgartirgich agregatlarida, o‘n ikki fazali sxemalar esa undan katta quvvatlilarda ishlatiladi.

Avtomatik qurilmalarda impulsli, stabilashtiruvchi va pik-transformatorlar keng qo‘llaniladi.

Impulsli transformatorlar impulsli texnika qurilmalarida elektr impulsi amplitudasini va qutbiyligini o‘zgartirish, yuklama zanjiri tokining doimiy tashkil etuvchisini yo‘qotish kabi vazifalarni bajaradi.

Pik-transformatorlar. Elektron texnikada boshqariladigan ventil (masalan, tiristor)ni rostlash uchun kuchlanish impulsi keskin shaklda bo‘lishi kerak. Bunday impulsni piktransformator yordamida hosil qilish mumkin.

Stabilashtiruvchi transformatorlar elektr yuritma va avtomatik rostlash sistemalarida rostlanadigan kattalikning



9.4- rasm. Uch fazali kuchlanishlar sistemasi olti fazaliga o‘zgartirish sxemasi (a) va uning vektor diagrammasi (b).

birinchi hosilasi bo'yicha teskari bog'lanishni hosil qilish uchun tabaqalashtiruvchi bo'g'inlar sifatida foydalaniladi. Ular rostdlash jarayonining turg'unligini ta'minlagani uchun ham *stabillashtiruvchi transformatorlar* deb ataladi.

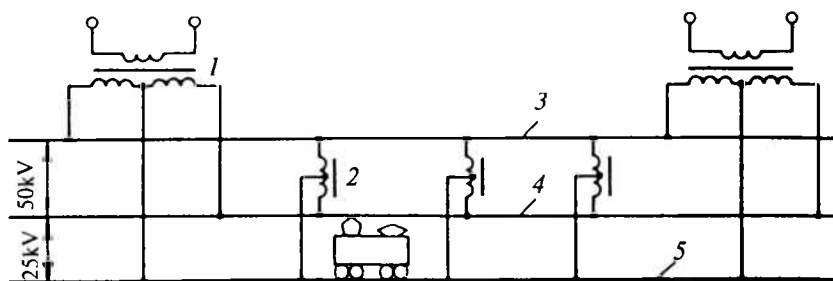
9.4. Elektrlashtirilgan temiryo'l va shahar elektr transportlari uchun kuch transformatorlari

Elektrovoz va elektr poyezdlar elektrlashtirilgan temiryo'l transportiga kiradi. Ularni harakatga keltiruvchi elektr motorlarga energiya o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok tarmoqlari orqali beriladi.

Elektrlashtirilgan temiryo'l transporti yuqori texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega va ekologik jihatdan toza transportdir.

Elektrlashtirilgan temiryo'l transportida tortish (bu yerda „tortish“ atamasi asosiy ta'minlovchi ma'nosini bildiradi) transformatorining asosiy vazifasi elektr tarmog'i kuchlanishini tortish elektr motori uchun zarur bo'lgan kuchlanishga qadar kamaytirib berishdan iborat. Bunda o'zgartirish podstansiyasida to'g'rilangan nominal kuchlanish U_{dN} ni va tortish elektr motori ish rejimlarini rostdlash uchun kuchlanish U_2 ni o'zgartirish imkoni tug'iladi.

Tortish transformatori podstansiyalarida to'g'rilangan kuchlanishni taxminan bir xil saqlab turish va ta'minlash tarmog'ida energiya isroflarini kamaytirish uchun elektrlashtirilgan temiryo'l yo'nalishi bo'ylab tayanch tortish transformatori podstansiyalari o'rnatiladi (9.5 - rasm). Mazkur podstansiyalar 110 kV kuchlanishli



9.5- rasm. Elektrlashtirilgan temiryo'lning 2x25 kV li elektr ta'minoti sistemasining tortish podstansiyasidagi ikkilamchi chulg'ami bo'lingan bir fazali maxsus maqsadli kuch transformatori:

1 — bir fazali kuch transformatori; 2 — bir fazali kuch avtotransformatori; 3 — elektr energiya bilan ta'minlovchi maxsus liniya; 4 — kontakt tarmoq; 5 — rels tarmog'i.

elektr uzatish liniyasi (EUL)dan ta'minlanganda har $150 \div 200$ km, 220 kV kuchlanishli EUL dan ta'minlanganda esa har $250 \div 300$ km masofada o'rnatiladi. Ikkita qo'shni tayanch tortish transformatori podstantsiyalari orasida, ya'ni har $8 \div 15$ km masofada oraliq transformator podstantsiyalari (avtotransformator punktlari) ham o'rnatiladi.

2×25 kV li sistemali tortish transformatori podstantsiyalarida bir fazali kuch transformatorlari qo'llaniladi. Ularning ikkilamchi chulg'ami har qaysisi 25 kV kuchlanishli ketma-ket ulangan ikkita seksiyadan tashkil topgan (9.5- rasmga qarang). Seksiyalar bunday ulanganda kontakt tarmog'ini 50 kV li kuchlanish bilan ta'minlash imkoni bo'ladi. Bu kuchlanish temiryo'l bo'ylab maxsus avtotransformator punktlarida joylashtirilgan liniya avtotransformatorlari yordamida rostlab turiladi.

Tramvay-trolleybuslarni elektr energiya bilan ta'minlovchi transformatorlarning ikkilamchi chulg'ami kuchlanishi $U_2 = 600$ V bo'lgan, TMP – 800/10; TMP – 1600/10 va TMP–3200/10 tiplari ishlab chiqariladi.

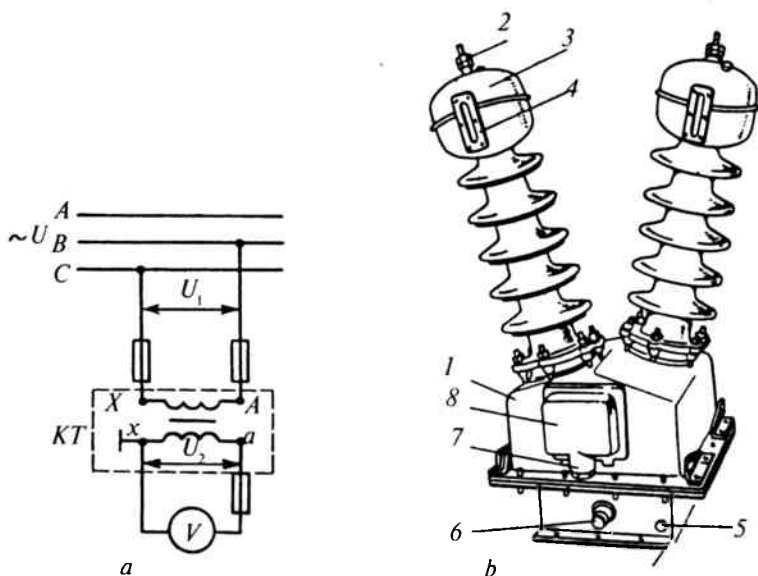
Ikkilamchi chulg'am kuchlanishi $U_2 = 825$ V bo'lgan TMP—1600/10 va TMP—3200 /10 transformatorlari metropoliteni elektr bilan ta'minlashda ishlatiladi.

9.5. Elektr o'lchash sxemalari uchun transformatorlar

Bunday transformatorlar o'zgaruvchan tok zanjirlarida elektr o'lchash asboblari (voltmetr, ampermetr, vattmetr va h.k.)ning o'lchash chegaralarini kengaytirish va yuqori kuchlanish tarmoqlarida mazkur asboblarni ishlatishda xavfsizlikni ta'minlash maqsadida, shuningdek releli himoya asboblarni ulashda ishlatiladi. Bunday transformatorlar *o'lchov transformatorlari* deyiladi. Ularning quvvati $5 \text{ V} \cdot \text{A}$ dan bir necha yuz $\text{V} \cdot \text{A}$ gacha bo'ladi. Kuchlanish va tok o'zgarganda xatolik mumkin qadar kam bo'lishi zarur. Bu o'lchash transformatorlariga qo'yiladigan *asosiy talabdir*.

Kuchlanishni o'lchash sxemalari uchun transformatorlar.

Bunday transformatorlar kuchlanishi $0,38 \div 1150$ kV bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmoqlari kuchlanishini o'lchash sxemalarida ishlatiladi. Shu sababli ular *kuchlanish transformatorlari* deyiladi. Mazkur transformatorlar pasaytiruvchi bo'lib, birlamchi chulg'amda kuchlanish nominal (3; 6; 10; 35; 110 kV) bo'lganda, ikkilamchi kuchlanishi $100, 100/\sqrt{3}$ yoki $100/3$ V li qilib ishlanadi



9.6- rasm. Kuchlanishi 35 kV bo'lgan NOM-35 kuchlanish transformatorini tarmoqqa ulash sxemasi (a) va uning tashqi ko'rinishi (b):

1 — korpus; 2 — yuqori kuchlanishli tarmoqdan ulanadigan sim uchun qisqich; 3 — o'tish izolatorining kengaytirgichi; 4 — moy ko'rsatkich; 5 — yerga ulash bolti; 6 — moyni to'kish uchun teshik; 7 — ikkilamchi chulg'am uchlari chiqarilgan izolatsiyalovchi taxtachaning qopqog'i; 8 — o'lchov asboblari uchun ulash uchun shtutser.

(9.6- rasm). Uning ikkilamchi zanjiriga voltmeter, vattmetr, chas-totamer, energiya hisoblagich va fazometrlarning kuchlanish chulg'amlari ulanadi.

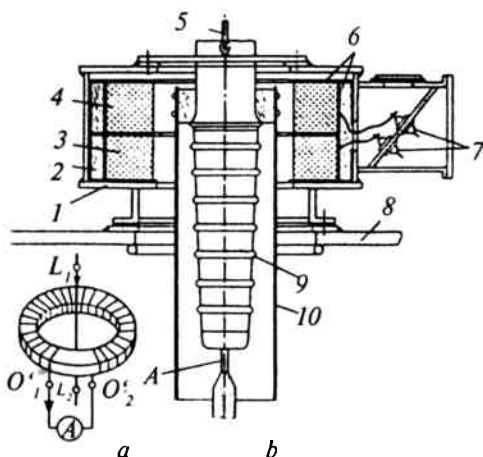
Bu o'lchash asboblari elektr qarshiligi katta (taxminan 1000 Ω) bo'lib, kuchlanish transformatorlarining ish rejimi salt ishlash rejimiga yaqin bo'ladi. Bunda $-U_1 = E_1$; $U_0 = E_{2N}$ deb hisoblash mumkin, lekin $E_1 = (w_1/w_2) E_2$ bo'lgani uchun

$$U_1 = (w_1 / w_2) U_2 = k U_2, \quad (9.10)$$

bunda $k = w_1/w_2$ — kuchlanish transformatorining transformatsiyalash koeffitsiyenti.

Kuchlanish transformatorlari bir fazali va uch fazali qilib tayyorlanadi.

Elektr xavfsizligini ta'minlash maqsadida transformator ikkilamchi chulg'amining chiqish uchlari biri va transformator qoplamasi (kojuxi) zaminlanadi, ya'ni yerga tutashtiriladi.



9.7- rasm. Kuchlanishi 110 kV bo'lgan kuch transformatori bakining ichiga o'rnatilgan tok transformatorining ulanish sxemasi (a): L_1 va L_2 — birlamchi chulg'am uchlari; O'_1 va O'_2 — ikkilamchi chulg'am uchlari; tok transformatorining konstruksiyasi (b):

1 — kirish uchining o'tish flanetsi; 2 — qora qayindan yasalgan planka; 3, 4 — tok transformatorlari; 5 — birlamchi chulg'am vazifasini bajaruvchi o'tkazgich; 6 — karton izolatsiya; 7 — ikkilamchi chulg'am o'tish izolatori qisqichi; 8 — bak qopqog'i; 9 — moyli rezervuar; 10 — izolatsion silindr.

Tokni o'lchash sxemalari uchun transformatorlar. Bunday transformatorlar katta qiymatli toklarni oddiy ampermetr bilan o'lchash hamda vattmetr, energiya hisoblagich (schotchik) va fazometrlarning tok chulg'amlarini ulash uchun ishlatiladi. Shu sababdan ularni **tok transformatorlari** deyiladi. Tok transformatorining birlamchi chulg'ami kesim yuzasi katta bo'lgan simdan yasilib, tarmoqqa ketma-ket ulanadi (9.7- rasm). Chulg'amlardagi o'ramlar shunday tanlanadiki, bunda birlamchi chulg'amning toki nominalga teng bo'lganda, ikkilamchi zanjirdagi tok 5 A bo'lsin.

Tok transformatorlarining ish rejimi qisqa tutashuv rejimiga yaqin bo'ladi va ular uchun toklar tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$I_1 = -I'_2 = -(w_2 / w_1) I_2 = I_2 / k. \quad (9.11)$$

Tok transformatori normal ishlayotganda uning ikkilamchi chulg'ami uzib qo'yilmasligi kerak. Mabodo uzib qo'yilsa, ikkilamchi chulg'am toki $I_2 = 0$ bo'lib, birlamchi chulg'am toki

I_1 o'zining ilgarigi katta qiymatini o'zgartirmaydi. Uning magnit oqimi esa ikkilamchi chulg'amda katta EYK hosil qiladi. Bu magnit isroflarning oshib ketishiga, shunigdek tok transformatorining me'yordan ortiq qizib ketishiga olib keladi.

Tok transformatorini tarmoqdan uzishda dastlab uning ikkilamchi chulg'ami shuntlanib, keyin o'lchash asboblari ajratiladi.



Nazorat savollari

1. Avtotransformatorning qanday afzallik va kamchiliklarini bilasiz?
 2. Payvandlash transformatorining tuzilishi va ishlash prinsipi haqida nimalarni bilasiz?
 3. Elektr o'lchash sxemalarida ishlatiladigan transformatorlarning ahamiyati nimalardan iborat?
 4. Nima uchun tok transformatorining ikkilamchi chulg'ami normal ish jarayonida uzib qo'yilmasligi kerak?
-

10.1. Kuch transformatorlarining qizishi

Yuklama ulangan transformatorning ishi jarayonida elektr energiyaning bir qismi isrof bo'ladi, ya'ni bu energiya issiqlik energiyasiga aylanib atrof muhitga tarqaladi. Bunda barcha isroflarning taxminan 80 foizi chulg'amlar, qolgani magnit sistemasi va metall konstruksiya elementlariga to'g'ri keladi.

Issiqlik ajralib chiqishida transformator qiziydi. Bunda ayrim qismlarining temperaturasi atrof muhitnikidan ancha oshib ketishi mumkin. Yuklama ulanganda quvvatning cheklanishi sababli transformator qiziydi. Transformatorning qizishi tufayli bakning ichida moyning tabiiy konveksiyasi vujudga keladi, ya'ni magnit sistemasi va chulg'amlarning qizishidan ularga yaqin joylashgan moy zarrachalari yengillashib bakning yuqori qismiga ko'tariladi, bak devori yonidagi zarrachalar esa tashqaridagi havoning tabiiy sirkulatsiyasi tufayli sovib bakning pastki qismiga tushadi. Issiqlik bak devorlaridan atrof muhitga tarqaladi.

Sovitish muhiti sifatida transformator moyi ishlatilganda, samara havo bilan sovitilganga nisbatan $6 \div 8$ marta yuqori bo'ladi.

10.2. Transformatorni sovitish turlari

Moyli transformatorlar normal sharoitda, ya'ni izolatsiyasining temperaturasi 105°C dan oshmasdan ishlatilsa, uning izolatsiyasi kamida $20 \div 25$ yil xizmat qiladi.

So'nggi yillarda Shvetsiyada ishlab chiqarilgan Nitro 11GX va Nitro 10X markali transformator moylaridan foydalanila boshlandi.

Rossiyada ishlab chiqilgan SA markali transformator moyi kuchlanishi 1150 kV gacha bo'lgan kuch transformatorlari uchun mo'ljallangan.

1985-yildan e'tiboran sovtol ishlab chiqarish taqiqlandi, chunki sovtol odamlar va atrof muhit uchun zaharli. Shuning uchun yong'indan xavfli bo'lgan binolardagi kuch transformatorlarida uning «Midel 7131» suyuq dielektrigi qo'llanila boshlandi.

Kuch transformatorlarini yetarli darajada sovitish maqsadida har xil konstruksiyadagi sovitish sistemalari ishlatiladi, ya'ni bakning yon sirtiga radiatorlarni o'rnatib, sovitish yuzasi sun'iy ravishda oshiriladi, agar bunda ham sovitish yetarli darajada bo'lmasa

(katta quvvatli kuch transformatorlarida), alohida o'rnatiladigan sovitish qurilmalaridan foydalaniladi.

Transformatorning sovitish yuzasini oshirish uchun osma radiatorlar keng qo'llaniladi.

Sovitishning M turi quvvati $25 \div 6300 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan transformatorlarda qo'llaniladi.

Quvvati $10\,000 \div 80\,000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan kuch transformatorlari bakining silliq yuzasi zarur miqdordagi radiatorlarni joylashtirish uchun yetarli bo'lmagani uchun, sovitishni tezlashtirish maqsadida, havo ventilator vositasida haydalib, jarayon tezlashtiriladi (sovitishning D turi). Bunda issiqlikni tashqariga uzatish sovitishning M turiga nisbatan $50 \div 60$ foiz oshadi.

MS va NMS sistemasi bilan sovitiladigan transformatorlarning har bitta radiatorida moyning majburiy sirkulatsiyasini hosil qilish uchun elektr nasos o'rnatiladi.

Sovitish turlarining shartli belgilanishi. Quruq transformatorlarda sovitishning Q (quruq, himoyalanmagan); QH (himoyalangan); QZ (qobig'i zichlangan); QMH (havo majburiy haydaladigan) turlari qo'llaniladi.

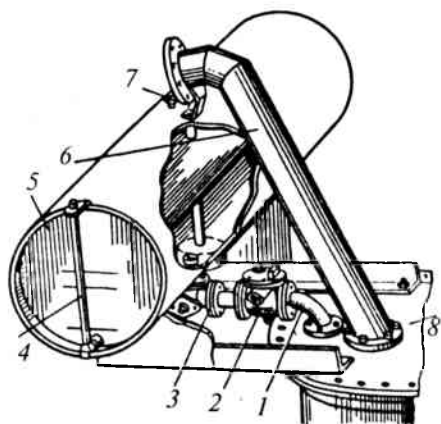
Moyli kuch transformatorlarida sovitishning M (moyning harakati tabiiy); D (moyning harakati tabiiy, lekin sovitilishi kuchaytirilgan); MHT (moyning harakati tezlashtirilgan, havoning harakati esa tabiiy); MHSM (moy va havoning sirkulatsiyasi majburiy); MST (moyning sirkulatsiyasi tabiiy, suvniki esa majburiy); S (moy va sovitgichdagi suvning sirkulatsiyasi majburiy) turlari ishlatiladi.

Yonmaydigan suyuq dielektrikli kuch transformatorlarida esa sovitishning Y (yonmaydigan suyuq dielektrik — «Midel 7131» bilan tabiiy sovitish) YSD (yonmaydigan suyuq dielektrik bilan sovitish, bunda havo ventilator yordamida haydaladi) turlari ishlatiladi.

10.3. Umumiy maqsadli moyli transformatorlarni himoyalash qurilmalari

Transformator ishlayotgan paytda vujudga keladigan har xil nosozliklar to'g'risida xabar beradigan qurilmalar majmuyi *himoyalash qurilmalari* deyiladi. Kengaytirgich, moy sathini ko'rsatkich, truba, gaz relesi (10.1- rasm), termosifonli filtr (suzgich) saqllovchi klapan, bosim relesi, kabilar shular jumlasidandir.

Kengaytirgich. Transformatoridagi moyni namlik va oksidlanishdan himoya qiluvchi qurilmalardan biri kengaytirgichdir. Transformator ishlayotganda moy qizishi tufayli uning hajmi



10.1- rasm. Kengaytirgich (5), saqlovchi truba (6), gaz relesi (2) va naychali moy ko'rsatkich (4) larning transformator bakida joylashtirilishi:

1 — kengaytirgichni bak bilan ulaydigan truba; 3 — trubalarni tutash-tirish muftasi; 7 — kengaytirgichga moy quyish uchun tiqinli teshik; 8 — bak qopqog'i.

kengayadi. Natijada kengaytirgichdagi moy sathi ko'tarilib, undagi havo tashqariga chiqadi. Moy soviganda esa kengaytirgichdagi moy sathi pasayib, havo quritgich orqali unga tashqaridan havo kiradi.

Quvvati 25 kV · A va undan katta bo'lgan moyli kuch transformatorlarining barchasi kengaytirgich bilan ta'minlanadi.

Moy sathini ko'rsatkich (moy ko'rsatkich) da, transformator ishlamagan paytda moyning temperaturasi $-45, +15$ va 40°C (strelkali moy ko'rsatkichda esa max, $+15$ va min) bo'lganda moyning sathiga mos keluvchi uchta nazorat chizig'i bo'ladi.

Strelkali moy ko'rsatkich kengaytirgichdagi moy sathini nazorat qilish va moy sathi minimal bo'lganda signal beruvchi elektr zanjirini ulash uchun xizmat qiladi. U 10 000 kV·A va undan yuqori quvvatli transformatorlarga o'rnatiladi.

Moy sathi o'zgarganda bakdagi po'kakning holati ham o'zgarib, o'qqa mahkamlangan ikkita magnit bir-biri bilan ta'sirlashishi tufayli strelka harakatga keladi va shkalada moy sathini ko'rsatadi. Shkalada yuqorida aytganimizdek maksimal (max), minimal (min) va atrof havo temperaturasi 15°C ga mos kelgan holatlar belgilangan. Moy minimal bo'lganda magnit gerkon (germetik kontakt)ga yaqinlashadi va uning kontakti signallash zanjirini ulaydi.

Bakning himoya qurilmalari. Bularga saqlovchi truba, saqlovchi mexanik klapan va bosim relesi kiradi. Transformatorning ichki nosozliklari (qisqa tutashuv, sim izolatsiyasining yuqori kuchlanishdan teshilishi va boshq.) oqibatida bakning bosimi oshishi sababli transformatorning avariya holatida uni tarmoqdan uzadigan himoya sistemasi ishlamagan yoki kechikib ishlagan paytda bakning ishdan chiqishining oldini olishda saqlovchi (chiqaruvchi) truba asosiy rol o'ynaydi.

1000 kV·A va undan yuqori quvvatli moyli transformatorlar saqlovchi truba bilan ta'minlanadi, plyonka bilan himoyalangan katta quvvatli transformatorlarda esa saqlovchi truba o'rnida *saqlovchi mexanik klapan*dan foydalaniladi.

Azotli himoyalangan, kengaytirgich bilan ta'minlanishi shart bo'lmagan, germetik zichlangan moyli transformatorlar bakining ichki bosimi $7,5 \cdot 10^4$ Pa dan oshganda ishga tushadigan himoya qurilmasi bo'lgan *bosim relesi* transformatorida hosil bo'lgan gazlarni tashqariga chiqarish uchun xizmat qiladi. Bu rele transformator baki qopqog'ining ichki tomoniga mahkamlangan. Ma'lum bosimda relening shisha diafragmasi sinib, gaz tashqariga chiqib ketadi.

Bir marta ishlagandan keyin qayta ishga tayyorlash zarurligi relening kamchiligi hisoblanadi.

Gaz relesi. 1000 kV·A va undan yuqori quvvatli moyli transformatorlarda barcha nosozliklar tufayli gaz ajralib chiqadi. Transformator gaz bosimi ta'sirida transformator bakidan kengaytirgichga moyning jadallik bilan oqishi hamda ayrim nosozliklar tufayli transformatoridagi moy sathining kamayib, bakka havo kirishidan himoya qiluvchi gaz relesi bilan ta'minlanadi.

Buyurtmachilarning talabiga ko'ra, stansiya va podstansiyalarning ehtiyojlari uchun yoki binolarning ichida joylashtirishga mo'ljallangan, quvvati 400 va 630 kV·A bo'lgan transformatorlar ham gaz relesi bilan ta'minlanadi.

Bu rele bakni kengaytirgich bilan bog'lovchi moy o'tkazgichda joylashtirilib, havo temperaturasi -45°C dan $+40^{\circ}\text{C}$ gacha oraliqda ishonchli ishlaydi.

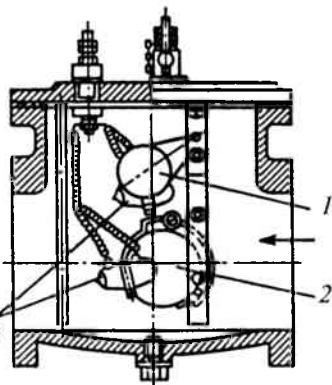
Termosifonli filtr va havo quritgich.

Termosifonli filtr transformator moyining xizmat muddatini uzaytirish maqsadida uni uzluksiz tozalab turish uchun xizmat qiladi.

GOST 11677-85 tavsiyasiga binoan, 1000 kV·A va undan yuqori quvvatli M va D turida sovitiladigan

10.2- rasm. Transformatorning gaz relesi:

1 — ustki po'kak; 2 — ostki po'kak; 3 — signal zanjirining kontaktlari.



moyli transformatorlar termosifonli filtr bilan ta'minlanadi. Termosifonli filtrning ichi silikagel bilan to'ldiriladi.

Moy filtr orqali konveksiya yo'li bilan aylanganda qattiq izolatsiya va moyning eskirishi jarayonida hosil bo'ladigan namlik, kislota va kukunsimon mahsulotni silikagel o'ziga shimib oladi. Transformatorlarda bitta yoki bir necha filtr o'rnatilishi mumkin.

Havo quritgich kengaytirgichga kiradigan havodagi namni o'ziga yutib, uni quritish uchun xizmat qiladi. I va II o'lchamli transformatorlarda havo quritgich to'g'ridan-to'g'ri kengaytirgich ichiga, III va undan katta o'lchamli transformatorlarda esa kengaytirgichdan tashqariga o'rnatilib, havo quritgichda quritilgan havo kengaytirgich ustiga truba orqali uzatiladi.

Havo quritgich orqali kengaytirgichga havo uzatilganda uning namligini silikagel yutadi va quritilgan havo kengaytirgichning yuqorigi bo'shlig'iga o'tadi. Silikagelning holati davriy ravishda tekshirib boriladi. Agar uning rangi ko'kdan qizg'ishga o'zgarsa, namlangan silikagel qurug'iga almashtiriladi.

Kuchlanishi 220 kV va undan yuqori bo'lgan transformatorlarda kengaytirgichdagi moyni oksidlanishdan ishonchli saqlash uchun *azotli himoya* qo'llaniladi. Buning uchun kengaytirgich moyining ustidagi havo o'rniga azot gazi to'ldiriladi va zichlab berkitib qo'yiladi.

Zaryadsizlagich va termosignalizator. Transformatorlarda nosozlik vujudga kelganda, masalan, chulg'amlar yoki o'tkazgichlar orasidagi izolatsiyaning teshilishi oqibatida YK chulg'ami zanjiri PK chulg'aminiki bilan ulanib qolishi mumkin. Bunday paytda transformatorning past kuchlanishli tomoni yuqori kuchlanish ostida bo'lib, transformatorni nazorat qiluvchi xodimlar hamda apparatura uchun xavfli vaziyat yuzaga keladi. Buning oldini olish uchun past — kuchlanishi 690 V gacha bo'lgan transformatorlar zaryadsizlagich bilan ta'minlanadi.

Quvvati 630 kV·A va undan kam bo'lgan transformatorlarning moy temperaturasi oddiy shisha termometr bilan, katta quvvatli transformatorlarnikini esa manometrik termometr vositasida nazorat qilinadi. Temperatura oshganda termoballondagi bug' bosimi ham oshadi, bu bosim termosignalizator korpusidagi maxsus qurilma orqali uning strelkasiga ta'sir qiladi, mazkur strelka moy temperaturasi shkalasini ko'rsatadi.

Temperaturaning qiymati standartda belgilangan maksimumga yetganda, himoya asbobining kontakt sistemasi tok zanjirini signalga

ulaydi. Agar temperatura yanada oshsa, transformatorni elektr tarmog'idan ajratish zanjirining kontaktlari ulanib, transformatorni tok manbayidan uzadi.

10.4. Kuch transformatorlarini ishlatishga oid amaliy tavsiyalar va ularning tiplari

Quyida kuch transformatorlarini ishlatishda uchraydigan chulg'amning ba'zi nosozliklari va ularni bartaraf qilish bo'yicha amaliy tavsiyalarni keltiramiz:

1. O'ramlarida nosozliklar ko'pincha chulg'amlar o'ramlarining qisqa tutashuvi va izolatsiyasining teshilishidan chulg'amning korpus bilan qisqa tutashuvi natijasida sodir bo'ladi.

2. O'ramlar qisqa tutashuvining belgilari quyidagilar: me'yordan ko'p qiziydi, tarmoqqa ulangan chulg'am toki oshadi hamda transformator har bitta fazasining o'zgarma tokda o'lgangan qarshiligi har xil qiymatlarga ega bo'ladi.

3. Chulg'amlarning fazalararo qisqa tutashuvi oqibatida, ajralib chiqqan gaz bosimi tufayli transformatorning chiqaruvchi truba membranasi ishdan chiqadi va moyning oz qismi to'plangan gaz bilan birga tashqariga chiqarib tashlanadi. Bunda transformatorning barcha himoya qurilmalari (gaz, differensial, maksimal tok himoyalari) ishga tushadi.

4. Ishlamay turgan transformator kengaytirgichidagi moy sathi nazorat chiziqlari sathidan past bo'lmazligi lozim.

5. Gaz relesi signal zanjiri ulanganda, transformator tezda tekshirilib, reledagi gazning rangi va yonuvchanlik darajasi bo'yicha buzilish xarakteri aniqlanadi. Gaz sariq yoki qoramtir-ko'k rangda bo'lsa, transformator tezda tarmoqdan uziladi; agar gaz rangsiz va yonmaydigan bo'lsa, transformatorni ish holatida qoldirish mumkin.

Quyidagi nosozliklarda gaz relesi signal zanjirini ulaydi:

— uncha jiddiy bo'lmagan ichki buzilishlar tufayli kuchsiz gaz hosil bo'la boshlaganda;

— transformatorga moy quyayotgan yoki uning moyini tozalayotgan paytda unga havo aralashganda;

— atrof muhit temperaturasining pasayishi yoki bakdan moyning ba'zi bir sabablarga ko'ra tashqariga sizib chiqishi tufayli moy sathi sekin pasayganda.

Amalda ayrim belgilari (vazifasi, fazalar soni, chastotasi, quvvati, kuchlanish klassi, chulg'amlar soni, chulg'amlar simi

yasalgan metall, kuchlanishini rostlash turi va sovitish turi) majmuasi bilan xarakterlanadigan transformator konstruksiyasi namunasiga **transformator tipi** deb ataladi.

Transformator seriyasi deganda uning fazalari soni, chastotasi, kuchlanish klassi, chulg'amlari soni, chulg'amlar simi yasalgan metall, kuchlanishini rostlash turi va sovitish turi bir xil bo'lib, cheklangan oraliqda ma'lum shkala bo'yicha oshadigan quvvatlari har xil bo'lgan transformatorlarning qator tiplari tushuniladi. Masalan, umumiy maqsadli uch fazali ikki chulg'amli kuch transformatorlari seriyasiga umumiy va mahalliy elektr tarmoqlarini energiya bilan ta'minlashga mo'ljallangan, chastotasi 50 Hz, kuchlanish klassi 35 kV, kuchlanishi QAU (qo'zg'atishsiz almashlab-ulash) qayta ulagich qurilmasi bilan rostlanadigan, tabiiy ravishda moy bilan sovitiladigan, standart shkalasi bo'yicha quvvati $1000 \div 6300 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan transformatorlar kiradi.

Transformatorlar tiplarining shartli belgilanishi chapdan o'ngga ruscha so'zlarning birinchi katta harflari va raqamlaridan iborat bo'lib, ularda quyidagi ma'lumotlar keltiriladi:

A — avtotransformator (shartli belgilanishi A harfi bilan boshlanmasa, transformator ekanligini bildiradi). Avtotransformator tiplari belgilanishidagi A harfidan keyingi shartli belgilanishlar (masalan, ATDSN, ATDSTN, AORST, AODST, AODSTN) quyida ko'rsatilgan umumiy maqsadli kuch transformatorlari tiplarining belgilanishi kabi sharhlanadi.

Umumiy maqsadli kuch transformatorlari tiplarining shartli belgilanishi quyidagicha sharhlanadi:

„T“ yoki „O“ (transformatorlarning birinchi harfi) — uch fazali („T“) yoki bir fazali („O“) transformator (masalan, TM, TD, ORS);

B (fazalar sonidan keyin qo'yiladigan harf) — past kuchlanishli, chulg'ami teng ikkiga bo'lingan (BR) transformator (masalan: ORNS, TRDN);

sovitish turi bitta (M, D, S, N, C) yoki ikkita (MS, DS, MV, NS, ND, CZ, CG) harf bilan shartli belgilanishi mumkin;

Z (sovitish turidan keyingi harf), bu belgi suyuq dielektrikli («Midel 7131») va quruq transformatorlarda qo'yilishi mumkin:

— „azot yostig'i“ deb ataladigan usulda himoyalangan (Z), kuchlanishi 10 kV, quvvati $250 \div 2500 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan transformatorlarning TMZ va TNZ tiplarida moy ustiga to'ldirilgan azot gazi kengaytirgich vazifasini bajaradi;

— qobiq (kojux) bilan himoyalangan (Z), havo bilan sovitiladigan quruq transformator;

„Azot yostig‘i“ usulida himoyalangan, moy yoki yonmaydigan suyuq dielektrik bilan tabiiy ravishda sovitiladigan, kuchlanishi $U > 220$ kV bo‘lgan kuch transformatorlarining kengaytirgichi zichlab yopilgan bo‘ladi.

L — quyma (L) izolatsiyalangan quruq transformator (bu belgi himoyalanganlik belgisidan keyin qo‘yiladi, masalan, TSZL tipi);

T (belgilanishda ikkinchi marta ishlatilib, sovitish turidan keyin yoziladi) — uch chulg‘amli T transformator (masalan, TMTN, TDSTN, TDTN); agar sovitish turidan keyin T harfi qo‘yilmagan bo‘lsa (masalan: TSZ, TM, TMZ, TMN, TRDN, TSN), ikki chulg‘amli transformator ekanligini bildiradi;

N belgi qo‘yilsa, kuchlanishni rostlash transformatorni elektr tarmog‘idan va yuklamadan ajratilmagan holda amalga oshiriladi;

— ikki chulg‘amlida N harfi sovitish turidan keyin (masalan, TMN, TRDN, TSN) qo‘yiladi;

— uch chulg‘amlida N harfi chulg‘amlar sonidan keyin belgilanadi (masalan, TMTN, TDTN); agar bu o‘rinda N harfi bo‘lmasa, unda kuchlanishni rostlash QAU (PBV) usulida, ya’ni transformatorni tarmoqdan uzib amalga oshiriladigan yoki kuchlanishi umuman rostlanmaydigan transformator ekanligini bildiradi.

Harflar bilan belgilanishdan keyin tire qo‘yiladi va kasrning suratida transformator (avtotransformator)ning quvvati (kV·A), mahrajida esa nominal kuchlanishi (kV) ko‘rsatiladi; katta quvvatli uch chulg‘amli avtotransformatorlarda esa YK va PK chulg‘amlarining kuchlanish klasslari ko‘rsatiladi.



Nazorat savollari

1. Transformatorning sovitilish yuzasi qanday yo‘llar bilan oshiriladi?
2. Kengaytirgich qanday vazifani bajaradi?
3. Gaz relesining tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
4. Termosifonli filtrning ahamiyati nimadan iborat?
5. Transformatorlarni ishlatishda ularga qo‘yiladigan asosiy talablar nimalardan iborat?
6. Kuch transformatorlarini ishlatishda uchraydigan asosiy nosozliklar nimalardan iborat?
7. Qanday nosozlik vujudga kelganda gaz relesi signal zanjirini ulaydi?

**11.1. O'zgaruvchan tok mashinalari
chulg'amlarining tuzilishi**

Sinxron va asinxron mashinalarning statorida joylashgan uch fazali chulg'amdan uch fazali tok o'tganda statorda aylanuvchan (aylanma) magnit maydoni hosil bo'ladi. Sinxron mashinalarda rotorning aylanish tezligi (aylanish chastotasi) aylanma magnit maydonining aylanish chastotasiga teng, ya'ni rotor va aylanma magnit maydoni sinxron aylanadi. Bunday mashinalar *sinxron mashinalar* deyiladi. Sinxron mashinalar, asosan, o'zgaruvchan tok generatorlari sifatida, lekin sinxron dvigatellar sifatida ham ishlatiladi.

Ilgari uch fazali stator chulg'aming uchlari quyidagicha: C1 — C4 (1- faza), C2—C5 (2- faza), C3—C6 (3- faza) belgilanar edi.

Xalqaro standart (GOST 26772-85)ga muvofiq 1.01.1987- yildan MDH mamlakatlari elektr mashinasozligi zavodlarida ishlab chiqarila boshlangan o'zgaruvchan tok mashinalari stator chulg'ami fazalarining boshi va oxirlariga ochiq sxema uchun yangicha belgilanish joriy qilindi, ya'ni: U1—U2 (1- faza), V1—V2 (2- faza), W1—W2 (3- faza), boshqa belgilanishlar esa 11.1- jadvalda keltirilgan. Statorning fazaviy chulg'amlari yulduz (Y) yoki uchburchak (Δ) usulida ulanishi mumkin.

Ayon qutbli sinxron mashina (SM)larda rotorning markazdan qochma kuchlari katta bo'lgani uchun qutblar soni $2p > 4$ qilib tayyorlanadi, chunki $n = n_1 = 60 f / p$ ifodaga binoan, o'zgaruvchan tok chastotasi $f_1 = 50 \text{ Hz} = \text{const}$ bo'lishi uchun rotorning aylanish chastotasi kichik, qutblar soni esa katta bo'lishi zarur.

Noayon qutbli SM ning rotor i val va unga kiydirilgan silindr (asosan, yaxlit) shaklidagi po'lat rotordan iborat. SM rotorining po'lat o'zagi pazlarida qo'zg'atish chulg'ami joylashtiriladi. Bu chulg'amning ikkala uchi valdagi mis yoki jezdan yasalgan kontakt halqalarga ulanadi. Bu halqalar valdan izolatsialangan.

Mashina havo oralig'ida magnit induksiyaning sinusoidal tarqalishini ta'minlash maqsadida, qo'zg'atish chulg'ami o'tkazgichlari rotor tanasi doirasining $2/3$ qismidagi pazlarida joylashtiriladi. Noayon qutbli SM larda qutblar soni issiqlik elektr stansiyalaridagi turbogeneratorlarda $2p = 2$, atom elekt stansiyalarida, bug' bosimi kam bo'lgani uchun, turbogeneratorlarning aylanish chastotasi 2 marta kam, demak qutblar soni $2p = 4$ bo'ladi.

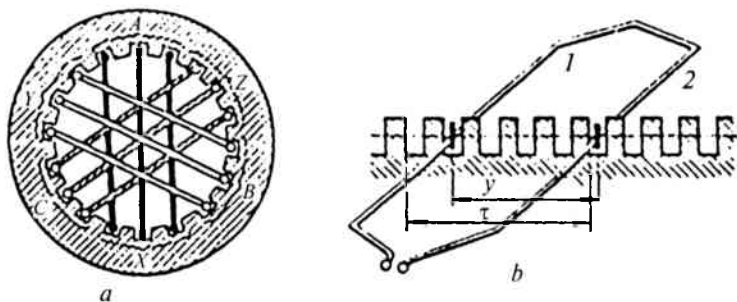
**O'zgaruvchan tok mashinalari chulg'am fazalari va chiqish
uchlarining ilgari va yangicha belgilanishi**

Chul- g'am nomi va ulanish sxemasi	Chul- g'am- ning chiqish uchlari soni	O'zgaruvchan tok mashina- lari chulg'ami fazasi yoki chiqish uchining nomi	O'zgaruvchan tok mashinalari chulg'am fazalari va chiqish uchlarining belgilanishi			
			1987- yilgacha ishlab chiqaril- gan vamodelni- zatsiyaqilingan mashinalar uchun (Ilgarigi)		1987- yildan keyin ishlab chiqarilgan mashinalar uchun (Yangicha)	
1	2	3	boshi	oxiri	boshi	oxiri
			4	5	6	7
Stator chul- g'ami: ochiq sxema	6	Birinchi faza Ikkinchi faza Uchinchi faza	C1 C2 C3	C4 C5 C6	U1 V1 W1	U2 V2 W2
yulduz usulida	3 yoki 4	Birinchi faza Ikkinchi faza Uchinchi faza Nol nuqta	C1 C2 C3 0		U V W N	
uchbur- chak usulida	3	Birinchi uchi Ikkinchi uchi Uchinchi uchi	C1 C2 C3		U V W	

1	2	3	4	5	6	7
Sinxron mashin- nalarining qo'z- g'atish chulg'ami Faza rotorli asin- xron motor ro- torining chul- g'ami:	2		H1	H2	F1	F2
ochiq sxema	6	Birinchi faza Ikkinchi faza Uchinchi faza			K1 L1 M1	K2 L2 M2
yulduz usulida	3	Birinchi faza Ikkinchi faza Uchinchi faza			K L M	
yulduz usulida va 0 tashqariga chiqarilgan	4	Birinchi faza Ikkinchi faza Uchinchi faza Nol nuqta			K L M Q	
uchburchak usulida	3	Birinchi uchi Ikkinchi uchi Uchinchi uchi			K L M	

O'zgaruvchan tok mashinalarida stator chulg'ami po'lat o'zak pazlariga ma'lum tartibda joylashtiriladi. Bir xil pazlarda joylashgan o'ramlar bir-biri bilan ketma-ket ulanib, g'altaklarni (seksiyalarni) hosil qiladi (11.1- rasm, *a*). Qo'shni pazlarda joylashgan g'altaklar ketma-ket ulanib, g'altaklar guruhini hosil qiladi. Ular mashinaning bitta fazasi va juft qutbiga to'g'ri keladi. Chulg'amning har bir AX, BU, SZ fazasi bir necha parallel yoki ketma-ket ulangan g'altaklar guruhidan tashkil topadi.

Chulg'amning eng oddiy elementi o'ram (11.1- rasm, *b*) hisoblanadi. O'ram bir-biridan yakor aylanasi chulg'am qadami y'ga teng bo'lgan masofadagi pazlarda joylashgan ikkita o'tkazgich



11.1-rasm. Stator chulg'aming o'rami (a) va g'altagi (b).

(sim)ning ketma-ket ulanishidan hosil bo'ladi. Bu masofa taxminan qutb bo'linmasiga teng $y \approx \tau = \pi D / (2p)$. Bunda D – statorning ichki diametri; $2p$ – qutblar soni.

Qutblar bo'linmasini pazlar soni orqali ham aniqlash mumkin, bu holda chulg'am qadami

$$y = \tau = Z / (2p), \quad (11.1)$$

bunda Z – stator pazlari soni.

Agar $y = \tau$ bo'lsa, *diametral* yoki *to'la qadamli*, $y < \tau$ bo'lsa, – *qisqartirilgan qadamli*, $y > \tau$ bo'lganda esa *uzaytirilgan qadamli chulg'am* deyiladi.

Qo'shni pazlarda joylashgan bitta g'altak guruhidagi g'altak tomonlari q ta pazni egallab, burchak α

$$\alpha = 2\pi \cdot pq / Z \quad (11.2)$$

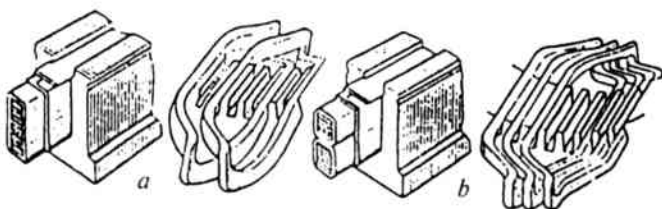
orqali faza zonasini hosil qiladi:

$$q = Z / (2p \cdot m), \quad (11.3)$$

bunda m – fazalar soni.

11.1- rasm, a da ko'rsatilgan stator chulg'aming har bir fazasi AX, BU, SZ uchta g'altakdan tashkil topgan bo'lib, tomonlari uchta pazda joylashgan, ya'ni $q = 3$. Umuman uch fazali chulg'amda bitta qutb bo'linmasida $3q$ paz joylashgan bo'ladi, $q=1$ bo'lganda esa, har bir qutb tagida bir fazaning bitta g'altagi joylashadi.

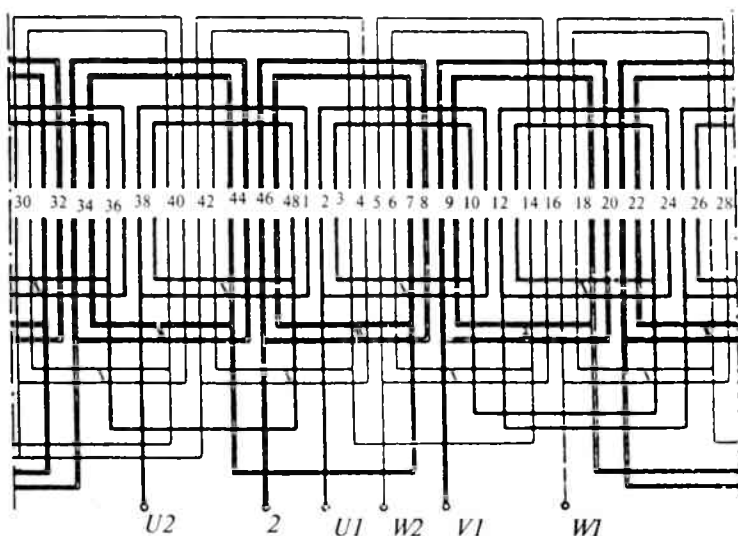
Seksiya tomonlarining pazlarda joylashishiga qarab, bir qatlamli va ikki qatlamli chulg'amlar bo'ladi. Agar pazda seksiyaning faqat bitta tomoni joylashgan bo'lsa, *bir qatlamli* (11.2- rasm, a), pazda



11.2- rasm. Bir (a) va ikki (b) qatlamli chulg'amlarning g'altaklarda joylashishi.

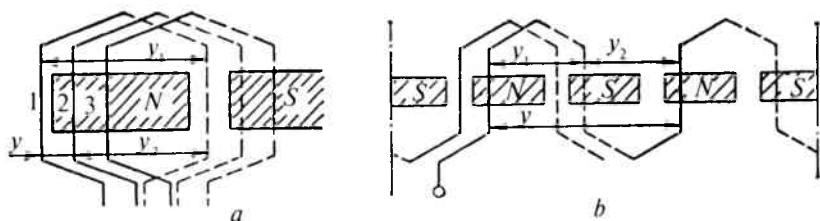
seksiyaning yuqorigi qatlami va boshqa seksiyaning pastki qatlami ustma-ust joylashganda esa *ikki qatlamli* (11.2- rasm, b) chulg'am deyiladi.

Bir qatlamli chulg'amni qisqartirilgan qadamli qilib bo'lmazligi ularning asosiy kamchiligi hisoblanadi. Chulg'am qadami qisqartirilmagan bo'lsa, mashina havo oralig'idagi yuqori garmikalarning magnit maydoni shaklida bo'lishi qo'shimcha isroflarning oshishiga, mexanik xarakteristikada o'pirilish (keskin pasayish)lar vujudga kelishiga va g'uvillashning oshishiga olib keladi. Lekin chulg'am seksiyalarini mexanizatsiyalashtirilgan yo'l bilan pazlarga joylashtirish mumkin bo'lganligi tufayli bir qatlamli chulg'amlar kam quvvatli ($10 \div 15$ kW gacha) mashinalarning stator chulg'amida qo'llanilib kelmoqda. 11.3- rasmda bir qatlamli



11.3- rasm. Bir qatlamli konsentrik chulg'am sxemasi:

$$Z=48, 2p=4, q=4, a=1.$$



11.4- rasm. Sirtmoqsimon (a) va to'liqinsimon (b) chulg'amlarning seksiyalari.

chulg'amning amalda keng qo'llaniladigan turi, ya'ni bir qatlamli konsentrik chulg'am sxemasi ko'rsatilgan ($Z = 48$, $2p = 4$, $q = 4$, $a = 1$). Bunday chulg'am q son faqat juft bo'lganda bajarilishi mumkin.

Fazalar soniga qarab, o'zgaruvchan tok elektr mashinalarining chulg'amlari bir, ikki va uch fazali bo'lishi mumkin.

Seksiyalarning shakli va ulanishiga qarab, chulg'amlar sirtmoqsimon va to'liqinsimon turlarga bo'linadi. 11.4- rasmda sirtmoqsimon (a) va to'liqinsimon (b) chulg'amlarning seksiyalari ko'rsatilgan.

Sirtmoqsimon chulg'amlar turbogeneratorlar va umumiy maqsadli o'zgaruvchan tok elektr mashinalarida keng qo'llaniladi. Hidrogeneratorlarda to'liqinsimon chulg'amlarni ishlatish texnologik jihatdan afzal hisoblanadi.

Mashinaning har bitta qutbi va fazasiga to'g'ri keladigan pazlar soni q butun songa teng bo'lgan sirtmoqsimon chulg'am umumiy maqsadli o'zgaruvchan tok mashinalarida keng qo'llanishini e'tiborga olib, pazlar soni $Z = 24$ va qutblar soni $2p = 4$ bo'lgan uch fazali ($m = 3$) chulg'amni hisoblash, yoyilma sxemasini chizish talab etiladi. Bunda mashinaning har bitta qutbi va fazasiga to'g'ri keladigan pazlar soni q quyidagicha topiladi:

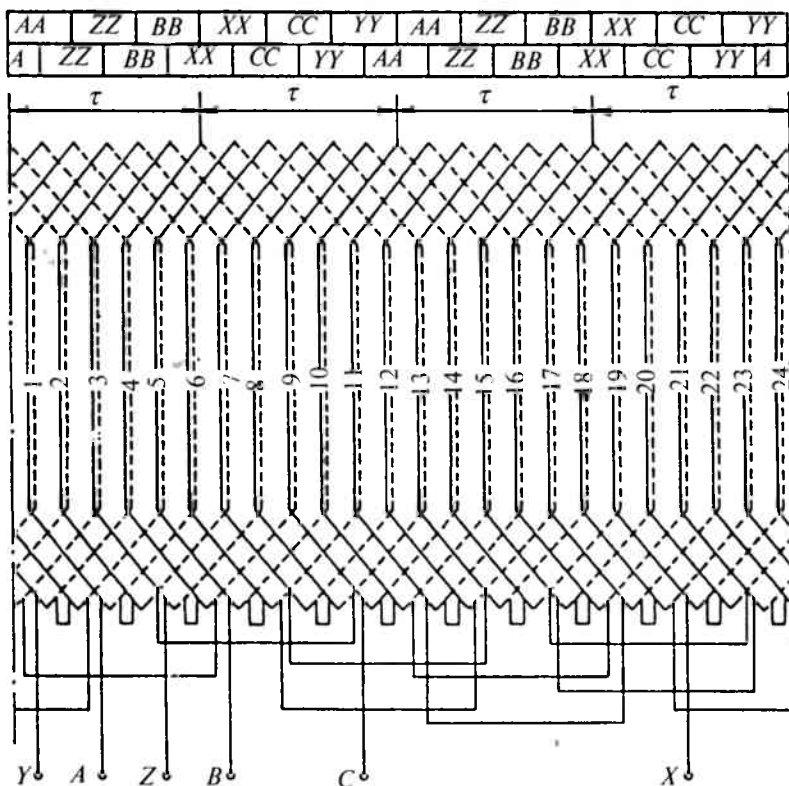
$$q = Z / (2p \cdot m) = 24 / (4 \cdot 3) = 2,$$

qutb bo'linmasi esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$\tau = Z / (2p) = 24 / (2 \cdot 2) = 6.$$

O'zgaruvchan tok mashinasida MYK (yoki EYK) ning o'zgarishini sinusoidal shaklga yaqinlashtirish maqsadida chulg'ami-ning qadami $y \approx 0,833 \cdot \tau$ bo'lgan qisqartirilgan qadam tanlanadi. Demak, mazkur chulg'amning qadami:

$$y = 0,833 \cdot \tau = 0,833 \cdot 6 = 5.$$



11.5- rasm. Uch fazali ikki qatlamli sirtmoqsimon chulg'am sxemasi: $Z = 24$, $m = 3$, $2p = 4$, $y = 5$.

Bu chulg'amning sxemasi 11.5- rasmda ko'rsatilgan. Bu chulg'am sxemasining tuzilishi quyidagicha tushuntiriladi: dastavval g'altaklar (pazlar)ning yuqori tomonlarini faza zonalari bo'yicha, $q = 2$ tomonlarni (pazlarni) bo'lib chiqamiz. Agar 1- va 2- pazlar A faza zonasini uchun ajratilsa, u holda B faza zonasiga 5- va 6- pazlarni ajratish kerak bo'ladi, chunki B faza A fazaga nisbatan 120° ga siljigan, ya'ni ikkita zona 60° dan yoki 4 ta ($120^\circ / \alpha = 120^\circ / 30 = 4$) pazga siljigan bo'lishi kerak ($1+4 = 5$; $2+4 = 6$). C faza zonasini ham B faza zonasiga nisbatan 120° ga siljib, $5+4 = 9$ va $6+4 = 10$ pazlarni egallaydi. Keyingi qo'sh qutb bo'linmasi davomida ham (pazlar $13 \div 24$) A, B va C zonalarning almashib kelishi shunday tartibda amalga oshadi (A faza zonasiga 13, 14- pazlar; B faza zonasiga 17, 18- pazlar; C faza zonasiga 21, 22-

pazlar to'g'ri keladi). Ustki qatlam shu tarzda taqsimlanadi. Boshqa faza zonalarini ham A, B, C fazalar bo'yicha taqsimlab chiqamiz va ularni mos ravishda X, Y, Z harflari bilan belgilaymiz. Bunda A fazaga tegishli X zona uchun, A zonaga nisbatan $180^\circ / 30^\circ = 6$ taga siljigan pazlarni ajratamiz, ya'ni $1+6 = 7$, $2+6 = 8$, $13+6=19$, $14+6=20$ - pazlar. Xuddi shunday Y zona uchun $5+6=11$, $6+6=12$, $17+6=23$, $18+6=24$ -pazlarni, Z zona uchun esa $9+6 = 15$, $10+6 = 16$, $21+6 = 27-24=3$, $22+6=28-24=4$ - pazlarni ajratamiz.

Shu tarzda g'altaklar (pazlar)ning ustki tomonlarini fazalar zonasi bo'yicha tarqalishiga ega bo'lamiz. A, B, C va X, Y, Z zonalar orasidagi farq shundaki, g'altaklar tomonlaridagi EYK faza bo'yicha 180° ga siljigan bo'ladi.

Ko'rilayotgan misolda qo'shni pazlar simlaridagi EYK ning faza bo'yicha siljishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$p \cdot 360^\circ / Z = 2 \cdot 360 / 24 = 30^\circ .$$

11.5- rasmdagi sxemada har bir paz uchun ikkita sim (g'altak tomonlari) chizilgan. Ularning chap tomonlari yuqori qatlamga, o'ng tomonlari esa pastki qatlamga joylashgan deb, hisoblaymiz. G'altaklarni yuqori tomonidan boshlab nomerlab chiqamiz.

Shunday qilib, A faza uchun (11.5- rasm) 4 ta, ya'ni 1-2, 7-8, 13-14 va 19-20 g'altaklar guruhiga ega bo'lamiz. Ularning hammasi ketma-ket ulangan, 7-8 va 19-20 guruhlar esa 1-2 va 13-14 (1-2 guruh oxirlari 7-8 guruh oxirlari bilan ulangan) guruhlariga nisbatan teskari bo'ladi, bunda hamma guruh EYK qo'shiladi. Boshqa fazalardagi guruhlar ham xuddi shunday ulanadi.

Hamma fazadagi EYK bir-biriga teng va faza bo'yicha 120° ga siljigan bo'ladi. 11.5- rasmda A, B va C fazalarning bosh uchlari o'rniga bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan 1, 5 va 9-g'altaklarning bosh uchlari olingan. X, Y va Z fazalarning oxirgi uchlariga 19, 23 va 3-g'altaklarning boshi mos keladi.

Sinusoidal o'zgarayotgan aylanma magnit maydoni stator va rotor chulg'amlarini kesib o'tib, ularda o'zgaruvchan EYK hosil qiladi.

Yarim davrdagi EYK ning o'rtacha qiymati quyidagicha topiladi:

$$E_{o'n} = 4,44 f w_f \Phi_{max}, \quad (11.4)$$

bunda w_f — faza chulg'amning o'ramlar soni.

EYK ning ta'sir etuvchi qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_1 = k_{sh} E_{o'n} = 4,44 f w_f \Phi_{max}, \quad (11.5)$$

bunda $k_{sh} = 1,11$ – sinusoida uchun egri chiziq shaklining koef-fitsiyenti.

Agar chulg'am tarqalgan va bir necha pazda joylashgan bo'lsa, ayrim g'altakdagi EYK lar faza bo'yicha siljigan bo'lib, ularning vektor qiymatlarini qo'shish usulidan foydalanish kerak bo'ladi. Qisqartirilgan qadamli tarqalgan chulg'amning natijaviy EYK quyidagicha topiladi:

$$E_1 = 4,44 f w_f \Phi_{max} k_{chl}, \quad (11.6)$$

bunda k_{chl} – chulg'am koeffitsiyenti ($k_{chl} = 0,9 \div 0,95$).

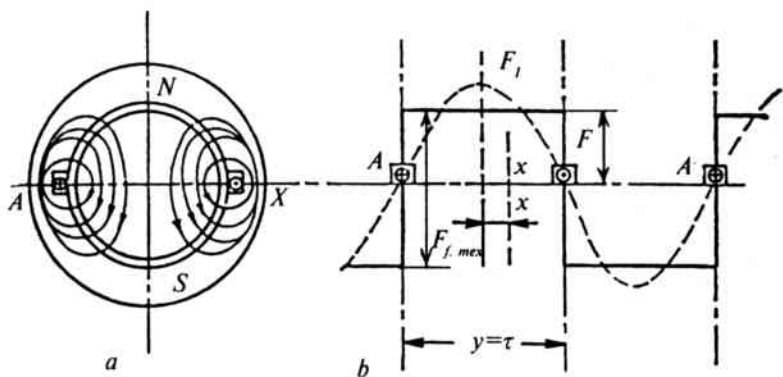
EYK ning vaqt bo'yicha o'zgarish shaklini sinusoidaga yaqinlashtirish uchun chulg'am o'tkazgichlarini pazlar bo'yicha tarqatib joylashtirish, chulg'am qadamini qisqartirish va kam quvvatli mashinalarda stator yoki rotor pazlarini biror burchakka qiyshaytirib tayyorlash usullaridan foydalaniladi.

11.2. O'zgaruvchan tok mashinalari chulg'amlarining MYK va EYK

Elektr mashinasining stator yoki rotor chulg'amlarining magnit yurituvchi kuchi (MYK) havo oralig'ida aylanma magnit maydonini hosil qilishi lozim. Shuning uchun sinusoidal kuchlanish berilayotgan har bir chulg'am, fazoda sinusoidal tarqalgan MYK ga ega bo'lishi kerak. Agar bu shartlar bajarilmasa, magnit maydoni tarkibida yuqori garmonikalar bo'lib, ular mashinaning energetik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi.

Yig'ilgan chulg'amning MYK. MYK ning tarqalishini yig'il-gan chulg'amli ikki qutbli mashina misolida ko'rib chiqish mumkin. Bunda AX faza chulg'amining hamma o'ramlari dia-metral yuzadagi ikkita pazda joylashgan. Agar tok faza chul-g'amining bosh uchi A dan oxirgi uchi X ga yo'nalgan bo'lsa, ikki qutbli magnit oqimi hosil bo'ladi. Magnit oqimi kuch chiziqlarining yo'nalishi 11.6- rasm, a da ko'rsatilgan bo'lib, ular chulg'amning hamma o'ramlari bilan qurshaladi. Bunda g'altakning MYK $F_g = I \cdot w_g$ ga teng. Tok maksimal qiymatga ega bo'lganda MYK ham maksimal $F_g = I \cdot w_g = \sqrt{2} I \cdot w_g$ qiymatga erishadi.

Agar magnit zanjiri ferromagnit qismlarining magnit qarshi-ligini nolga teng deb qabul qilsak, stator MYK ning tarqalishi to'g'ri burchak shaklida bo'ladi (11.6- rasm, b).



11.6- rasm. Yig'ilgan chulg'amning MYK.

Statorning yig'ilgan chulg'ami ikkita pazda joylashganligi tufayli, uning MYK ikkita (musbat va manfiy) to'g'ri burchak ko'rinishida bo'ladi. Ulardan har birining qiymati bitta havo oralig'idan magnit oqimini o'tkazish uchun zarur bo'lgan MYK ga mos keladi, ya'ni

$$F = F_{g\max}/2 = (\sqrt{2}/2) I \cdot w_g. \quad (11.7)$$

To'g'ri burchak shakldagi MYK ni Furrye qatoriga yoyib sinusoidal (kordinatalar boshi g'altak o'qida bo'lsa kosinusoidal) yig'indisi ko'rinishida yozish mumkin:

$$F_x = F \cdot (4/\pi) \cdot [\cos \alpha + (1/3) \cdot \cos(3\alpha) + (1/5) \cdot \cos(5\alpha) + \dots + (1/n) \cdot \cos n \alpha], \quad (11.8)$$

bunda: $\alpha = \pi x / \tau$ — fazoviy burchak.

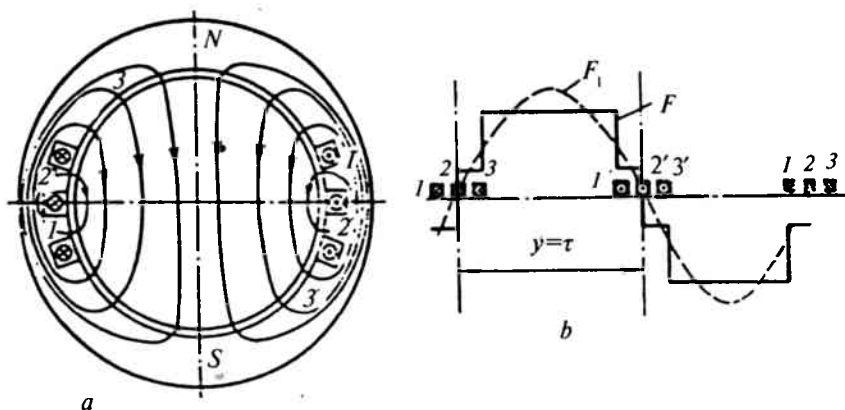
Tok maksimal qiymatga ega bo'lganda, yig'ilgan chulg'am MYK ning birinchi garmonikasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_1 = (4/\pi) F = (4/\pi) (\sqrt{2}/2) \cdot I w = 0,9 \cdot I w. \quad (11.9)$$

Demak, yig'ilgan chulg'amning MYK sinusoida shaklidan ancha farq qilar ekan, shu sababli bunday chulg'amlar amalda kam ishlatiladi.

Tarqalgan chulg'amning MYK. Magnit maydonining tarqalish egri chizig'ini sinusoidaga yaqinlashtirish maqsadida, har bir faza bir necha pazlarga joylashtiriladi. Bunda chulg'amning sovitilishi ham yaxshilanadi.

11.7- rasm, a da oltita pazga ($q = 3$) joylashtirilgan ikki qutbli mashina chulg'ami ko'rsatilgan.



11.7- rasm. Ikki qutbli mashina tarqalgan chulg'aming MYK.

Bunda natijaviy MYK ning tarqalish shakli pog'onasimon bo'ladi (11.7- rasm,b).

Tarqalgan chulg'amning MYK o'ramlar soni $w = w' / 3$ bo'lgan va fazoda $\alpha = \pi b / \tau$ (b – qo'shni pazlar o'qlari orasidagi masofa) burchakka siljigan yig'ilgan uchta chulg'am MYK larining yig'indisidan iborat bo'ladi.

Tarqalgan chulg'am birinchi garmonikasining MYK ini quyidagicha ifodalash mumkin

$$F_{11} = 0,9 \cdot I w \cdot k_{11}, \quad (11.10)$$

bunda $k_{11} = \sin(q \alpha / 2) / [q \sin(\alpha / 2)]$ – chulg'amning 1-garmonikasi uchun tarqalish koeffitsiyenti.

Qadami qisqartirilgan chulg'amning MYK. MYK ning shaklini yana ham yaxshilash maqsadida tarqalgan chulg'amda MYK yuqori garmonikalarining amplitudasi ko'pincha ancha kamaysa, ayrimlari oz miqdorda kamayadi. Tarqalgan chulg'amning qadami qisqartiriladi, ya'ni $y < \tau$. Bunda chulg'am ikki qatlamli qilib o'raladi, har bir seksiyaning bir tomoni pazning ustki qismida, ikkinchi tomoni esa boshqa pazning pastki qismida yotadi.

MYK 1- garmonikasining qiymati quyidagicha topiladi:

$$F_{11} = 0,9 \cdot I w \cdot k_{11} \cdot k_{q1}, \quad (11.11)$$

bunda $k_{q1} = \cos(\beta / 2)$ – 1- garmonika uchun chulg'amning qisqartirish koeffitsiyenti ($\beta = y_q / y_1$ – chulg'amning nisbiy qadami).

Pazlar qiyshiqqligining MYK ga ta'siri. Kam quvvatli mashinalar statori va rotoridagi pazlarning oxiri uning boshiga nisbatan biror

γ burchakka siljigan bo'ladi. Bu qiyshilik γ burchakka to'g'ri keluvchi yoy bo'yicha chulg'am tarqalishiga ekvivalentdir. Agar $q \nu = \gamma$ va $q \sin(\alpha/2) = \gamma/2$ deb olinsa, 1- garmonika uchun qiyshilik koeffitsiyenti quyidagicha topiladi:

$$k_{qiy,1} = \sin(\gamma/2) / (\gamma/2). \quad (11.12)$$

Qiyshilik koeffitsiyenti yuqori garmonikalarda 1- garmonikaga nisbatan ancha kichik bo'ladi. Pazlar qiyshiligi tufayli MYK ning tarqalish shakli sinusoidaga yaqinlashtiriladi.

11.2- j a d v a l

Koeffitsiyentlar	Garmonika tartibi, ν					
	1	3	5	7	9	11
k_t	0,96	0,667	0,217	0,177	0,333	0,177
k_q	0,94	0,5	0,174	0,766	1,0	0,766
k_{ch}	0,902	0,333	0,038	0,135	0,333	0,135

Agar yuqori garmonikalar (ν) uchun chulg'am koeffitsiyentlari (k_{tv} , k_{qv} va $k_{qiy,\nu}$) ni aniqlash zarurati tug'lsa, ularning 1- garmonikasini aniqlash formulasidagi β o'rniga β ; γ o'rniga esa $\nu \cdot \gamma$ qo'yiladi.

k_{tv} , k_{qv} va $k_{qiy,\nu}$ koeffitsiyentlarning ko'paytmasi chulg'am koeffitsiyenti deyiladi va ν — garmonika uchun quyidagicha topiladi:

$$k_{ch,\nu} = k_{tv} \cdot k_{qv} \cdot k_{qiy,\nu}. \quad (11.13)$$

11.2- jadvalda $q = 3$, $\alpha = 20^\circ$, $\gamma/\tau = 7/9$ bo'lgan chulg'am uchun k_t , k_q va k_{ch} koeffitsiyentlarning qiymatlari keltirilgan.

11.3. O'zgaruvchan tok mashinasi havo oralig'idagi magnit maydon

Pulslanuvchi magnit maydon. Bir fazali chulg'am o'zgaruvchan tok manbayiga ulansa, vaqt bo'yicha tok chastotasi bilan o'zgaradigan pulslanuvchi magnit maydoni hosil bo'ladi. Bunda MYK sinusoidal tarqalgan bo'lsa, chulg'am o'qidan biror x masofada joylashgan havo oralig'ining har bir nuqtasiga quyidagi MYK to'g'ri keladi:

$$F_x = F_0 \cos \alpha = F_{\max} \sin \omega t \cdot \cos \alpha, \quad (11.14)$$

bunda $F_0 = F_{\max} \sin \omega t$ — chulg'am o'qida joylashgan nuqtadagi MYK.

(11.14) ifodani quyidagicha yozish mumkin

$$F_x = 0,5F_{\max} \sin(\omega t - \alpha) + 0,5F_{\max} \sin(\omega t + \alpha). \quad (11.15)$$

(11.15) tenglamaning o'ng tomonidagi har bir tashkil etuvchi aylanma MYK tenglamasini ifodalaydi. Demak, fazoda sinusoidal tarqalgan pulslanuvchi magnit maydoni, bir-biriga nisbatan teskari tomonga aylanuvchi ikkita MYK yig'indisidan iborat ekan. Shunday qilib,

$$F'_x = 0,5F_{\max} \sin(\omega t - \pi x / \tau) \text{ va } F''_x = 0,5F_{\max} \sin(\omega t + \pi x / \tau).$$

MYK larning maksimal qiymatlari vaqtning istalgan paytida o'zgarmas bo'ladi. Agar bu MYK lar yig'indisini fazoda vektor ko'rinishida tasavvur qilsak, u holda bu vektorning oxiri aylanani chizadi. Bunday maydon *aylanma maydon* deyiladi.

Magnit maydonning aylanish chastotasi quyidagiga teng:

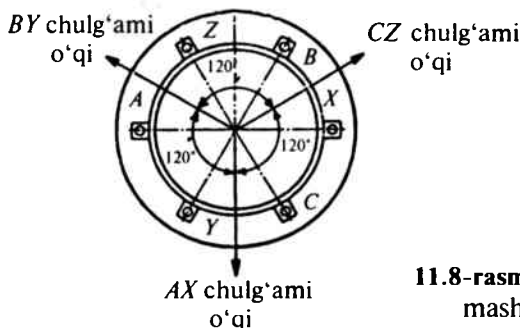
$$n_1 = 60v / (\pi D) = 60 \cdot 2f \tau / (\pi D) = 60 f / p, \quad (11.16)$$

bunda $\vartheta = 2f\tau$ – chiziqli tezlik.

Uch fazali chulg'amning aylanma magnit maydoni. Agarda elektr mashinasining statoriga bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan simmetrik uch fazali chulg'am joylashtirilib (11.8- rasm), uch fazali simmetrik tok berilsa, bu chulg'amda aylanma magnit maydon hosil bo'ladi. Bunda har bir fazada hosil bo'lgan MYK sinusoidal tarqalgan deb hisoblaniladi.

Ko'rilayotgan chulg'amning AX, BY va CZ fazalari bir-biriga nisbatan fazoda $(2/3) \cdot \tau$ masofada, toklari esa vaqt bo'yicha $(2/3) \cdot \pi = 120^\circ$ burchakka siljigan bo'ladi:

$$F_{xA} = F_{\max} \sin \omega t \cdot \cos \alpha = 0,5[F_{\max} \cdot \sin(\omega t - \alpha) + F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \alpha)]; \quad (11.17)$$



11.8-rasm. Uch fazali ikki qutbli mashina statorida chulg'am fazalarining joylashishi.

$$F_{xB} = F_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ) \cdot \cos(\alpha - 120^\circ) = 0,5[F_{\max} \sin(\omega t - \alpha) + F_{\max} \sin(\omega t + \alpha - 240^\circ)]; \quad (11.18)$$

$$F_{xC} = F_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ) \cdot \cos(\alpha - 240^\circ) = 0,5[F_{\max} \sin(\omega t - \alpha) + F_{\max} \sin(\omega t + \alpha + 240^\circ)]. \quad (11.19)$$

Teskari aylanuvchi MYK ning yig'indisi 0 ga teng, effektiv qiymati esa F_{xA} , F_{xB} , F_{xC} tashkil etuvchilarning yig'indisidan iborat bo'ladi

$$F_{x(\Sigma)} = 1,5F_{\max} \sin(\omega t - \alpha). \quad (11.20)$$

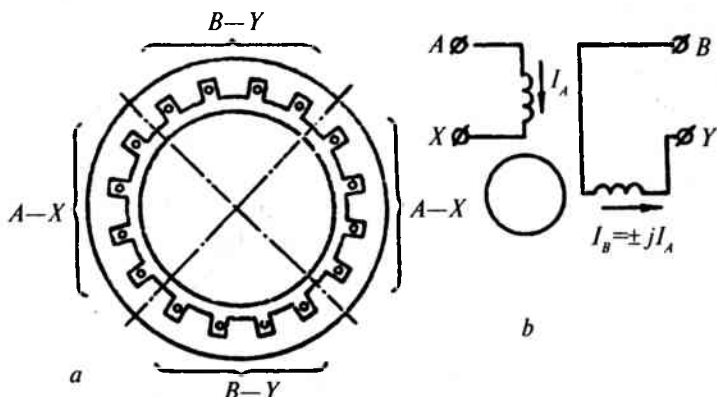
Doiraviy aylanma magnit maydon quyidagi o'ziga xos xossalarga ega:

a) natijaviy MYK va induksiyaning maksimumlari har doim toki maksimumga erishgan fazaviy chulg'am o'qi bilan mos tushadi;

b) natijaviy magnit maydonning siljishi maydonning keyingi maksimumi qaysi qo'shni fazaviy chulg'am o'qi bilan mos tushsa, shu tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bu xossa to'g'ridan to'g'ri oldingi xulosa (a) dan kelib chiqadi;

d) maydonning aylanish yo'nalishini teskari tomonga o'zgartirish uchun fazalardagi tok tartibini o'zgartirish lozim. Buning uchun uch fazali mashinalarda tarmoqqa ulangan uchta simdan xohlagan ikkitasini almashlab ulash, ikki fazali mashinalarda esa tarmoq fazalariga ulangan simlarni almashtirish lozim.

Ikki fazali chulg'amning aylanma magnit maydoni. Ikki fazali simmetrik chulg'amning AX va BY fazalari (11.9 - rasm, a) fazoda bir-biriga nisbatan qutb bo'linmasi τ ning yarmiga siljigan bo'ladi.



11.9- rasm. Ikki fazali ikki qutbli mashina sxemasi (a), stator fazalarining joylashishi (b).

Agar bunday chulg'amning har bir fazasiga bir-biriga nisbatan vaqt bo'yicha 90° burchakka siljigan tok ($I_B = \pm j I_A$) berilsa (11.9-rasm, b), u holda aylanma magnit maydon hosil bo'ladi.

Bu toklar hosil qilgan MYK lar quyidagicha topiladi:

$$F_{xA} = F_{\max} \sin(\omega t) \cdot \cos(\alpha) = 0,5 [F_{\max} \times \sin(\omega t - \alpha) + F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \alpha)]; \quad (11.21)$$

$$F_{xB} = F_{\max} \sin(\omega t - 90^\circ) \cdot \cos(\alpha - 90^\circ) = 0,5 [F_{\max} \times \sin(\omega t - \alpha) + F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \alpha - \pi)]; \quad (11.22)$$

natijaviy MYK esa quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_{x(\Sigma)} = F_{xA} + F_{xB} = F_{\max} \sin(\omega t - \alpha). \quad (11.23)$$

Bunday chulg'amda hosil bo'lgan aylanma magnit maydonning aylanish chastotasi ham (11.16) tenglamadan topiladi.

Ikki fazali mashinada doiraviy aylanma maydon hosil qilish uchun ikkita fazaning to'g'ri F'_{xA} va F'_{xB} yoki teskari F''_{xA} va F''_{xB} MYK lar bir-birini kompensatsiya qilishi (to'ldirishi) kerak, bu shart bajarilishi uchun MYK lar amplitudalari teng, fazalari esa qarama-qarshi ($\alpha \pm \beta = \pi$) bo'lishi kerak (β — fazalardagi toklar va ularga mos keladigan MYK larning vaqt bo'yicha o'zaro siljish burchagi).

Elliptik maydon. Fazoda simmetrik joylashgan chulg'amlardan vaqt bo'yicha o'zaro mos siljigan toklar oqqan paytda aylanma magnit maydon hosil bo'ladi. Agar bu shartlardan birortasi bajarilmasa, *elliptik maydon* hosil bo'ladi. Bunday maydon MYK ning fazoviy vektori — ellipsni chizadi.

Ellips shaklidagi aylanma magnit maydonida natijaviy MYK va induksiyaning maksimal qiymati vaqtning har xil onida o'zgaruvchan bo'ladi (doiraviy aylanma magnit maydonda esa bu qiymat o'zgarmas bo'ladi).

Ellips shaklidagi maydonni qarama-qarshi yo'nalishlarda aylanayotgan ikkita bir xil (ekvivalent) doiraviy maydon ko'rinishida tasavvur qilish mumkin. Natijaviy elliptik maydon yo'nalishida aylanayotgan maydon *to'g'ri maydon*, qarama-qarshi tomonga aylanayotgani esa *teskari maydon* deyiladi. Ellips shaklidagi maydon simmetrik tashkil etuvchilar usulida to'g'ri va teskari doiraviy maydonlarga ajratiladi va to'g'ri hamda teskari ketma-ketliklar MYK lari aniqlanadi.

12- BOB. | ASINXRON MASHINALAR

12.1. Asinxron mashinaning tuzilishi va ishlash prinsipi

O'zgaruvchan tok mashinalaridan asinxron mashinalar asosan *asinxron motorlar* sifatida xalq xo'jaligining turli sohalarida mashina va mexanizmlarni harakatga keltirish maqsadida ishlatiladi.

Uch fazali asinxron motorni 1889- yilda rus injeneri M.O. Dolivo-Dobrovolskiy ixtiro qilgan.

Asinxron motor, asosan, ikki qism: qo'zg'almas qism — *stator* va aylanuvchi qism — *rotordan* iborat. Asinxron motorning rotor stator ichiga o'rnatiladi. Rotor val, po'lat o'zak va uning pazlariga joylashtirilgan uchta chulg'amdan iborat. Rotorning po'lat o'zagi maxsus elektrotexnik po'latdan tayyorlangan yupqa plastinalardan yig'ilgan. Rotorning chulg'ami ham po'lat o'zakning pazlariga joylashtiriladi.

Rotorining tuzilishiga qarab, ikki xil:

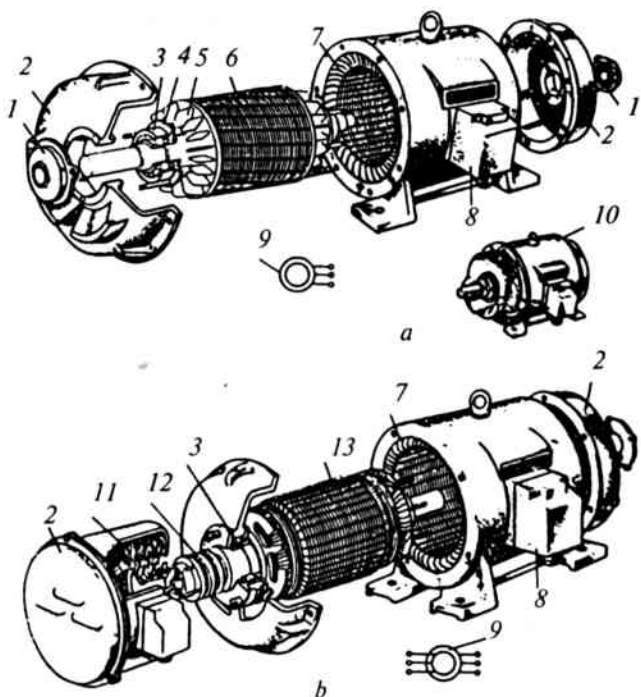
1) qisqa tutashgan rotorli asinxron motor (rotor chulg'ami qisqa tutashgan);

2) faza rotorli asinxron motor (rotor chulg'ami uch fazali) bo'ladi.

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor rotorining po'lat o'zagi pazlariga eritilgan aluminiy quyilib, chulg'am o'tkazgichlari (sterjenlar) hosil qilinadi va ularning uchlari ikki tomondan quyma aluminiy halqalar orqali qisqa tutashgan bo'ladi. Natijada, yaxlit „olmaxon katagi“ ko'rinishidagi qisqa tutashgan chulg'am hosil bo'ladi.

Faza rotorli asinxron motor ham val va unga o'rnatilgan po'lat o'zakdan iborat bo'lib uning pazlariga bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan uchta chulg'am joylashtirilgan (12.1- rasm). Rotor chulg'amlari, asosan, yulduz usulida ulanadi. Ularning uchlari esa valning bir tomoniga o'rnatilgan uchta mis yoki jez halqalarga ulanadi.

Asinxron motor quyidagicha ishlaydi. Uch fazali asinxron motorning stator chulg'amiga uch fazali tok berilganda vujudga kelgan magnit yurituvchi kuch (MYK) statorda aylanish chastotasi n_1 bo'lgan aylanma magnit maydonni hosil qiladi. Magnit maydonning kuch chiziqlari stator chulg'ami o'ramlarini va rotorning qisqa tutashgan chulg'am sterjenlarini yoki uch fazali



12.1- rasm. Asinxron motorlar: *a* — qisqa tutashgan rotorli;
b — faza rotorli.

1 — qopqoq; 2 — podshipnik qalqoni; 3 — podshipnik; 4 — podshipnik qopqog'i; 5 — ventilator; 6, 13 — po'lat o'zak; 7 — stator chulg'ami; 8 — chiqish simlari qutisi; 9 — motorning ulanish sxemasi; 10 — umumiy ko'rinishi; 11 — cho'tkalar; 12 — kontakt halqalar.

chulg'am o'ramlarini kesib o'tib, elektr yurituvchi kuch (EYK) hosil qiladi. Rotor chulg'ami qisqa tutashgan bo'lsa, undagi EYK ta'sirida qisqa tutashgan rotor chulg'am-sterjenlardan tok o'tib, bu tokning stator hosil qilgan aylanma magnit maydon bilan o'zaro ta'siri natijasida elektromagnit kuch hosil bo'ladi. Bu kuch hosil qilgan aylantiruvchi (elektromagnit) moment valdagi tormozlovchi momentdan katta bo'lsa, rotni aylanma magnit maydon yo'nalishida aylantiradi.

Aylanma magnit maydonning aylanish chastotasi n_1 bilan rotni aylantirish chastotasi n orasidagi nisbiy farq sirpanish s deyiladi va quyidagicha aniqlanadi, %:

$$s = (n_1 - n) / n_1 \cdot 100. \quad (12.1)$$

Stator magnit maydonining aylanish chastotasi n_1 va rotorning aylanish chastotasi n ga bog'liq holda asinxron mashina motor, generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlashi mumkin. Motor rejimida ($n_1 > n$) sirpanish $0 < s < 1$ oraliqda, generator rejimida ($n > n_1$) — $-\infty < s < 0$, elektromagnit tormoz rejimida, ya'ni statordagi aylanma maydon va rotor o'zaro teskari aylanganda $1 < s < +\infty$ bo'ladi.

Asinxron motor nominal yuklama bilan ishlayotganda sirpanish nominal s_N qiymatga ega bo'ladi. Umumiy maqsadli asinxron mashinalarda $s_N = 3 \div 5 \%$ ni tashkil qiladi.

12.2. Asinxron mashinadagi elektromagnit jarayonlar

Rotori tormozlangan mashina xuddi transformator kabi ishlaydi. Stator va rotor chulg'amlarida hosil bo'lgan EYK lar quyidagicha aniqlanadi:

$$E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot k_{ch1} \cdot f_1 \cdot \Phi_{\max}; \quad (12.2)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot k_{ch2} \cdot f_2 \cdot \Phi_{\max}. \quad (12.3)$$

Rotori qo'zg'almas bo'lganda $f_1 = f_2$, shu sababli

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot k_{ch2} \cdot f_1 \cdot \Phi_{\max}, \quad (12.4)$$

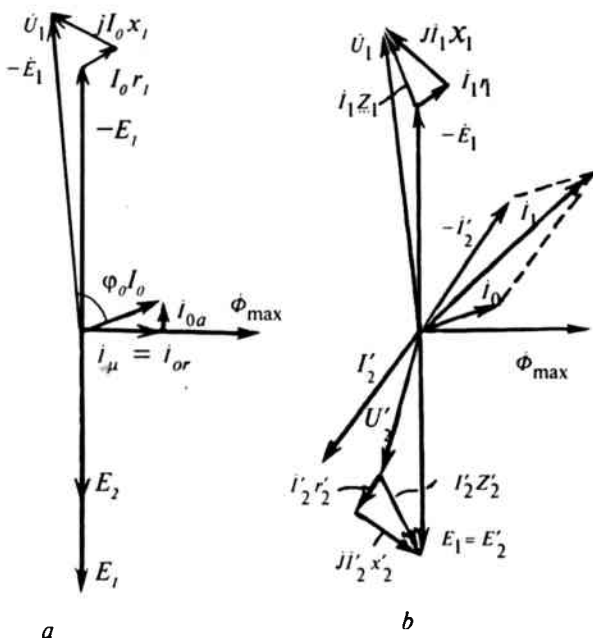
bunda k_{ch1} , k_{ch2} — stator va rotor chulg'amlarining chulg'am koeffitsiyentlari, f_1 , f_2 — stator va rotor chulg'amlarining chastotasi, w_1 , w_2 — stator va rotor chulg'amlarining o'ramlari soni, $\Phi_{\max}$ — magnit oqimining amplituda qiymati.

Agar rotor chulg'ami ochiq bo'lsa, undan tok o'tmaydi va bu holat *salt ishlash rejimi* deyiladi. Bunday rejim statorda bo'ladigan elektromagnit jarayonlarga ta'sir qilmaydi.

Salt ishlayotgan asinxron mashina statorining faza chulg'amlari uchun EYK lar muvozanat tenglamasi transformatoridagi kabi quyidagicha yoziladi:

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_0 r_1, \quad (12.5)$$

bunda $E_{\sigma 1}$ — tarqoq magnit oqimi $\Phi_{\sigma 1}$ hosil qilgan EYK, $E_{\sigma 1} = 4,44 \cdot w_1 \cdot k_{ch1} \cdot f_1 \cdot \Phi_{\sigma 1 \max}$ — stator chulg'amining tarqoq EYK, $I_0 r_1$ — stator chulg'amining aktiv qarshiligidagi kuchlanish pasayishi.



12.2- rasm. Rotori tormozlangan asinxron mashinaning salt ishlash (a) va yuklama ulangan (b) rejimlari uchun vektor diagrammalar.

(12.5) formula asosida salt ishlayotgan asinxron mashinaning vektor diagrammasini (12.2- rasm) qurish mumkin. Bu diagramma salt ishlayotgan transformator diagrammasidan kam farq qiladi. Asinxron mashinada havo oralig'i bo'lgani uchun, uning salt ishlash toki I_0 transformatornikidan miqdor jihatdan taxminan $10 \div 12$ marta katta bo'ladi, ya'ni nominal tok I_N ning $20 \div 40$ % ni tashkil qiladi.

Asinxron mashinalarda salt ishlash toki I_0 ning katta bo'lishi ulardagi eng asosiy kamchilik bo'lib, u stator chulg'amidagi elektr isrofni oshiradi va mashinaning quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi$ ni kamaytiradi. Zavodda asinxron mashinalarning salt ishlash toki I_0 ni kamaytirish maqsadida ularning havo oralig'i iloji boricha (konstruktiv va texnologik nuqtayi nazardan) kichik qilib tayyorlanadi. Masalan, quvvati 5 kW va undan kichik bo'lgan asinxron motorlarda havo oralig'i $0,1 \div 0,3$ mm ni tashkil qiladi.

Asinxron mashinalarda rotor va stator chulg'amlarining o'ramlari soni har xil bo'lganligi tufayli ularda elektromagnit jarayonni o'rganishda qiyinchilik tug'iladi. Buni bartaraf etish maqsadida rotor

chulg'aming o'ramlari soni stator chulg'ami o'ramlari soniga keltiriladi. Bunda asinxron mashinaning tarmoqdan olayotgan aktiv va reaktiv quvvatlari, FIK va $\cos\varphi$ o'zgarmasligi kerak.

Keltirilgan chulg'am va haqiqiy chulg'am o'ramlari sonida mashinadagi magnit oqimi o'zgarmay qolishi shartidan, ya'ni

$$\Phi_{\max} = E_2 / (4,44 \cdot w_2 \cdot k_{ch2} \cdot f_1) = E'_2 / (4,44 \cdot w_1 \cdot k_{chl} \cdot f_1) \quad (12.6)$$

keltirilgan EYK topiladi:

$$E'_2 = E_2 [w_1 k_{chl} / (w_2 k_{ch2})] = k_E E_2. \quad (12.7)$$

Transformatorlardagi singari keltirilgan va haqiqiy chulg'am MYK larining tenglik shartidan, ya'ni $(m_1 w_1 k_{chl}) I'_2 = (m_2 w_2 k_{ch2}) I_2$ rotor chulg'aming keltirilgan tokini topamiz:

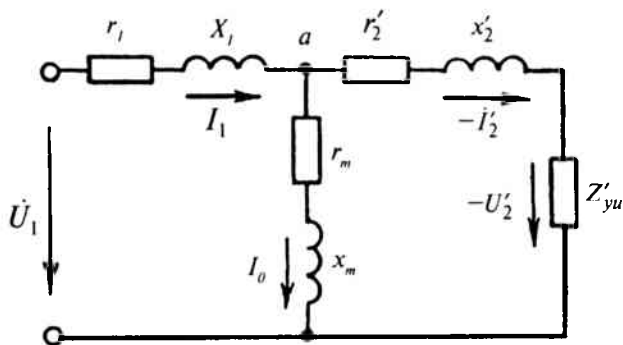
$$I'_2 = \frac{m_2 w_2 k_{ch2}}{m_1 w_1 k_{chl}} I_2 = \frac{I_2}{k_1}, \quad (12.8)$$

bunda $k_1 = \frac{m_1 w_1 k_{chl}}{m_2 w_2 k_{ch2}}$ — tok uchun keltirish koeffitsiyenti.

Rotor chulg'ami zanjiridagi quvvat isroflarining o'zgarmay qolish sharti $(m_2 I_2^2 r_2 = m_1 (I'_2)^2 r'_2)$ dan keltirilgan aktiv qarshilikni topamiz:

$$r'_2 = \left(\frac{m_2}{m_1} \right) \left(\frac{I_2}{I'_2} \right)^2 r_2 = k_E k_1 r_2. \quad (12.9)$$

Reaktiv quvvatning o'zgarmay qolishi sharti $(m_2 I_2^2 x_2 = m_1 (I'_2)^2 x'_2)$ dan keltirilgan induktiv qarshilikni topamiz:



12.3- rasm. Rotori tormozlangan asinxron mashinaning almashtirish sxemasi.

$$x_2' = \left(\frac{m_1}{m_2} \right) \left(\frac{w_1 k_{ch1}}{w_2 k_{ch2}} \right)^2 x_2 = k_E k_1 x_2. \quad (12.10)$$

(12.9) va (12.10) formulalardagi $k_E k_1 = k_z$ bo'lib, qarshiliklarni keltirish koeffitsiyenti deyiladi.

„Olmaxon katagi“ tipdagi qisqa tutashgan chulg'am uchun k_E va k_1 koeffitsiyentlarni aniqlashda $w_2 = 0,5$; $m_2 = z_2$ va $k_{ch2} = 1$ deb qabul qilinadi.

Shunday qilib, rotor tormozlangan asinxron mashinalarning nazariyasi transformatorlarniki kabi bo'lar ekan.

Rotori tormozlangan asinxron mashinalar, asosan, kuchlanishni induksion rostlagich va faza rostlagich sifatida ishlatiladi.

Rotori aylanayotgan asinxron mashinaning ishlashi. Asinxron mashina normal sharoitda ishlayotganda uning rotor statorda hosil bo'lgan aylanma magnit maydon yo'nalishida $n < n_1$ chastota bilan aylanadi. Aylanma magnit maydon rotor chulg'amida EYK E_{2s} ni hosil qiladi:

$$E_{2s} = 4,44 \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot k_{ch2} \cdot \Phi_{\max}, \quad (12.11)$$

bunda f_2 — rotor chulg'ami tokining chastotasi.

Rotoring aylanma magnit maydoni rotorga nisbatan $n_s = n_1 - n$ chastota bilan aylanadi, unda f_2 quyidagicha topiladi

$$f_2 = p n_s / 60 = p(n_1 - n) / 60. \quad (12.12)$$

Bu tenglamaning o'ng tomonini n_1 / n_1 ga ko'paytirib, $(p n_1) / 60 = f_1$ va $(n_1 - n) / n_1 = s$ larni hisobga olgan holda (12.12) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$f_2 = f_1 \cdot s. \quad (12.13)$$

Rotori aylanayotgan asinxron mashinaning rotor chulg'ami parametrlari stator chulg'amiga keltirilgan EYK hamda toklarining muvozanat tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1), \\ \dot{E}_2 &= \dot{I}_2'(r_2' / s + jx_2'), \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2'). \end{aligned} \right\} \quad (12.14)$$

Aylanuvchi rotor chulg'amining EYK E_{2s} ni quyidagicha topish mumkin:

$$E_{2s} = 4,44f_2 \cdot w_2 k_{ch2} \cdot \Phi_{\max} = 4,44f_1 \cdot s \cdot w_2 k_{ch2} \cdot \Phi_{\max}. \quad (12.15)$$

Rotori tormozlangan asinxron mashinaning EYK

$$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_2 k_{ch2} \cdot \Phi_{\max}$$

bo'lgani uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz

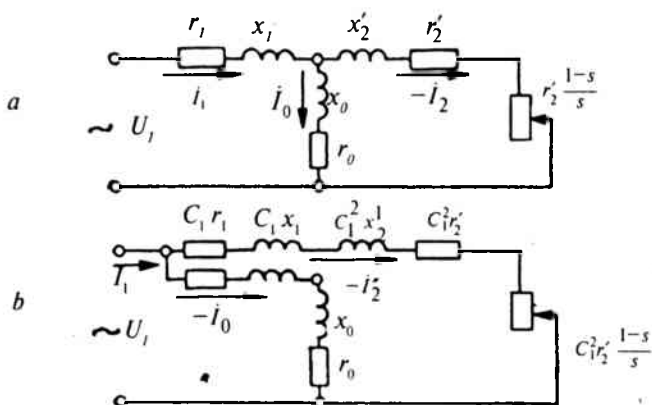
$$E_{2s} = E_2 \cdot s. \quad (12.16)$$

12.3. Asinxron mashinaning almashtirish sxemalari

Asinxron mashinalarning toki, quvvati va kuchlanish pasayishi-ni aniqlash uchun almashtirish sxemalaridan foydalaniladi. Mashinaning almashtirish sxemasi uning asosiy tenglamalariga binoran quriladi. Almashtirish sxemasi bir-biriga elektromagnit vositasida bog'langan stator va rotor elektr zanjirlari parametrlarining qarshiliklari orqali ko'rsatiladi.

T-simon almashtirish sxemasi. 12.4- rasm, a da asinxron mashinaning T-simon almashtirish sxemasi ko'rsatilgan. Bu sxema uchta asosiy shoxobcha:

- 1) qarshiliklari r_1 , x_1 va toki $\dot{I}_1$ bo'lgan stator zanjiri;
- 2) qarshiliklari r_0 , x_0 va toki $\dot{I}_0$ bo'lgan magnit zanjiri;



12.4- rasm. Asinxron motorning T simon (a) va G simon (b) almashtirish sxemalari.

3) qarshiliklari $r_2', x_2', r_2'[(1-s)/s]$ va toki $(-I_2')$ bo'lgan rotor zanjiridan iborat.

T simon almashtirish sxemasida faqat $r_2'[(1-s)/s]$ qarshilik o'zgaruvchan hisoblanadi.

12.4- rasm, b da asinxron mashinaning G - simon almashtirish sxemasi ko'rsatilgan. Bu sxema uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0'' + (-\dot{I}_2''); \quad \dot{I}_2'' = \dot{I}_2' / C_1,$$

bunda I_2' va I_2'' — tegishli T simon va G - simon almashtirish sxemasining ish konturi toklari. Bu sxemadagi kompleks $\dot{C}_1$ ni uning moduli C_1 bilan almashtirish mumkin. Quvvati 10 kW va undan katta bo'lgan asinxron mashinalar uchun

$$C_1 = 1 + (r_1 + jx_1) \cdot (r_0 + jx_0) = 1,02 \div 1,05 \text{ ga teng.}$$

Asinxron mashinalardagi elektromagnit jarayonlarni tahlil qilish uchun ko'pincha $C_1 = 1$ deb olinadi. Bunda hisoblash ishlari yengillashadi. G - simon almashtirish sxemasi magnit konturi ko'chirilgan, soddalashtirilgan almashtirish sxemasi deyiladi. Bu sxemadagi $\dot{I}_0''$ tokni $\dot{I}_0$ tokka teng, deb hisoblaganda xatolik kam bo'ladi.

12.4. Uch fazali asinxron motorning energetik diagrammasi va elektromagnit momenti

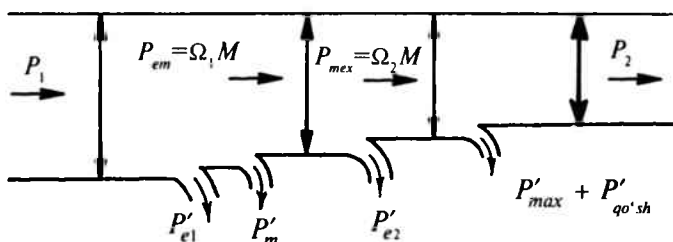
Asinxron motorning energetik diagrammasi. Asinxron mashina motor rejimida ishlayotganda u tarmoqdan elektr energiya olib, uni mexanik energiyaga aylantirib beradi (12.5- rasm). Elektr energiyani mexanik energiyaga aylantirishda motorda ma'lum bir energiya isroflari bo'ladi. Asinxron motor tarmoqdan

$$P_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (12.17)$$

aktiv quvvatni oladi. Bu quvvatning bir qismi stator chulg'amidagi elektr isrofi P_{cl}' ni va stator po'lat o'zagidagi magnit isrofi P_{ml}' ni qoplashga sarf bo'ladi:

$$P_{cl}' = m_1 \cdot I_1^2 r_1. \quad (12.18)$$

Aylanma magnit maydon vositasida rotorga elektromagnit quvvat P_{em} uzatiladi:



12.5- rasm. Asinxron motorning energetik diagrammasi.

$$P_{em} = P_1 - (P'_{el} + P'_{m1}). \quad (12.19)$$

Elektromagnit quvvat P_{em} ning bir qismi rotor zanjiridagi elektr isrofi (P'_{el})ni qoplash uchun sarflanadi:

$$P'_{e2} = m_2 \cdot I_2^2 r_2 = m_1 \cdot (I'_2)^2 \cdot r'_2. \quad (12.20)$$

Elektromagnit quvvat P_{em} ning qolgan qismi esa to'la mexanik quvvat P_{mex} ga aylanadi:

$$P_{mex} = P_{em} - P'_{e2}. \quad (12.21)$$

Motor ishlaganda podshipniklarning ishqalanishi va aylanuvchi qismlarining havoda ishqalanishi tufayli ham quvvat isrof bo'ladi.

Bundan tashqari, tarqoq magnit oqimlari stator va rotor po'lat o'zagi tishlarida hamda yaxlit po'lat qismlarda, magnit maydonning o'zgarib turishi natijasida ham qo'shimcha quvvat isrof bo'ladi.

Asinxron motorning to'la mexanik quvvati P_{mex} dan mexanik isrof P'_{mex} va qo'shimcha $P'_{qo'sh}$ isroflarni ayirib, motor orqali ish mexanizmiga uzatilayotgan foydali quvvat P_2 topiladi.

$$P_2 = P_{mex} - P'_{mex} - P'_{qo'sh}. \quad (12.22)$$

Foydali quvvat P_2 ni boshqacha usulda topsa ham bo'ladi. Buning uchun motordagi quvvat isroflari yig'indisi $\Sigma P'$ ni hisoblab, uni motorga berilayotgan quvvat P_1 dan ayiriladi, ya'ni

$$P_2 = P_1 - \Sigma P', \quad (12.23)$$

bunda

$$\Sigma P' = P'_{m1} + P'_{el} + P'_{e2} + P'_{mex} + P'_{qo'sh}. \quad (12.24)$$

Asinxron motorining FIK quyidagicha topiladi:

$$\eta = P_2 / P_1 = 1 - \Sigma P' / P_1. \quad (12.25)$$

Elektromagnit va mexanik quvvatlarni elektromagnit moment orqali ifodalaymiz

$$P_{em} = M \cdot \omega_1; \quad P_{mex} = M \cdot \omega_2, \quad (12.26)$$

bunda $\omega_1 = 2\pi \cdot n_1 / 60$ va $\omega_2 = 2\pi \cdot n_2 / 60$ — statordagi aylanma magnit maydoni va rotorning burchak tezliklari.

Energetik diagrammadan (12.5- rasm) ko‘rinib turibdiki, rotor chulg‘amidagi isroflar:

$$P'_{e2} = P_{em} - P'_2, \quad (12.27)$$

yoki

$$P'_{e2} = M\omega_1 - M\omega_2 = M(\omega_1 - \omega_2). \quad (12.28)$$

Bu tenglikning o‘ng tomonini (ω_1 / ω_2) nisbatga ko‘paytirib, quyidagini olamiz

$$P'_{e2} = M_{em} \omega_1 \cdot s. \quad (12.29)$$

(12.28) formuladan quyidagiga ega bo‘lamiz

$$M_{em} = P'_{e2} / (\omega_1 s), \quad (12.30)$$

bundan

$$s = P'_{e2} / (M_{em} \omega_1) = P'_{e2} / P_{em}. \quad (12.31)$$

(12.30) va (12.31) formulalar asinxron motorning muhim xossalarini tahlil qilishga imkon beradi, ya‘ni sirpanish va FIK orasidagi hamda elektromagnit momentning mashina parametrlari va ish rejimiga bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Elektromagnit moment. Energetik diagrammadan aniqlangan (12.30) formulaga tahlil uchun qulay bo‘lgan $\omega_1 = 2\pi \cdot n_1 / 60 = 2\pi \cdot f_1 / p$ qiymatni qo‘yib, tenglamani quyidagi ko‘rinishga keltiramiz:

$$P'_{e2} = m_2 \cdot I_2 \cdot E_{2s} \cos \psi_2, \quad (12.32)$$

bunda ψ_2 — rotorning EYK va toki orasidagi siljish burchagi.

EYK ning $E_{\Sigma} = 4,44 \cdot f_1 s \cdot w_2 k_{ch2} \cdot \Phi_{max}$ qiymatini hisobga olgan holda quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} M &= \left(p \cdot m_2 \cdot k_{ch2} / \sqrt{2} \right) \cdot \Phi_{max} I_2 \cdot \cos \psi_2 = \\ &= C_M \cdot \Phi_{max} \cdot I_2 \cdot \cos \psi_2, \end{aligned} \quad (12.33)$$

bunda M — elektromagnit moment, $C_M = p \cdot m_2 \cdot k_{ch2} / \sqrt{2}$ — o'zgarmas kattalik.

(12.33) formula faqat asinxron mashinalar uchungina emas, balki hamma elektr mashinalar uchun to'g'ridir. Demak, elektromagnit moment magnit oqimini rotor chulg'ami tokining aktiv tashkil etuvchisiga ko'paytirilganiga mutanosib ekan.



Nazorat savollari

1. Asinxron mashina qanday qismlardan tashkil topgan?
2. Rotorining tuzilishiga ko'ra, qanday asinxron motorlar bo'ladi?
3. Stator chulg'amining uchlari qanday belgilanadi?
4. Asinxron motorning ishlash prinsipini so'zlab bering.
5. Asinxron mashinaning qanday ish rejimlarini bilasiz?
6. Rotori tormozlangan asinxron motorda bo'ladigan fizik jarayonlar to'g'risida nimalarni bilasiz?
7. Rotori aylanadigan asinxron motorda bo'ladigan fizik jarayonlar to'g'risida nimalarni bilasiz?
8. Asinxron motorning T va G -simon almashtirish sxemalari nima uchun kerak?
9. Asinxron motorning energetik diagrammasi deganda nimani tushunasiz?

13.1. Asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashish xarakteristikalari

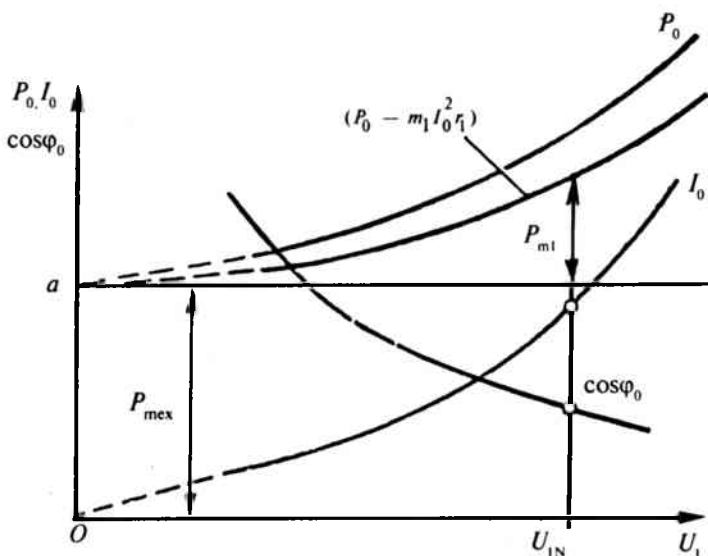
Asinxron motor yuklamasiz ishlagandagi holati ($s = 0$) *salt ishlash rejimi* deyiladi. $P_0, I_0, \cos\varphi_0 = f(U_0)$ bog'lanish esa asinxron motorning *salt ishlash xarakteristikasi* deyiladi. Bunda $n = \text{const}$ bo'lgani uchun mexanik isrof P'_{mex} o'zgarmas bo'ladi. Bu xarakteristika 13.1- rasmdagi chizmada tasvirlangan.

Asinxron motorning salt ishlash tajribasidan uning salt ishlashdagi quvvat isrofi va boshqa parametrlari aniqlanadi:

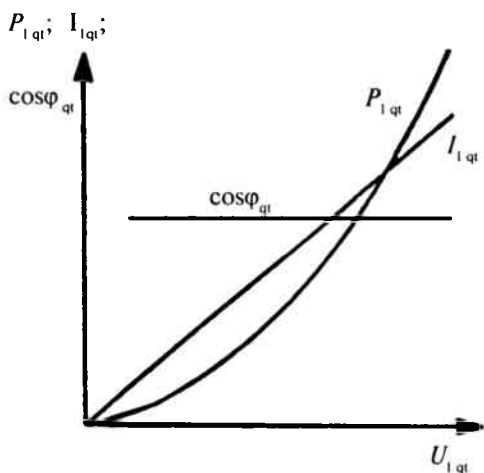
$$P_0 = m \cdot U_0 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi_0; \quad Z_0 = U_0 / I_0; \quad r_0 = P_0 / (m I_0^2);$$

$$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} \quad \text{yoki} \quad r_0 = Z_0 \cos\varphi_0; \quad x_0 = Z_0 \sin\varphi_0.$$

Asinxron motorning rotori tormozlangan bo'lsa ($n = 0; s = 1$), bunday rejim *qisqa tutashuv rejimi* deyiladi, $P_{\text{qt}}, I_{\text{qt}}, \cos\varphi_{\text{qt}} = f(U_{\text{qt}})$ bog'lanish esa asinxron motorning *qisqa tutashuv xarakteristikasi* deyiladi. Qisqa tutashuv rejimidan quyidagi parametrlar topiladi:



13.1- rasm. Asinxron motorning salt ishlash xarakteristikalari.



13.2- rasm. Asinxron motorning qisqa tutashuv xarakteristikalar.

$$P_{qt} = m U_{qt} \cdot I_{qt} \cdot \cos \varphi_{qt}; \quad Z_{qt} = U_{qt} / I_{qt};$$

$$r_{qt} = P_{qt.N} / (m I_{qt.N}^2) \quad \text{yoki} \quad r_{qt} = Z_{qt} \cos \varphi_{qt};$$

$$x_{qt} = Z_{qt} \sin \varphi_{qt}; \quad Z_{qt} = \sqrt{r_{qt}^2 + x_{qt}^2}.$$

Asinxron motorning qisqa tutashuv xarakteristikalar 13.2-rasmda ko'rsatilgan.

13.2. Asinxron motorning ish xarakteristikalar

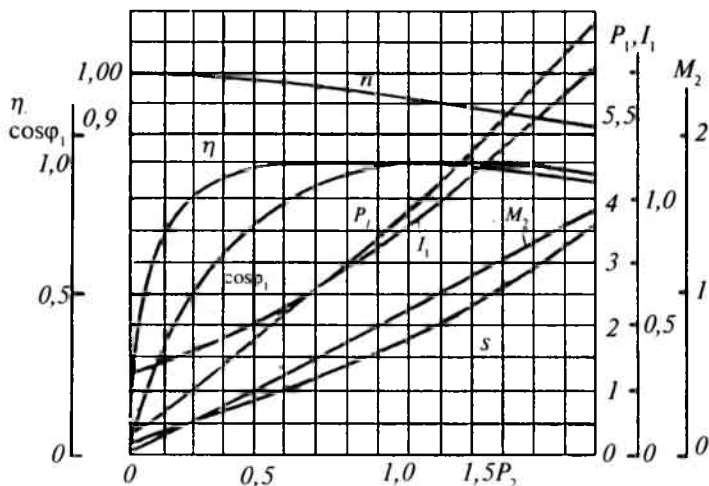
$U_1 = \text{const}$ va $f = \text{const}$ shartlar bajarilganda, rotorning aylanish chastotasi n , sirpanishi s , FIK η , quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi$, stator toki I_1 va aylantiruvchi moment M larini valdagi foydali quvvat P_2 ni o'zgartirib olingan n , s , η , $\cos \varphi$, I_1 , $M = f(P_2)$ bog'lanishi asinxron motorning *ish xarakteristikalar* deyiladi (13.3- rasm).

Motor validagi yuklama oshishi bilan sirpanish s o'sib boradi. Nominal yuklamada sirpanish $s_N = 1,5 \div 5 \%$ ni tashkil qiladi. Rotorning aylanish chastotasi

$$n = n_1 \cdot (1 - s) = 60f_1 \cdot (1 - s)/p.$$

Yuklama oshishi bilan sirpanish s ortadi, rotorning aylanish chastotasi n esa biroz kamayadi.

Salt ishlash momenti $M_0 \ll M$ bo'lgani uchun $M = M_2$ deb, aylantiruvchi momentni quyidagicha topish mumkin:



13.3- rasm. Asinxron motorning ish xarakteristikallari.

$$M_N = 9,55 P_{2N} / n_N, [\text{N} \cdot \text{m}] . \quad (13.1)$$

Yuklama ortishi bilan rotorning aylanish chastotasi n biroz kamayganligi sababli moment M foydali quvvat P_2 ga qaraganda tezroq oshadi.

Yuklamaning o'zgarishi bilan stator toki I_1 ning aktiv tashkil etuvchisi oshib boradi. Tok I_1 ning reaktiv tashkil etuvchisi esa bir xilda qoladi (chunki $U_1 = \text{const}$). Demak, $\Phi = \text{const}$ bo'lib, $I_1 = f(P_2)$ bog'lanish deyarli o'zgarmaydi.

Motorga kam yuklama qo'yilganda stator toki tarkibidagi reaktiv tok aktiv tashkil etuvchisiga nisbatan katta bo'lib, motorning quvvat koeffitsiyenti kichik ($\cos\phi \approx 0,1 \div 0,2$) bo'ladi. Yuklamaning oshishi bilan tokning aktiv tashkil etuvchisi ham oshadi, kuchlanish U_1 va motor toki I_1 vektorlari orasidagi burchak esa kamayib, $\cos\phi_1$ o'sadi. Motor yuklamasi nominalga yaqinlashganda $\cos\phi_1$ katta qiymatga ($0,8 \div 0,85$) erishadi. Yuklama nominal qiymatdan oshganda, rotorning aylanish chastotasi n kamayadi, sirpanish s va rotorning induktiv qarshiligi x_2 ortishi tufayli $\cos\phi_1$ biroz kamayadi.

Mashinaning FIK (η) xuddi boshqa elektr mashinalarniki singari o'zgaradi, ya'ni salt ishlaganda $\eta = 0$ bo'ladi. Yuklamaning oshishi bilan η oshib boradi. O'zgarmas isroflar, ya'ni yuklamaga bog'liq bo'lmagan mexanik va salt ishlash isroflari

hamda o'zgaruvchan, ya'ni yuklamaga bog'liq holda o'zgaradigan chulg'amlardagi va qo'shimcha isroflarga teng bo'lganda η o'zining katta qiymatiga erishadi, yuklama yana ham oshirilganda o'zgaruvchan isroflarning oshishi tufayli FIK biroz kamayadi.

13.3. Asinxron mashinaning mexanik xarakteristikalari

$U_1 = U_{1N} = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ va almashtirish sxemasining parametrlari o'zgarmas bo'lganda, $M = f(n)$ yoki $M = f(s)$ bog'lanishga asinxron motorning mexanik xarakteristikalari deyiladi.

$M = f(s)$. Mexanik xarakteristikani qurish uchun doiraviy diagrammadan yoki quyidagi formula (13.2) dan foydalaniladi:

$$P'_{e2} = m_2 \cdot I_2^2 r_2 = m_1 \cdot (I_2')^2 r_2'$$

va G simon almashtirish sxemasidan aniqlangan

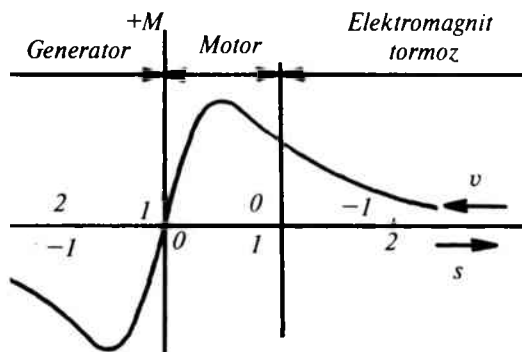
$$I_2' = U_1 / \sqrt{(r_1 + r_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

(bunda $r_2' / s = r_2' / s - r_2' s / s + r_2' = r_2' + r_2'(1 - s) / s$ ko'rinishda ifodalash mumkin) qiymatlarni (12.30) formulaga qo'yib, $U_1 \approx E_1$ deb hisoblab,

$$M = m_1 \cdot U_1^2 \cdot (r_2' / (\omega_1 s)) \left[(r_1 + r_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right] \quad (13.2)$$

topiladi.

Sirpanish s ga qiymatlar berib, parametrlari o'zgarmas bo'lgan asinxron motorning mexanik xarakteristikasini qurish mumkin (13.4- rasm).



13.4- rasm. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi.

Momentning maksimal ($M_{\max}$) qiymatiga mos kelgan sirpanish *kritik sirpanish* (s_{kr}) deyiladi. Uni aniqlash uchun (13.2) formulaga ko'ra moment M dan sirpanish s bo'yicha 1-hosila olib, uni nolga tenglash zarur, ya'ni $dM / ds = 0$. Natijada, kritik sirpanish quyidagiga teng bo'ladi:

$$s_{kr} = \pm r_2' / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}. \quad (13.3)$$

Agar qiymati kichikligidan r_1 hisobga olinmasa, ya'ni $r_1 = 0$ deb (13.3) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$s_{kr} = \pm r_2' + (x_1 + x_2')^2. \quad (13.4)$$

(13.4) dan shunday xulosa qilish mumkin, ya'ni kritik sirpanish s_{kr} rotor chulg'amining aktiv qarshiligi r_2' ga bog'liq bo'lib, unga stator chulg'amiga berilgan kuchlanish U_1 ta'sir qilmas ekan (chunki $U_1 = \text{const}$ da $x_1 + x_2' \approx \text{const}$ bo'ladi).

(13.4) dan aniqlangan s_{kr} ning qiymatini (13.2) ga qo'yib, maksimal moment aniqlanadi

$$M_{\max} \approx \pm m_1 \cdot U_1^2 / [2\omega_1 (x_1 + x_2')], \quad (13.5)$$

bunda musbat (+) ishora motor rejimi, manfiy (−) ishora esa generator ish rejimiga tegishli.

(13.5) dan shunday xulosaga kelish mumkin, ya'ni maksimal moment $M_{\max}$ rotor chulg'amining aktiv qarshiligi r_2' ga bog'liq emas.

Asinxron mashinalarda magnit maydonning asosiy (birinchi) garmonikasidan tashqari, yana fazoviy va vaqt bo'yicha o'zgara-digan, yuqori garmonikalar ham mavjud. Ularga oid ma'lumotlar mazkur kitobda berilmagan.

Mexanik xarakteristikani katalog bo'yicha qurish. (12.30) va (12.33) formulalarga asosan, asinxron motorning elektromagnit momenti quyidagiga teng:

$$\begin{aligned} M &= P_{e2} / (\omega_1 s) = m_2 \cdot I_2^2 \cdot r_2 / (\omega_1 s) = \\ &= m_2 \cdot s \cdot E_2^2 \cdot r_2 / [\omega_1 (r_2^2 + s^2 x_2^2)]. \end{aligned} \quad (13.6)$$

Yuklamaning o'zgarishi bilan magnit oqimi o'zgarmaydi, shu sababli $E_2 \approx \text{const}$ deb hisoblash mumkin. (13.6) formuladan sirpanish bo'yicha hosila olamiz va uni 0 ga tenglab ($dM/ds = 0$),

maksimal moment $M_{\max}$ ga mos keladigan kritik sirpanish s_{kr} ni topish mumkin, ya'ni $s_{kr} = \pm r_2/x_2$. U holda maksimal moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_{\max} = \pm m_2 E_2^2 / (2\omega_1 x_2). \quad (13.7)$$

(13.6) ni (13.7) ga bo'lib, ixchamlashtirishdan keyin, nisbiy birliklarda hisoblashga qulay bo'lgan quyidagi soddalashgan formulaga ega bo'lamiz:

$$M / M_{\max} \approx 2 / (s_{kr} / s + s / s_{kr}). \quad (13.8)$$

Bu formula *Kloss formulasi* deyiladi va u ba'zan amalda taxminiy hisoblashlarda qo'llaniladi.

(13.8) formulaga katalogdagi qiymatlar qo'yilib, asinxron motorning mexanik xarakteristikalarini hisoblanadi.

(13.8) formula taxminiy natija beradi, chunki unda stator chulg'amidagi kuchlanish pasayishi hisobga olinmaydi. Ammo asinxron motorning bitta (nominal) rejimni tekshirishda, ya'ni sirpanishning kichik qiymatlarida (s_0 dan s_{kr} gacha) magnit oqimi juda kam o'zgaradi va bu formula kerakli aniqlikni beradi.

13.4. Asinxron motorning doiraviy diagrammasi

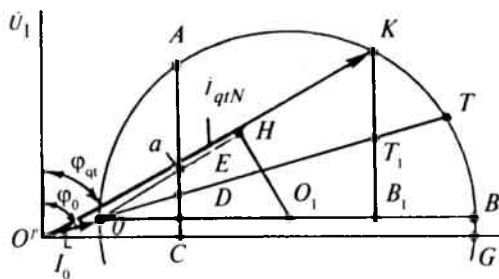
Doiraviy diagramma asinxron motorning hamma parametrlari, ishga tushirish va ish xarakteristikalarini qurish uchun kerak bo'lgan nuqtalarni taxminan topish uchun juda muhimdir.

Bu diagrammani salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalaridan olingan qiymatlar bo'yicha qurish eng soddagina usul hisoblanadi. Quyida shu usulga to'xtalib o'tamiz.

Diagrammani qurish uchun asinxron motorga nominal kuchlanish (U_{1N}) berib, salt ishlash rejimdagi toki I_0 va quvvati P_0 o'lchanadi. Bu qiymatlar yordamida quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_0$ hisoblab topiladi.

Laboratoriya sharoitida qisqa tutashuv tajribasi pasaytirilgan kuchlanishda qisqa tutashuv tokini $I_{qt} = (1 \div 1,2) I_{1N}$ dan kamaytirib, rotor qo'zg'almas holda, I_{qt} , U_{qt} va P_{qt} qiymatlar o'lchanadi. Ular yordamida $I_{qtN} = I_{qt} (U_{1N} / U_{qt})$, $\cos\varphi_{qt}$, $r_{qt} = r_1 + r'_2$ va $x_{qt} = x_1 + x'_2$ qarshiliklar topiladi.

Doiraviy diagrammani qurishda toklar uchun masshtab tanlanadi va φ_0 burchak ostida I_0 , φ_{qt} burchak ostida esa I_{qt} toki



13.5- rasm. Asinxron mashinaning soddalashtirilgan doiraviy diagrammasi.

vektorlari o'tkaziladi va O hamda K nuqtalar topiladi (13.5- rasm). O nuqtadan abssissalar o'qiga parallel bo'lgan OB chiziq o'tkazilib, so'ngra bu nuqtalarni birlashtirib, uning o'rtasidan OK chiziq tomon HO_1 perpendikular o'tkazamiz va toklar doiraviy diagrammasining markazini topamiz, ya'ni OO_1 yoki O_1B chiziqlar doiraviy diagrammaning radiusini beradi. K nuqtadan OB chiziqqa perpendikular bo'lgan KB_1 chiziqni tushiramiz va uni teng ikkiga bo'lib, T_1 nuqtani topamiz. So'ngra O nuqtadan T_1 nuqta orqali o'tadigan chiziqni davom ettirib, aylanada T nuqtani topamiz. OT chiziq elektromagnit quvvat (yoki momentlar) chizig'i hisoblanadi.

Asinxron mashinaning doiraviy diagrammasidan aniqlangan rejim parametrlarining aniqlik darajasi tokning nominal qiymatigacha aniqroq bo'ladi, chunki bu oraliqda mashinaning aktiv va induktiv qarshiliklari kam o'zgaradi. Demak, soddalashtirilgan doiraviy diagrammani katta va o'rtacha quvvatli asinxron mashinalarda qo'llash maqsadga muvofiq ekan.

Kam quvvatli, ayniqsa, asinxron mikromashinalar uchun aniqlashtirilgan doiraviy diagrammadan foydalangan ma'qul. Avtomatika sistemalarida ishlatiladigan asinxron ijrochi motorlar uchun, odatda, doiraviy diagrammadan foydalanilmaydi.

13.5. Asinxron motorlarning ish xarakteristikalarini hisoblashning analitik usuli

Asinxron motorlarning ish xarakteristikalarini ularning o'zgar-mas elektr parametrlari uchun qurilgan doiraviy diagrammani qo'llab hisoblash mumkin, lekin bu usulning o'ziga xos kamchiligi

bor. Chunonchi, o'rtacha va katta quvvatli asinxron motorlarning ish rejimi o'zgarganda paz va differensial tarqoq magnit oqimlari tomonidan po'lat o'zakning chulg'am joylashgan qismidagi tishlarning to'yinishi tufayli stator va rotor chulg'amlarining induktiv qarshiliklari o'zgaradi.

Chulg'amlardagi tokning oshishi bilan tarqoq oqimlar ham osha boradi va po'lat o'zakning tishlari to'yina boshlaydi. Bunda tarqoq oqim uchun magnit o'tkazuvchanlik kamayib, x_1 va x_2 induktiv qarshiliklar ham kamayadi. Motorning ish rejimi nominaldan boshlab rotori to'xtagunga ($s=1$) qadar o'zgarganda, uning induktiv qarshiligi pazlarning shakliga qarab, 1,1÷1,4 marta kamayadi. Sirpanishning oshishi rotor chulg'amlarida tokni siqib chiqarish effektining ta'siri tufayli aktiv qarshilik r_2' ning ham oshishiga olib keladi.

Demak, toklarning doiraviy diagrammasi bo'yicha aniqlangan ish xarakteristikalari qancha aniq bo'lsa, sirpanish qiymati ham shuncha kichik bo'ladi.

Asinxron motorning katta sirpanishlariga to'g'ri keladigan ishini xarakterlovchi kattaliklarni, shu jumladan, ishga tushirish toki va ishga tushirish momentini aniqlash katta xatolikka olib keladi. Doiraviy diagrammada qo'shimcha grafik qurish va undan foydalanib, kesmalarni o'lchash ham xatolik keltirib chiqaradi.

Asinxron motorning ish xarakteristikasini *analitik usulda* hisoblaganda yuqoridagi kamchiliklar bo'lmaydi. Zamonaviy hisoblash texnikasidan foydalanilganligi tufayli aniqlik yuqori darajada bo'ladi.

Analitik hisoblash usuli asinxron motorning almashtirish sxemasiga asoslangan (12.4- rasm, b ga qarang). Hisoblashda asinxron motorning pasportida ko'rsatilgan ma'lumotlar (P_N , U_{1N} , n_N), salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalaridan olingan natijalar hisoblashda dastlabki ma'lumot uchun yetarli bo'ladi.

Hisoblash quyidagi tartibda amalga oshiriladi.

Rotor chulg'amining keltirilgan aktiv qarshiligi r_2' , kritik sirpanish s_{kr} va nominal sirpanish s_N lar topiladi:

$$r_2' = r_{qt} - r_1, \quad (13.9)$$

$$s_{kr} \approx r_2' / x_{qt}, \quad (13.10)$$

$$s_N = (n_1 - n)/n_1. \quad (13.11)$$

Sirpanishga $7 \div 8$ qiymatlar (bunga sirpanishning nominal s_N va kritik s_{kr} qiymatlari ham kiradi) berib, ish xarakteristikalarini qurish uchun zarur kattaliklar aniqlanadi.

Ekvivalent aktiv qarshilik (Ω)

$$r_{ek} = r_1 + r_2' / s. \quad (13.12)$$

Almashtirish sxemasii ish zanjiri (konturi)ning ekvivalent to'la qarshiligi (Ω)

$$Z_{ek} = \sqrt{r_{ek}^2 + x_{qt}^2}. \quad (13.13)$$

Asinxron motor almashtirish sxemasi ish konturining quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_2 = r_{ek} / Z_{ek}. \quad (13.14)$$

Rotor chulg'aminga keltirilgan toki (A)

$$I_2'' = U_1 / Z_{ek} \quad (13.15)$$

va uning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari (A)

$$I_{2a}'' = I_2' \cos \varphi_2; \quad (13.16)$$

$$I_{2r}' = I_2' \sin \varphi_2. \quad (13.17)$$

Stator chulg'ami tokining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari (A)

$$I_{1a} = I_{0a} + I_{2a}'; \quad (13.18)$$

$$I_{1r} = I_{0r} + I_{2r}', \quad (13.19)$$

bunda $I_{0a} = I_0 \cos \varphi_0$ — salt ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisi, $I_{0r} = I_0 \sin \varphi_0$ — salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi.

Stator chulg'aminga toki (A)

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1r}^2}. \quad (13.20)$$

Asinxron motorning quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_1 = I_{1a} / I_1. \quad (13.21)$$

Motorning iste'mol qiladigan aktiv quvvati (W)

$$P_1 = m_1 U_1 I_{1a}. \quad (13.22)$$

Salt ishlash rejimidagi aktiv quvvat (W)

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + P'_m + P'_{mex} , \quad (13.23)$$

bunda r_1 — stator faza chulg'aming aktiv qarshiligi (Ω). Bu qarshilik mazkur tajriba o'tkazilgan zahoti o'lchanadi.

Stator chulg'amidagi elektr isroflar (W)

$$P' = m_1 I_1^2 r_1 . \quad (13.24)$$

Asinxron motorning elektromagnit quvvati (W)

$$P_{em} = P_1 - (P'_m + P'_{e1}) . \quad (13.25)$$

Magnit (P'_m) va mexanik (P') isroflar yig'indisi (W)

$$P'_0 = P'_m + P'_{e1} = P_0 - m_1 I_0^2 r_1 . \quad (13.26)$$

Rotor chulg'amidagi elektr isroflar (W)

$$P' = m_1 I_2^2 r_2 = m_1 (I'_2)^2 r'_2 . \quad (13.27)$$

Elektromagnit moment (N·m)

$$M = P_{em} \omega_1 , \quad (13.28)$$

bunda $\omega_1 = 2\pi n_1 / 60 = 2\pi f_1 / p$ — maydonning burchak tezligi.

Qo'shimcha isroflar (W)

$$P'_{qo'sh} = 0,005 P_1 . \quad (13.29)$$

Asinxron motorning foydali quvvati (W)

$$P_2 = P_{em} - P'_{e2} - P_{mex} - P'_{qo'sh} \quad (13.30)$$

bunda P'_{mex} — mexanik isroflar, ular salt ishlash tajribasidan aniqlanadi.

Motorning FIK

$$\eta = P_2 / P_1 = 1 - \Sigma P' / P_1 . \quad (13.31)$$

Motorning foydali momenti (N·m)

$$M_2 = 9,55 P_2 / n . \quad (13.32)$$

Sirpanishning bir necha me'yoriy qiymatlari uchun hisoblangan natijalar jadvalga yig'iladi va motorning ish xarakteristikalari — n , η , M_2 , $\cos\varphi_1$, $I_1 = f(P_2)$, $U_1 = U_N = \text{const}$ va $f_1 = \text{const}$ shart uchun quriladi.

13.6. Uch fazali asinxron motorning kuchlanishi nominaldan farqli bo'lgan ish rejimida ishlashi

Nominal bo'lmagan kuchlanishning motor ish rejimiga ta'siri.

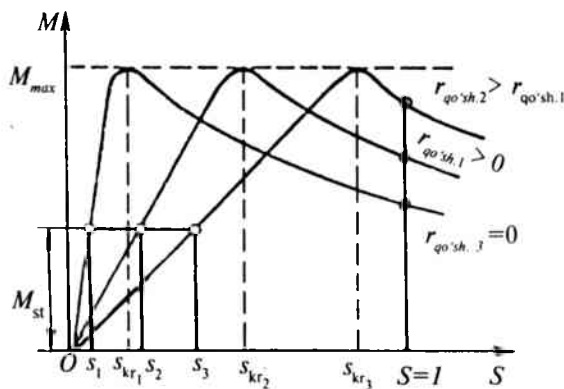
Asinxron motorlar ishi jarayonida tarmoq kuchlanishi (tok chastotasi o'zgarmas) nominalga nisbatan o'zgarib turishi mumkin. Kuchlanishning o'zgarishi asinxron motor xarakteristikalariga qanday ta'sir etishi muhim ahamiyatga ega. Bunda tormozlovchi moment o'zgarmas va qiymat jihatdan elektromagnit momentga teng $M_T = M = \text{const}$ deb hisoblaymiz.

Agar kuchlanish $U_1 < U_{1N}$ bo'lsa, sirpanish oshadi, moment kuchlanish kvadratiga mutanosib ravishda kamayadi. Oqibatda esa motorning yuklamaga bardoshlik xususiyati kamayib ketadi. Kuchlanish kamayganda magnit oqimi ham kamayadi, rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi oshadi. Sirpanish va rotor chastotasi f_2 oshganligi uchun rotor tokining reaktiv tashkil etuvchisi ham ortadi. Demak, rotor chulg'amidagi elektr isroflar rotor toki kvadratiga mutanosib ravishda ortadi. Motor katta yuklama bilan ishlayotganda, stator toki ham ortadi, kichik yuklamada esa kamayadi. Bunda katta yuklamada stator chulg'amidagi elektr isroflar ortib, motorning FIK va quvvat koeffitsiyenti kamayadi. Standartlarda belgilab berilganiga muvofiq, motorning kuchlanishi nominal kuchlanishga nisbatan 5 % gacha kamaygunga qadar ishlashi mumkin.

Agar kuchlanish $U_1 > U_{1N}$ bo'lsa, motorning ish rejimini yuqoridagi ketma-ketlik asosida tushuntirish mumkin. Ammo bunda motorning magnit sistemasi o'ta magnitlangan bo'lsa, magnit oqimining oshishi magnitlanish tokini oshirib yuboradi. Bu tok stator tokining nominal qiymatidan ham katta bo'lishi mumkin. Bunday vaqtda asinxron motor uzoq ishlay olmaydi. Standartga binoan, asinxron motorni kuchlanishi nominal kuchlanishga nisbatan 10 % gacha oshgunga qadar ishlatish mumkin. Yuqoridagi ikki holat uchun motorning mexanik xarakteristikasi 13.6- rasmda ko'rsatilgan.

Rotor chulg'amiga ulangan qo'shimcha aktiv qarshilikning mexanik xarakteristikalariga ta'siri. Tormozlovchi momenti $M_i = \text{const}$ bo'lganda faza rotorli asinxron motorning mexanik xarakteristikalariga qo'shimcha qarshiliklarning ta'siri 13.7- rasmda ko'rsatilgan.

Rotor chulg'amiga qo'shimcha qarshilik kiritilganda s_{kit} sirpanish ortib borishiga mos ravishda, momentining maksimal qiymati (M_{max}) ham o'ng tomonga siljiydi. Demak, ishga tushirish momenti



M_{st} — statik moment; M_{max} — maksimal moment; s_{kr_1} , s_{kr_2} , s_{kr_3} — tegishli
kritik sirpanishlar; $r_{qo'sh_1}$, $r_{qo'sh_2}$, $r_{qo'sh_3}$ — tegishli qo'shimcha qarshiliklar.



1. Asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv xarakteristikalarini qurishdan maqsad nima?
2. Motorning ish xarakteristikalariga qanday omillar ta'sir qiladi?
3. Motorning mexanik xarakteristikasi va uning ahamiyati nimadan iborat?

14.1. Uch fazali asinxron motorni ishga tushirish

Asinxron motorni ishga tushirishda unga nisbatan quyidagi talablar qo'yiladi:

— motorning oson, qo'shimcha moslamalarsiz ishga tushirilishi;

— ishga tushirish momenti yetarli darajada katta bo'lishi;

— ishga tushirish toki mumkin qadar kichik bo'lishi lozim.

Uch fazali asinxron motor stator chulg'amini $U = U_N$ da tarmoqqa ulab, stator chulg'amiga pasaytirilgan kuchlanish ($U < U_N$) berib va faza rotorli asinxron motorlarning rotor chulg'amiga qo'shimcha qarshilik (reostat) ulash orqali ishga tushiriladi.

Nominal kuchlanishda ishga tushirish. Kichik va o'rtacha quvvatli qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlar nominal kuchlanishda ishga tushiriladi. Bunda motorning stator chulg'ami elektr tarmog'iga magnit ishga tushirgich yoki oddiy ulagich vositasida ulanadi va uning tezligi tabiiy mexanik xarakteristika bo'yicha o'sib boradi. Motorni ishga tushirish paytidagi ishga tushirish momenti M_{it} quyidagicha topiladi (ishga tushirish paytida $s = 1$):

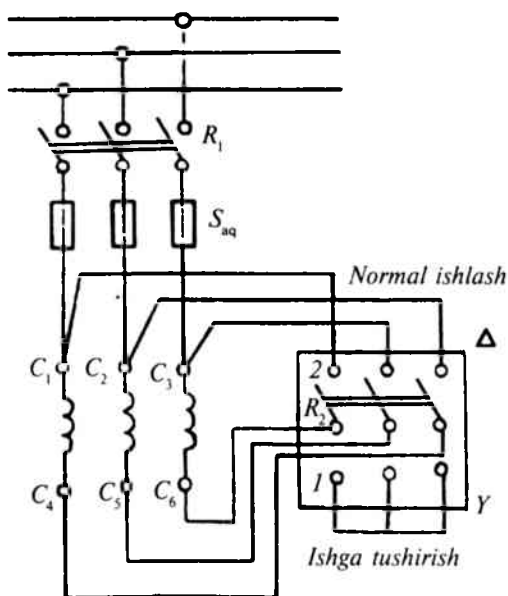
$$M_{it} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2'}{\omega_1 [(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2]}. \quad (14.1)$$

Ishga tushirish toki I_{it} ancha katta bo'lsa ham motor uchun xavfli emas, chunki uni ishga tushirish uchun qisqa vaqt talab qilinadi.

Ishga tushirish tokining nominal tokdan $5 \div 7$ marta katta, ishga tushirish momentining kichikroq bo'lishi bu usulning kamchiligi hisoblanadi.

Yuqoridagi kamchiliklariga qaramasdan, motorning stator chulg'amini to'g'ridan-to'g'ri elektr tarmog'iga ulab ishga tushirish usuli oddiy, arzon va energetik ko'rsatkichlari (η , $\cos\varphi_1$) yuqori usul hisoblanadi.

Tarmoq kuchlanishini pasaytirib ishga tushirish usuli katta quvvatli qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarni ishga tushirishda



14.1- rasm. Stator chulg'amini yulduz usulidan uchburchak usuliga o'tkazib ishga tushirish.

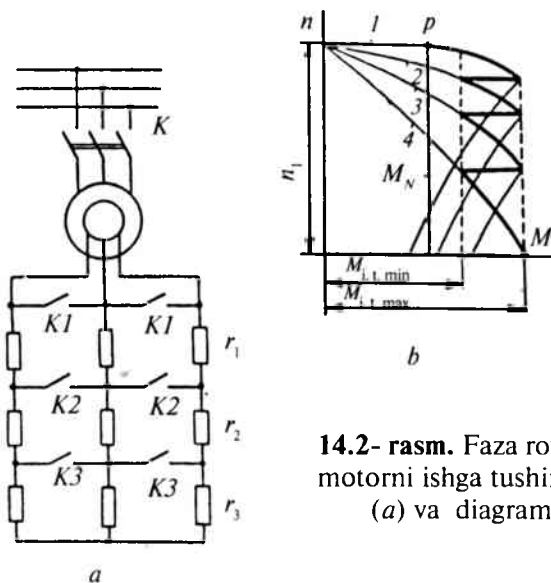
qo'llaniladi. Tarmoq kuchlanishini quyidagi usullar bilan pasaytirish mumkin:

a) stator chulg'amini yulduz usulidan uchburchak usuliga o'tkazib ulash. Bunda asinxron motorning stator chulg'ami fazalariga berilayotgan kuchlanish va faza toklari $\sqrt{3}$ marta, liniya toklari esa 3 marta kamayadi. Statorning faza chulg'amlari uch fazali kontaktor yoki qayta ulagich yordamida ulanadi (14.1- rasm).

Bunday usul bilan quvvati 1000 kW gacha bo'lgan asinxron motorlar ishga tushiriladi. Quvvati undan katta bo'lgan asinxron motorlarning ishga tushirish toki stator chulg'amiga reaktor va avtotransformatorlar ulash orqali pasaytirilgan kuchlanish berib kamaytiriladi. Motor reaktor vositasida ishga tushirilganda ishga tushirish toki kuchlanishi $U_{l(pas)} / U_{1N}$ marta, avtotransformator yordamida ishga tushirilganda esa $U_{l(pas)} / U_{1N}^2$ marta kamayadi.

Faza rotorli asinxron motorlar maxsus uch fazali ishga tushirish reostati yordamida ishga tushiriladi (14.2- rasm). Ishga tushirish reostati rotor chulg'amiga ketma-ket ulanganda, uning aktiv qarshiligi oshib, ishga tushirish toki kamayadi, momenti esa oshadi.

Ishga tushirish toki quyidagicha topiladi:



14.2- rasm. Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish sxemasi (a) va diagrammasi (b).

$$I_{i.t} = U_1 / \sqrt{r'_{i.t} + r'_2 + r'_1)^2 + (x_1 + x'_2)^2}.$$

Dastlab, motor to'rtinchi xarakteristika bo'yicha ishga tushiriladi. Bunda ishga tushirish reostatining qarshiligi $r_{i.t} = r_1 + r_2 + r_3$, aylantiruvchi moment maksimal momentga teng bo'ladi $M = M_{\max}$. Motorning aylanish chastotasi oshib borgan sari aylantiruvchi moment kamayadi va u ishga tushirish momentidan kichik ($M < M_{i.t.min}$) bo'ladi. $M = M_{i.t.min}$ bo'lganda ishga tushirish reostatining bir qismi r_3 sxemadan kontaktor K_3 ni ulab chiqariladi ($r_{i.t(2)} = r_1 + r_2$). Bunda aylantiruvchi moment birdaniga $M_{i.t(max)}$ qiymatga erishadi, so'ngra aylanish chastotasi oshishi bilan uchinchi xarakteristika bo'yicha o'zgarib, aylantiruvchi moment $M_{i.t.min}$ gacha kamayganda, kontaktor K_2 ulanadi. Bunda r_2 qarshilik uzilib ($r_{i.t(1)} = r_1$) motor ikkinchi xarakteristika bo'yicha ishlaydi.

Ishga tushirishning oxirida kontaktor K_1 ulanadi va ishga tushirish reostati sxemadan butunlay chiqariladi va rotorning chulg'amlari qisqa tutashtiriladi. Bu paytda motor tabiiy xarakteristika bo'yicha ishlaydi (14.2 - rasm, b).

Ishga tushirish qiyinligi, konstruksiyasining murakkabligi, qimmatligi kabi sabablar faza rotorli motorlarning kamchiligi hisoblanadi. Shu sababli bunday motorlar, asosan, ishga tushirish sharoiti og'ir bo'lgan mexanizmlarda qo'llaniladi.

14.2. Ishga tushirish xossalari yaxshilangan uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning ishga tushirish momentini, rotor chulg'ami aktiv qarshiligini oshirmasdan kattalashtirish orqali bunday motorlarning maxsus konstruksiyasi yaratildi. Bunday motorlar ishga tushirish momenti kattalashtirilgan motorlar deyilib, ularning rotori qo'sh katakli va chuqur pazlidir.

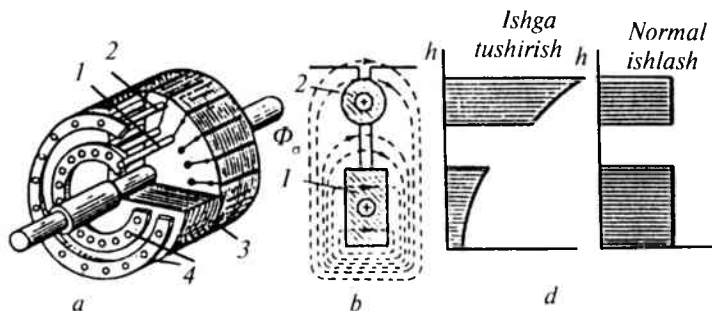
Qo'sh katakli motorning rotori ikkita qisqa tutashgan chulg'amdan iborat (14.3- rasm). Tashqi katak 2 ishga tushirish chulg'ami bo'lib, u ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenlar 3 dan iborat. Shu sababli uning aktiv qarshiligi katta. Ichki katak 1 ish chulg'ami deyilib, u ko'ndalang kesim yuzasi katta bo'lgan sterjenlar 4 dan tashkil topgan, uning aktiv qarshiligi kichik. Ishga tushirish katagi bronza yoki jezdan, ishchi chulg'ami esa misdan ishlanadi.

Sterjenlarning pastki qismi yuqori qismiga nisbatan tarqoq oqim bilan ko'proq ilashadi. Sterjenlarning induktiv qarshiligi pastki tomonda katta bo'ladi. Shu sababli rotor tokining deyarli hammasi ishga tushirish katagidan o'tadi.

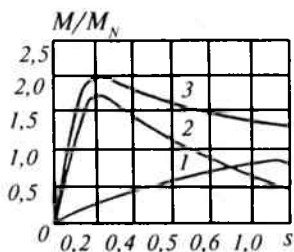
14.3- rasm, *b* da ishga tushirish toki va normal ishlash rejimida tok zichligining taqsimlanishi ko'rsatilgan.

Ishga tushirish va ish chulg'amlari parallel ulanadi. Shu sababli rotor toki qarshilikka teskari mutanosib bo'ladi.

Ishga tushirish boshida ($s = 1$) katakning induktiv qarshiligi aktiv qarshilikdan bir necha barobar katta bo'ladi. Shuning uchun rotordagi tok ishga tushirish katagi orqali oqadi. Rotorning tezligi



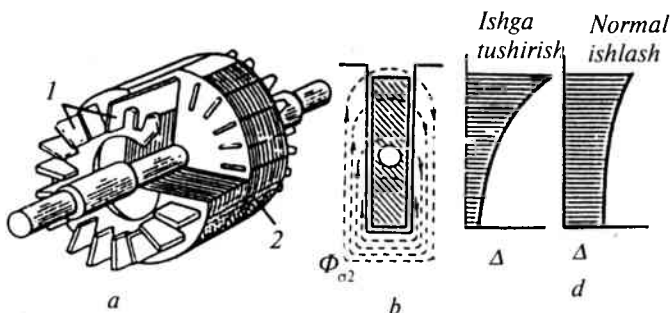
14.3- rasm. Qo'sh katakli motor rotori: *a* — umumiy ko'rinishi; *b* — paz qirgimi; *d* — tok zichligining ishga tushirish va normal ish rejimlarida tarqalishi.



14.4- rasm. Qo'sh katakli motor-ning mexanik xarakteristikalari.

14.4- rasmda ko'rsatilgan. Bu motorda ishga tushirish momenti nominal momentga nisbatan $M_{it}/M_N = 1,3 \div 1,7$, ishga tushirish toki esa nominal tokka nisbatan $I_{it}/I_N = 4,5 \div 6$ bo'ladi.

Chuqur pazli asinxron motorda rotor 1 pazining balandligi uning enidan $6 \div 12$ marta katta bo'ladi (14.5- rasm). Pazlarda qisqa tutashtirilgan mis yoki aluminiy sterjenlar 2 joylashtiriladi. Ishga tushirish boshida ($s=1$) rotordagi tok chastotasi katta qiymatga o'zgaradi va tokning tarqalishi, asosan, induktiv qarshilikka bog'liq bo'ladi. Shu sababli yuqorigi qatlamda tok zichlashib, aktiv qarshilik oshishi tufayli ishga tushirish momenti ortadi. Sirpanish $s = s_N$ bo'lganda, rotor chastotasi ($f_2 = f_1 \cdot s$) kichik bo'lgani uchun uning induktiv qarshiligi ham kichik bo'ladi. Bunda tok sterjen balandligi bo'ylab bir xilda tarqaladi (14.5 - rasm, d). Natijada rotorning aktiv qarshiligi tezda kamayadi va bir vaqtning o'zida rotordagi tarqoq magnit oqim $\Phi_{\sigma 2}$ ning o'zgarishi qarshilik x_2' ning o'zgarishiga



14.5- rasm. Chuqur pazli motor rotorining umumiy ko'rinishi (a), chuqur paz qirgimi (b) va tok zichligining tarqalish diagrammasi (d).

sabab bo'ladi. Bunday motorning mexanik xarakteristikasi 14.4-rasmdagi 2- egri chiziqqa mos keladi. Chuqur pazli motorlarda $M_{i,1} / M_N = 1,2 \div 1,4$, ishga tushirish toki esa $I_{i,1} / I_N = 4,5 \div 6,5$ ni tashkil qiladi.

Chuqur pazli va qo'sh katakli motorlarni ishga tushirish xarakteristikalari ancha yaxshi bo'lsa ham, rotor sterjenlarining induktiv qarshiligi katta bo'lgani sababli, ularning quvvat koef-fitsiyentlari kichikroq bo'ladi. Bundan tashqari, rotorlarni tay-yorlash texnologiyasi murakkab va tannarxi qimmat bo'lganligi ularning kamchiligi hisoblanadi.

14.3. Uch fazali asinxron motorlarning aylanish chastotasini rostlash

Asinxron motor rotorining aylanish chastotasi quyidagi formuladan topiladi:

$$n = n_1(1 - s) = 60f_1(1 - s)/p. \quad (14.2)$$

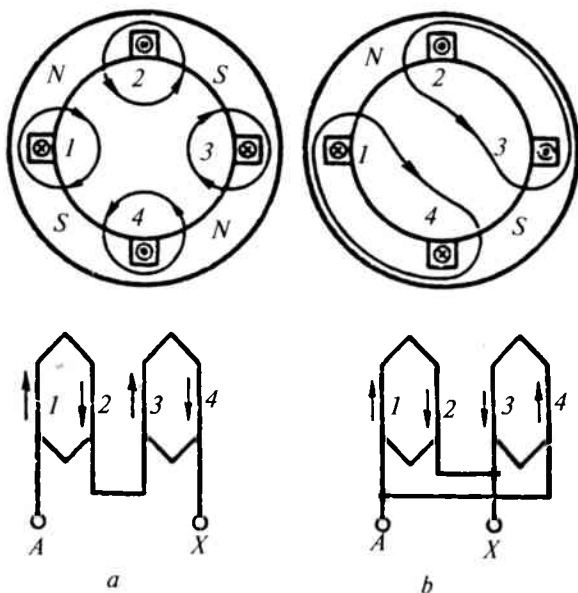
Formuladan ko'rinib turibdiki, motorning aylanish chastota-sini rostlash uchun unga berilayotgan kuchlanish chastotasi f_1 , uning juft qutblar soni p va sirpanish s ni o'zgartirish kerak ekan.

Tok chastotasini o'zgartgich vositasida asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash. Motorning aylanish chastotasini bunday usulda rostlash uchun (maxsus masalan, tiristorli) chastota o'zgartgichlardan foydalaniladi.

Asinxron motorning aylanish chastotasi stator toki chastotasini o'zgartirib rostlaganda uning energetik xarakteristikalari o'zgar-maydi, bu uning afzalligi hisoblanadi. Bu usulning murakkabligi va qimmatligi uning jiddiy kamchiligi hisoblanadi.

Motorning aylanish chastotasini juft qutblar sonini o'zgartirish yo'li bilan rostlash. Motorning aylanish chastotasi (14.2) formulaga binoan juft qutblar soniga teskari mutanosibda o'zgaradi. Juft qutblar soni stator chulg'amining ulanishi va chulg'am qadamiga bog'liq.

14.6- rasmda stator chulg'amining qutblar sonini o'zgar-tirishning eng oddiy sxemasi keltirilgan. Bu sxema bo'yicha stator chulg'amining qutblar soni ikki marta o'zgaradi. Bunda stator chulg'amining har bir fazasi ikkiga bo'linib, ketma-ket ulanishdan parallel ulanishga o'tkaziladi. 1 va 2, 3 va 4- g'altaklarning parallel ulanishi qutblar sonini ikki marta kamaytirib, motorning aylanish chastotasini ikki marta oshiradi.



14.6- rasm. Stator faza chulgʻami qutblar sonini oʻzgartirishning eng oddiy sxemalari.

Qutblar soni oʻzgartirilib, aylanish chastotasi rostlanadigan asinxron motorlar *koʻp tezlikli motorlar* deyiladi.

Oʻramining kattaligi va tannarxining qimmatligi koʻp tezlikli motorlarning kamchiligi hisoblanadi. Bundan tashqari, motorning aylanish chastotasini $f = 50\text{Hz}$ boʻlganda, rostlash bir tekis boʻlmay pogʻonali boʻladi va stator chulgʻami hosil qilgan aylanuvchi magnit maydoni n_1 ning tezligi $3000 : 1500 : 1000 : 750$ nisbatda oʻzgaradi.

Rotor zanjiriga reostat ulab, motorning aylanish chastotasini rostlash. Bu usulda faza rotorli asinxron motorlarning aylanish chastotasi bir tekis va keng koʻlamda oʻzgartiriladi. Ammo amalda aylanish chastotasi kichik oraliqlarda oʻzgartiriladi, chunki rotor zanjiridagi qoʻshimcha qarshilik oshirilganda rotordagi elektr isroflar oshib ketadi.



Nazorat savollari

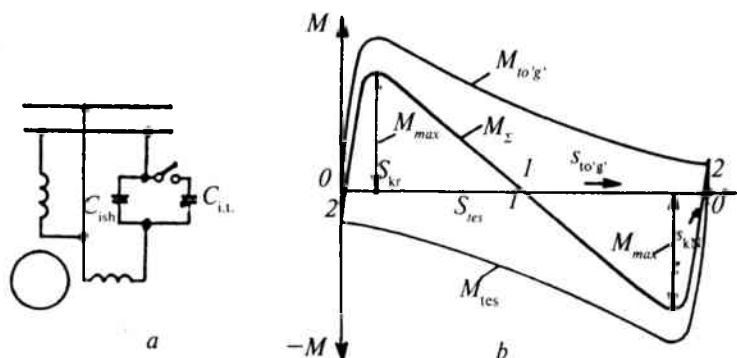
1. Asinxron motorlarni ishga tushirishning qanday usullarini bilasiz?
2. Chuqur pazli va qoʻsh katakli asinxron motorlarni ishga tushirishda pazlarda qanday jarayon yuz beradi?
3. Asinxron motorlarning aylanish chastotasini rostlashning qanday usullarini bilasiz?

15.1. Bir fazali va kondensatorli asinxron motorlar

Bir fazali asinxron motorlar ($P_2 \leq 600\text{W}$) avtomatik qurilmalar va uy-ro'zg'or elektr asboblari (ventilator, sovutgich, kir yuvish mashinasi, elektr ustara va boshqalar)da ishlatiladi. Bir fazali asinxron motorning statorida bir fazali chulg'am, rotorida qisqa tutashgan chulg'am bo'ladi (15.1- rasm, *a, b*). Stator chulg'ami o'zak pazlarining $2/3$ qismida joylashgan. Chulg'amning pazlarda bunday joylashishi havo bo'shlig'ida magnit induksiya shaklining sinusoidalga yaqin bo'lishini ta'minlaydi.

Bir fazali asinxron motorning stator chulg'amiga bir fazali o'zgaruvchan tok berilganda pulslanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Bu maydonni amplitudalari teng va bir-biriga nisbatan teskari, bir xil aylanish chastotada aylanuvchi ikkita tashkil etuvchiga ajratish mumkin.

Bir fazali asinxron motorlar boshlang'ich ishga tushirish momentiga ega emas va stator chulg'ami tarmoqqa ulanganda uning rotorini aylanmaydi. Shuning uchun bunday motorlar ishga tushirish chulg'ami bilan ta'minlanadi. Aylanish yo'nalishi rotorning aylanish yo'nalishi bilan mos bo'lgan oqim to'g'ri $\Phi_{\text{to'g'}}$ oqim, rotorning aylanishiga nisbatan teskari aylanadigan oqim teskari Φ_{tes} oqim



15.1- rasm. Bir fazali motor: *a* — ulanish sxemasi; *b* — mexanik xarakteristikalari: C_{ish} — ish kondensatori; $C_{\text{ish.t}}$ — ishga tushirish kondensatori.

deyladi. Bu oqimlar to'g'ri $M_{\text{to'g'}}$ va teskari aylantiruvchi moment M_{tes} larni hosil qiladi. Bu momentlar bir-biriga nisbatan teskari yo'nalgan. Natijaviy aylantiruvchi moment to'g'ri va teskari momentlarning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{to'g'}} + M_{\text{tes}}.$$

To'g'ri oqimga nisbatan rotorning sirpanishi

$$s_{\text{to'g'}} = (n_{1,\text{to'g'}} - n) / n_{1,\text{to'g'}} = (n_1 - n) / n_1 = 1 - n/n_1,$$

teskari oqimga nisbatan rotorning sirpanishi

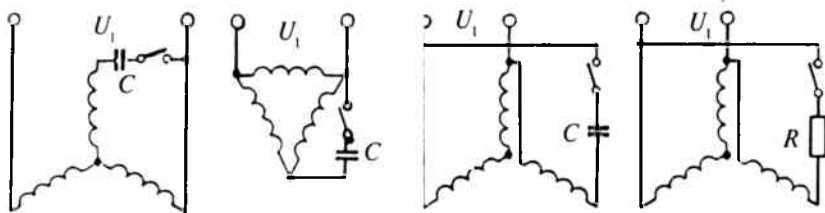
$$s_{\text{tes}} = [(n_{1,\text{tes}} - (-n)) / n_{1,\text{tes}}] = (n_{1,\text{tes}} + n) / n_{1,\text{tes}} = 1 + n / n_{1,\text{tes}}$$

bo'ladi.

Bir fazali asinxron motor ishga tushirish momentiga ega bo'lmaganligi sababli rotor qaysi tomonga tashqi kuch yordamida aylantirilsa, o'sha tomonga aylanadi. Bunday motorning ish xarakteristikallari uch fazali asinxron motornikiga qaraganda yomon. Bundan tashqari, salt ishlayotgan bir fazali motorning aylanish chastotasi, teskari magnit oqimi hosil qilgan tormozlovchi moment ta'sirida uch fazali motorning aylanish chastotasidan kichik bo'ladi.

15.2. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni bir fazali manbadan ishlatish

Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarni bir fazali asinxron motor sifatida ishlatish mumkin. Buning uchun uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni 15.2- rasm-dagi sxemalar bo'yicha ulash kerak. Motorni bu sxemalar bo'yicha ulash uchun chulg'amlarning oltita uchi ham tashqariga (klemmlar qutisiga) chiqarilgan bo'lishi lozim. Bunda motor bir fazali motorga ekvivalent hisoblanadi. Uch fazali motor bir fazali motor sifatida

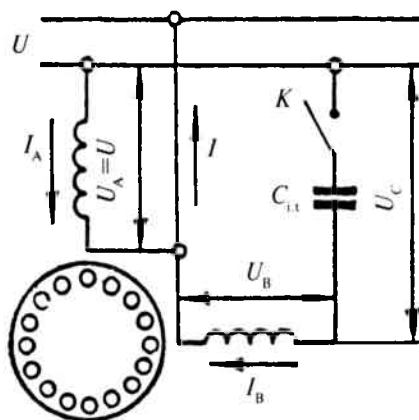


15.2-rasm. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni bir fazali elektr tarmog'idan ishlatish.

ishlaganda uning quvvati uch fazali motor nominal quvvatining taxminan 70 % ni tashkil qiladi. Bunday motorlar kichik yuklamada ishlaganda ularning texnik ko'rsatkichlari nisbatan yomon bo'ladi. Sxemalardagi ishga tushirish qarshiliklari (sig'im va aktiv qarshilik) motor ishga tushirilgandan keyin uzib qo'yiladi. Agar sig'im motorning ish jarayonida ham sxemada ulangan holda qolsa, uning yuklama rejimida ishlashini yaxshilaydi.

Kondensatorli motor. Bir fazali asinxron motorlarning xarakteristikalarini yaxshilash va undan unumli foydalanish maqsadida ishga tushirish chulg'ami zanjiriga kondensator ulanadi. Kondensatordagi sig'im to'g'ri tanlanganda uning aylanma magnit maydoni doiraviy shaklga (aylanaga) yaqinlashadi. U holda mashinadagi teskari aylanuvchi magnit maydon keskin kamaytiriladi va mashinaning xarakteristikalari yaxshilanadi. Bunday motorga kondensatorli motor deyiladi (15.3- rasm).

Kondensatorli motorda ikkala chulg'am ham ish chulg'ami hisoblanadi. Aylanma magnit maydonni olish shartiga ko'ra u chulg'amlarning o'ramlar soni turlicha bo'ladi. Shuni esda tutish lozimki, kondensator sig'imining berilgan qiymati uchun yuklamaning faqat bitta qiymatida aylanma magnit maydon olinib, boshqa yuklamalarda elliptik maydon hosil bo'ladi va motorning ish rejimi yomonlashadi. Yuklamani o'zgartirib kondensator sig'imini



15.3- rasm. Kondensatorli asinxron motor sxemasi:

I_A, I_B — faza toklari; U_A, U_B — faza kuchlanishlari; U_C — kondensatordagi kuchlanish; K — kalit.

rostlash mumkin, lekin bu narsa motor sxemasini murakkablashtiradi.

Ayrim hollarda aylanma maydon olish uchun, ishga tushirish paytida va biror bir yuklamada, kondensatorlar parallel ulanadi. Yuklamada bitta kondensator ishlasa, ishga tushirishda ikkala kondensator ham ulanadi.

Kondensatorli motorlarning FIK xuddi shunday quvvatli uch fazali asinxron motornikiga yaqin, $\cos\phi$ esa katta bo'lishi ham mumkin.



Nazorat savollari

1. Bir fazali asinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipini so'zlab bering.
 2. Bir fazali motor qanday kamchiliklarga ega?
 3. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motor bir fazali manbadan qanday ishlatiladi?
 4. Kondensatorli asinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi haqida nimalarni bilasiz?
-

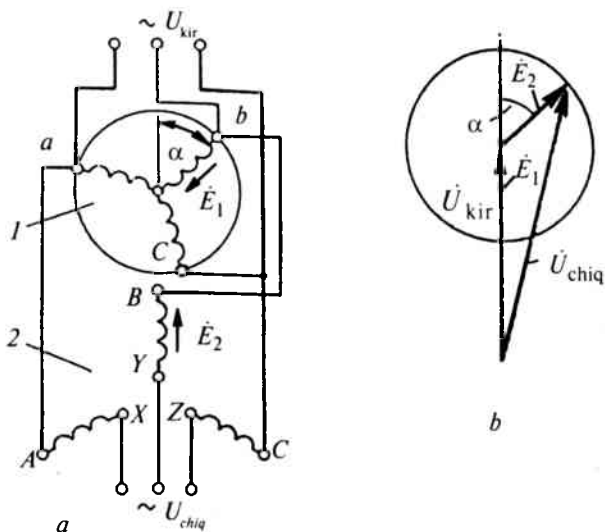
16. 1. Maxsus maqsadli asinxron mashinalarning ba'zi turlari

Maxsus asinxron mashinalarga asinxron chastota o'zgartgich, faza rostlagich, induksion rostlagich, aylanuvchi transformatorlar, selsinlar, chiziqli va yoysimon motorlar kiradi. Ular yordamida chastota, faza va kuchlanish qiymatlarini rostlash; rotorning burilish burchagini shu burchakka yoki uning biror bir funksiyasiga mutanosib ravishda o'zgaradigan kuchlanishga aylantirish; o'zaro mexanik bog'liq bo'lmagan ikki yoki bir necha rotorning sinxron burilishi yoki aylanishini; mexanik obyektlarning chiziqli yoki yoysimon siljishini ta'minlash mumkin.

Kuchlanishni induksion rostlagich. Bunday rostlagich uch fazali aylanuvchi transformator ko'rinishida ishlab chiqariladi va uch fazali o'zgaruvchan kuchlanishni rostlash uchun ishlatiladi.

Induksion rostlagichning sxemasi 16.1- rasm, *a* da ko'rsatilgan.

Birlamchi chulg'am sifatida rotor chulg'ami, ikkilamchi chulg'am sifatida esa stator chulg'ami ishlatiladi.



16.1- rasm. Uch fazali induksion rostlagich: *a* — sxemasi;
b — kuchlanishlar vektor diagrammasi.

Induksion rostlagich uch fazali tarmoqqa ulansa, uning rotor va stator chulg'amlarining har bir fazasida EYK hosil bo'ladi

$$\vec{U}_{\text{ros}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \approx \vec{U}_{\text{kir}} + \vec{E}_2, \quad 16.1$$

bunda, U_2 — chiqishdagi kuchlanish, U_{kir} — kirishdagi kuchlanish. (16.1) tenglamadan shu narsa ko'rinib turibdiki, $\vec{U}_{\text{kir}}$ va $\vec{E}_2$ vektorlar geometrik qo'shilar ekan, $\vec{U}_{\text{ros}}$ kuchlanishning qiymati $\vec{U}_{\text{kir}}$ va $\vec{E}_2$ vektorlar orasidagi burchakka bog'liq bo'ladi. Rotorning holati o'zgarganda bu burchak o'zgarib, turli qiymatli $\vec{U}_{\text{ros}}$ kuchlanishi olish mumkin.

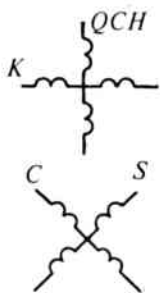
Aylanuvchi (buriluvchi) transformator. Aylanuvchi transformator o'zgaruvchan tok elektr mikromashinasi bo'lib, u rotorning burilish burchagini kuchlanishga aylantirib beradi va bu kuchlanish shu burchakka yoki uning biror bir funksiyasiga mutanosib ravishda o'zgaradi.

Aylanuvchi transformatorning tuzilishi (16.2- rasm) xuddi faza rotorli asinxron motorniki kabidir. Stator va rotorning har qaysisida bir-biriga nisbatan 90° ga siljigan ikkita bir fazali tarqalgan chulg'amlar joylashgan. Magnit o'zak bir-biridan izolatsiyalangan elektrotexnik po'lat plastinalardan yig'ilgan.

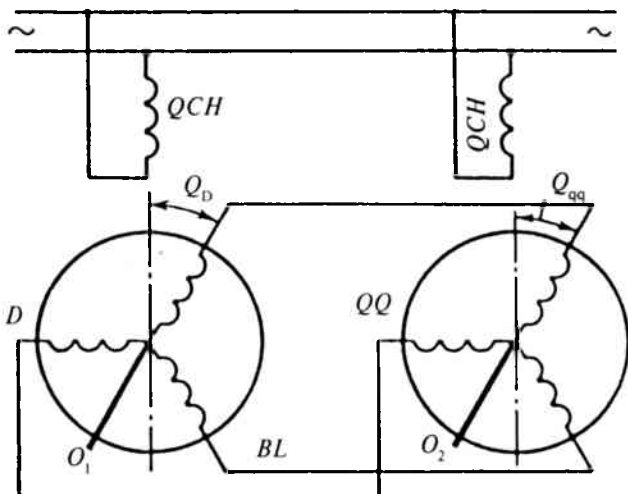
Aylanuvchi transformator burilib yoki aylanib ishlashi mumkin. Burilib ishlash holatida rotorning statorga nisbatan holati buradigan mexanizm yordamida o'zgartiriladi. Bunda stator chulg'aming bittasi — qo'zg'atish chulg'ami o'zgaruvchan tok manbayiga ulanadi, boshqa kompensatsiyalovchi chulg'ami esa qarshilikka ulanadi yoki qisqa tutashtiriladi. Ayrim hollarda statorning ikkala chulg'amlari ham o'zgaruvchan tok manbalariga mustaqil ravishda ulanadi.

Rotorning sinus (S) va kosinus (C) chulg'amlari kontakt halqalarga cho'tkalar orqali ulangan bo'ladi.

Transformator aylanib ishlaganda qo'zg'atish va kompensatsiyalovchi chulg'amlar rotorda, sinus va kosinus chulg'amlar esa statorda joylashadi.



16.2- rasm. Aylanuvchi transformatorning prinsipial sxemasi: S—sinus, C—kosinus chulg'amlari; QCH—qo'zg'atish chulg'ami, K—kompensatsiyalovchi chulg'am.



16.3- rasm. Selsinning indikator rejimi: D — datchik; QQ — qabul qilgich (priyomnik); BL — bog'lovchi liniya (sim)lar; QCH — qo'zg'atish chulg'ami.

Bunda kompensatsiyalovchi chulg'am qisqa tutashtiriladi, qo'zg'atish chulg'ami esa ikkita kontakt halqa yordamida o'zgaruvchan tok manbayiga ulanadi.

Selsinlar. Selsin ikkita: birlamchi yoki qo'zg'atish chulg'ami va sinxronlovchi chulg'amdan iborat. Selsinlar bir va uch fazali bo'ladi. Uch fazali selsinning tuzilishi faza rotorli asinxron motorning tuzilishi kabidir. Ular elektr va sistemalarida, avtomatika sistemalarida esa bir fazali selsinlar ishlatiladi. Sinxronlovchi chulg'am statorda, qo'zg'atish chulg'ami esa, odatda, rotorda joylashgan bo'ladi.

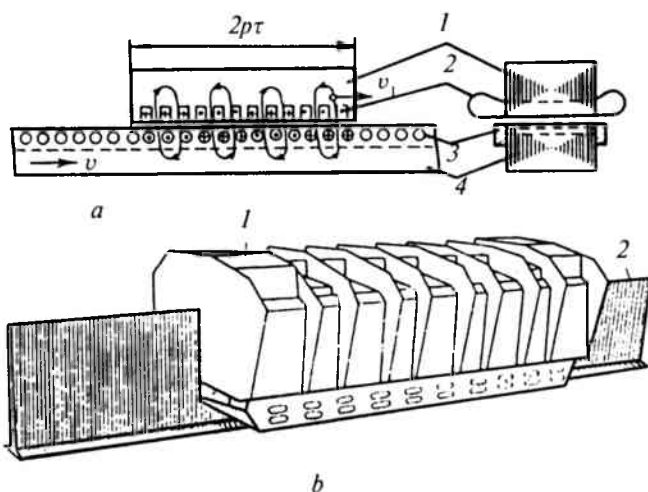
Bir fazali selsin ham kam quvvatli asinxron mashina kabi tuzilishga ega. Ular ayon va noayon qutbli bo'ladi.

Selsin transformator rejimida ishlaganda datchik (darakchi) D ning qo'zg'atish chulg'ami QCH bosh o'q Q_1 ga mexanik bog'langan bo'lib, bir fazali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanadi.

Qabul qilgich (priyomnik) QQ ning qo'zg'atish chulg'ami esa bajaruvchi motorning boshqarish chulg'amiga ulanadi.

Selsinlar ikki xil: indikator va transformator rejimida ishlaydi.

Indikator rejimida (16.3- rasm) selsin-qabul qilgichning rotori bosh o'q Q_2 ga ulangan bo'ladi. Bunda datchikning D va qabul qilgich QQ ning qo'zg'atish chulg'amlari B umumiy o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanadi.



16.4- rasm. Chiziqli asinxron motor: *a* — elektromagnit sxemasi; *b* — umumiy ko‘rinishi:

1 — stator po‘lat o‘zagi; *2* — stator chulg‘ami; *3* — rotor chulg‘ami; *4* — rotor po‘lat o‘zagi.

Chiziqli asinxron motorlar. Chiziqli asinxron motorning tishli statori pazlariga uch fazali chulg‘am joylashgan (16.4- rasm, *a*). Chiziqli motorning qo‘zg‘aluvchi qismi *yugurdak* deb ataladi. U asinxron mashina rotoriga o‘xshash va faqat tekislik bo‘yicha harakat qiladi.

Yugurdakning o‘zagi elektrotexnik po‘latdan tayyorlanib, uning pazlariga qisqa tutashgan chulg‘am joylashtirilgan. Bu chulg‘am aluminiy va misdan yoki ferromagnit plastinalardan tayyorlanishi mumkin.

Chiziqli asinxron motorning ishlash prinsipi asinxron motor-niki kabi.

16.2. Asinxron motorlarning zamonaviy turlari

O‘zbekistonda Andijon shahridagi „Elektrodvigatel“ ishlab chiqarish birlashmasida xalq xo‘jaligining turli sohalarida ishlatiladigan asinxron motorlarning bir necha tiplari ishlab chiqariladi. Shulardan biri kundalik turmushimizda ishlatiladigan avtomat va yarim avtomat kir yuvish mashinalari („EVRIKA-3M“) barabanlarini yuritish uchun mo‘ljallangan ikki tezlikli kondensatorli asinxron motordir. Uning parametrlari quyidagicha: $P_{2N} = 120$ va 60 W, $U_N = 220$ V, $f = 50$ Hz, $n = 2850$ va 425 ayl/min, $\eta = 24$ va 21 %.

Turli xil mexanizm, asbob-uskuna, apparat va qurilmalarning yuritmasi sifatida ishlashga mo'ljallangan AV-04M turkumli uch fazali asinxron motor parametrlari quyidagicha: $P_{2N} = 16,25$ va 40 W, $U_N = 220 / 380$ V, $\eta = 48,55$ va 64 %.

Chorvachilik, parrandachilik fermalari va boshqa ishlab chiqarish obyektlarida qo'llaniladigan turli xil mashina hamda mexanizmlarni yuritish uchun 4AM100SU1 tipidagi uch fazali asinxron motorlar ishlab chiqariladi: $P_{2N} = 2,2; 3; 4$ va $5,5$ kW, $U_N = 380$ V, $\eta = 81; 82; 86,5$ va $87,5$ %.

4AM100UZ tipli uch fazali asinxron motorlardan foydalanish qulay bo'lganligi sababli ular har xil dastgohlar, kompressorlar, ventilatorlar hamda avtomat boshqarish sistemalarida keng qo'llaniladi. Ularning nominal kattaliklari xuddi 4AM100SU1 tipli motorniki singaridir.

To'qimachilik sanoatida ishlatiladigan TO-3 tipli ($P_{2N} = 0,8$ va $1,1$ kW, $U_N = 220/380$ B, $\eta = 75$ %) uch fazali asinxron motorlar mokili avtomat va boshqa dastgohlarni yuritish uchun mo'ljallangan. Uning quvvati $0,8$ va $1,1$ kW, nominal kuchlanishlari $220 / 380$ B, foydali ish koeffitsiyenti 75 %.

Yerevan elektrotexnika zavodi (Armaniston) 4AAMT, 4ABX, AIRF2P, 4AMAS, 4AMS tipli; Xarkov elektrotexnika zavodi 4ABAR tipli; „Xarkov elektromexanika“ zavodi (Ukraina) ADS, ED, EDK tipli; „Киргизелектродвигател“ zavodi (Bishkek, Qirg'iziston) AII, AIRZT, AIRUT, 4AUT, DAK, DAO, 2DAO tipli; (Belorussiya) „Електродвигател“ zavodi AIR, AIRB, 4AMAS, 4AP, AXVP tipli; (Ozarbayjon) „Elektromashina“ zavodi AIR tipli; (Rossiya) „Електромашиностроител“ zavodi AIR, AIRS, AMK, 4AMR va AXDCH tipli asinxron motorlarni ishlab chiqarmoqda.

MDH mamlakatlarida jumladan, O'zbekistonda ham, ishlatilayotgan teplovozlarda ED-900 turkumli, elektrovozlarda esa ETA-1200, NB-602, NB-607 turkumli qisqa tutashgan rotorli asinxron tortish motorlari ishlatilmoqda.

Bunday motorlarning quvvati 900 va 1200 kW ni tashkil etadi.

Mustaqil Davlatlar Hamdo'stligi davlatlarida, asosan, Rossiyada asinxron motorlarning yangi turkumlari yaratildi. Yaroslavl „Электромашиностроитель“ zavodi hozirgi vaqtda quvvati 100 kW gacha bo'lgan yangi turkumli asinxron mashinalarni ishlab chiqarmoqda. Bu mashinalarni ishlab chiqarishda, asosan, 4A, AIR, AIS turkumli asinxron mashinalarning ijobiy texnik xarakteristikalari hisobga olindi. RA turkumli asinxron

mashinalarning aylanish o'qi balandligi (h) 71—280 mm ni tashkil qiladi.

Vladimir (Rossiya) „Elektromotor“ zavodi AI turkumi asosida, uning kamchilik va ijobiy texnik xarakteristikalarini, hisobga olgan holda, quvvati 315 kW gacha bo'lgan 5A va 5AN turkumli asinxron mashinalarni ishlab chiqarmoqda. Bu mashinalarning 14 xil o'lchamlilari mavjud bo'lib, aylanish o'qi balandligi (h) 71—355 mm ni tashkil qiladi.

Hozirgi vaqtda Rossiya Federatsiyasida 6A turkumli eng zamonaviy asinxron mashinalar ham ishlab chiqarilmoqda.

**Quyidagi jadvalda asinxron motorlarda uchraydigan
ayrim buzuvchiliklar va ularni bartaraf qilish yo'llari keltirilgan**

Buzuvchilik	Sababi	Bartaraf etish yo'llari
1	2	3
Motor ishga tushmaydi — aylanmaydi va shovqin chiqarmaydi	Ishga tushirish zanjiri ulanmagan Motorning uchta yoki ikkita fazasiga kuchlanish berilmagan Stator chulg'ami ishdan chiqqan	Sababi aniqlanadi Kuchlanishlar o'lchanib, buzuvchilik sababi aniqlanadi va bartaraf etiladi Stator yoki motor almashtiriladi
Motor o'chmaydi	Ishga tushirish apparati elektr zanjirini ajratmaydi	Buzuvchilik sababi aniqlanib, bartaraf etiladi
Motor aylanmaydi va g'alati ovoz chiqaradi	Biror fazaga kuchlanish berilmagan Motorning klemmlar qutisidagi simlar kuygan Mexanizmlarda elektr tormoz bo'lgan va u ishdan chiqqan holatda motor tormozlangan	Ishga tushirgichning chiqish qismidan boshlab kuchlanishning boryoqligi tekshiriladi. Simlar tozalanadi va izolatsiyalanib, joy-joyiga qo'yiladi. Tormozning holati tekshiriladi

Motor normal tezlikda aylanmaydi	Motor chulg'amlarida o'ramlararo qisqa-tutashuv mavjud Elektr tarmog'idagi transformatoridan oldin qo'yilgan yuqori kuchlanishli saqlagich kuygan	Stator yoki motor almashtiriladi Tarmoqdagi kuchlanish o'lchanadi, agar kuchlanish normal bo'lmasa, bu haqda yuqori kuchlanishli tarmoqqa xizmat ko'rsatuvchi shaxsga xabar beriladi
Motor tez aylanadi va to'xtab qoladi	Ishga tushirish kontakti bo'shroq bosilgan	Ishga tushirish g'altagi zanjiridagi yoki magnit sistemasidagi buzqlik aniqlanib, bartaraf etiladi



Nazorat savollari

1. Asinxron mashinalarning maxsus turlari haqida nimalarni bilasiz?
2. Asinxron motorlarni ishlatish jarayonida yuzaga keladigan buzqliklar haqida nimalarni bilasiz va ular qanday bartaraf qilinadi?
3. Asinxron motorlarning qanday zamonaviy turlarini bilasiz?

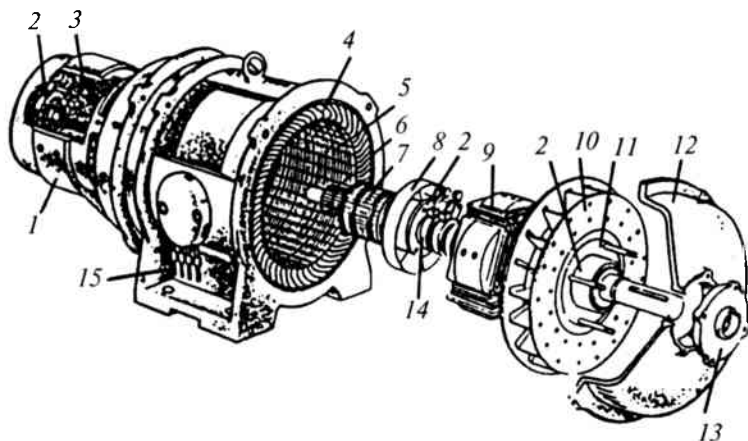
17.1. Sinxron mashinalarning tuzilishi va
ishlash prinsipi

Sinxron mashinaning statori *tuzilishi* jihatidan asinxron mashinaning statoridan farq qilmaydi. Sinxron mashinaning magnit qutblari uning rotoriga o'rnatilgan. Qutblarning po'lat o'zagi tashqarisiga qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilgan. Rotor qutblaridagi bu chulg'amga kontakt halqalar va cho'tkalar orqali o'zgarmas tok beriladi. Sinxron mashinaning asosiy magnit maydoni qo'zg'atish chulg'ami vositasida shu tarzda hosil qilinadi.

Sinxron mashinalar rotorining tuzilishiga ko'ra: ayon qutbli va noayon qutbli turlarga bo'linadi.

Ayon qutbli rotor val, valda joylashtirilgan rotor korpusi va rotor korpusiga mahkamlangan qutblardan tashkil topgan (17.1- rasm).

Qutblarning po'lat o'zagi ham yupqa elektrotexnik po'lat plastinalardan yig'ilgan. Ayon qutbli rotorning har qaysi qutb o'zagi tashqarisiga qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilib, ular ketma-



17.1- rasm. Ayon qutbli sinxron mashinaning tuzilishi:

1 — qo'zg'atgich staninasi; 2 — podshipnik; 3 — cho'tkatutqich; 4 — stator chulg'ami; 5 — statorning po'lat o'zagi; 6 — kollektor; 7 — qo'zg'atgich yakori; 8 — cho'tka tutqichni mahkamlagich; 9 — qo'zg'atish chulg'ami; 10 — ventilator; 11 — podshipnik qopqog'i; 12 — podshipnik qalqoni; 13 — qopqoq; 14 — kontakt halqalar; 15 — chulg'amlarning chiqish uchlari.

ket ulangan. Bu chulg'amlar rotor korpusining ikki uchi valga mahkamlangan va undan izolatsiyalangan mis yoki latun kontakt halqalarga tutashtirilgan.

Mashinaning qo'zg'almas qismiga cho'tka tutqich orqali mahkamlangan cho'tkalar halqalarning sirtiga tegib kontakt hosil qiladi. Cho'tkalar simlar yordamida mashinaning tashqi klemmasiga ulangan. Qo'zg'atish chulg'aming uchlari yangi standart bo'yicha F1 va F2 bilan belgilanadi, ilgari belgilanishi esa I1 va I2 edi.

Ayon qutbli sinxron mashinalarning qutb uchlariga ma'lum shakl berilgan. Bunda qutb o'qidagi havo oralig'i uning chetlaridagi havo oralig'iga nisbatan kichikroq bo'ladi. Mashina havo oralig'idagi magnit induksiyaning tarqalish shakli shu tariqa sinusoidaga yaqinlashtiriladi.

Sinxron mashinaning qutb uchligidagi pazlarga maxsus qisqa tutashgan chulg'am joylashtirilgan. Bu chulg'am motor rejimida ishga tushirish, generator rejimida esa — tinchlantirish vazifasini bajaradi.

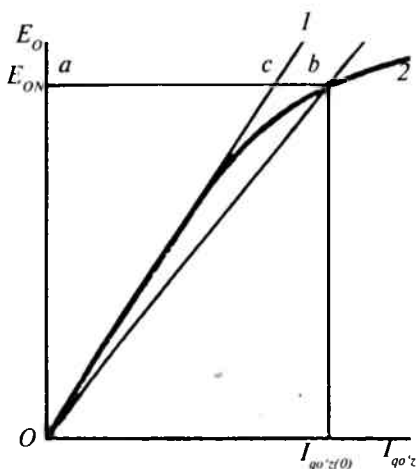
Sinxron generator (SG) *ishlashi* uchun uning qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok beriladi va uning rotori birlamchi mexanizm yordamida aylantiriladi. Natijada qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan asosiy magnit maydon stator chulg'amlarini kesib o'tib, unda EYK hosil qiladi. Agarda stator chulg'ami tashqi zanjirga ulangan bo'lsa, undan o'zgaruvchan tok o'tadi. Sinxron generator shu tariqa mexanik energiyani elektr energiyaga aylantirib beradi.

Sinxron generatorning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayoni. Sinxron generatorning asosiy magnit oqimi Φ_0 qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok berib hosil qilinadi. SG ning rotori birlamchi mexanizm yordamida aylantirilsa, bu oqim Φ_0 stator chulg'amini kesib o'tadi va unda EYK hosil qiladi. Bu EYK quyidagicha aniqlanadi:

$$E_1 = 4,44 f w_1 k_{ch} \Phi_{max},$$

bunda w_1 — stator faza chulg'aming o'ramlari soni, k_{ch} — stator chulg'aming chulg'am ko'effitsiyenti, Φ_{max} — qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan asosiy magnit oqimining maksimal qiymati.

Qo'zg'atish chulg'amidagi tokning qiymati kichik bo'lganda asosiy magnit oqimi ham kam va mashinaning magnit zanjiri to'yinmagan bo'ladi. Qo'zg'atish toki ortib borgan sari magnit oqimi ham ortib mashinaning magnit zanjiri to'yina boradi (17.2- rasm).



17.2-rasm. Sinxron generatorning salt ishlash xarakteristikasi:

1 — mashina magnit zanjirining to'yinmagan holatiga oid (to'g'ri) chiziq;
2 — magnit zanjirining to'yingan holatiga oid (egri) chiziq.

SG ning nominal ish holati egri chiziq 2 ning egilgan qismiga to'g'ri keladi. Bu xarakteristika yordamida mashinaning to'yinish ko'effitsiyenti aniqlanadi, ya'ni $k_{\mu} = ab / ac$. Bu ko'effitsiyent $k_{\mu} = 1,1 \div 1,4$ ga teng.

Mashinada sinusoidal EYK hosil qilish uchun mashinaning stator va rotor o'rtasidagi havo oralig'ida magnit oqimi aylana bo'ylab sinusoidaga yaqin shaklda tarqalgan bo'lishi kerak. Bunga erishish uchun noayon qutbli sinxron mashinalarda qo'zg'atish chulg'amini joylashtirishda yuqori garmonika MYK larining amplitudasi eng kichik qiymatga intiladi. Ayon qutbli mashinalarda esa qutb uchliklarining chetlaridagi havo oralig'i qutb o'qidagi havo oralig'iga nisbatan kattaroq qilib olinadi.

Yakor (stator) chulg'amida tarqalgan va qadami qisqartirilgan chulg'am ishlatiladi. Tokning 3- garmonikasini yo'qotish va mashinada quvvat isrofini kamaytirish maqsadida uch fazali generatorlarning yakor chulg'ami yulduz usulida ulanadi. Bunda liniya kuchlanishlarida ham 3- garmonikalar bo'lmaydi. Yuqoridagi tadbirlarni amalga oshirish yo'li bilan magnit oqim va yakor chulg'amidan olinadigan EYK ning shakli deyarli sinusoidal bo'lishga erishiladi.

17.2. Sinxron generatorning simmetrik yuklama bilan ishlashi

SG statorining har bir faza chulg'amlariga qiymatlari simmetrik bo'lgan yuklama ulansa, chulg'amlardan bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan uch fazali tok o'tadi. Bu tok statorda $n_1 = n$ chastota bilan

aylanadigan magnit maydonni hosil qiladi. Yuklama toki yakor magnit oqimi Φ_a ni hosil qiladi. Φ_a va qo'zg'atish chulg'amining magnit oqimi Φ_0 bir-biriga nisbatan qo'zg'almas bo'lib, bu oqimlar birgalikda mashinaning natijaviy magnit oqimini hosil qiladi.

Umuman, yuklama bilan ishlayotgan generatorda natijaviy magnit oqimi Φ_Σ qo'zg'atish chulg'amining MYK F_0 va yakorning MYK F_a ta'siri natijasida hosil bo'ladi. MYK F_0 yuklamaga bog'liq bo'lmaydi, F_a yuklamaning qiymati va xarakteriga bog'liq. Yuklamaning xarakteri deganda yakor MYK ning asosiy magnit oqimiga qanday burchak ostida ($\Psi = 0^\circ$; $0^\circ < \Psi \leq +90^\circ$; $0^\circ > \Psi \geq -90^\circ$) ta'sir qilishi tushuniladi. Shuning uchun ham generatorning natijaviy magnit oqimi Φ_Σ salt ishlash holatidagi magnit oqimi Φ_0 dan farq qiladi.

Yakor MYK F_a ning asosiy magnit oqimi Φ_0 ga ta'siri **yakor reaksiyasi** deyiladi. Sinxron mashinalarda yakor reaksiyasi yuklama qiymati va xarakteriga bog'liq. Quyida noayon va ayon qutbli sinxron mashinalar uchun yakor reaksiyasini ko'rib chiqamiz.

Noayon qutbli sinxron mashinada yakor reaksiyasi. Bunday SM da stator va rotor orasidagi havo oralig'i stator aylanasi bo'ylab bir xil bo'ladi. Shuning uchun mashinaning magnit zanjiri to'yinmagan bo'lsa, natijaviy magnit oqimi Φ_Σ ni aniqlash ancha osonlashadi, ya'ni u magnit oqimlari Φ_0 va Φ_a ning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi (17.3- rasm, vektor diagrammaga qarang):

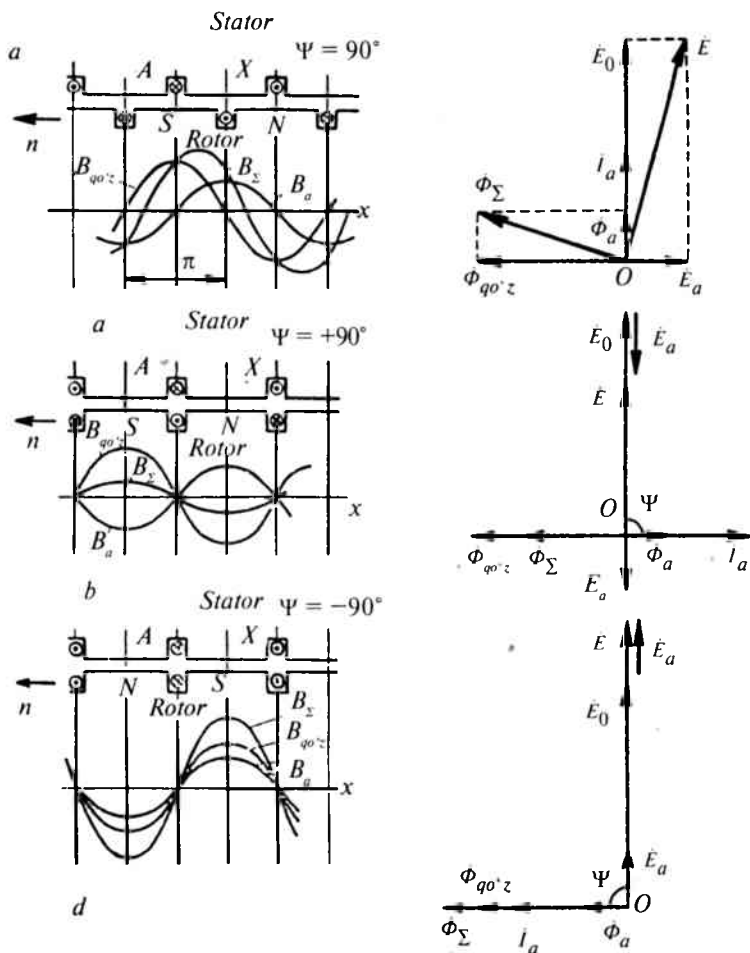
$$\Phi_\Sigma = \Phi_0 + \Phi_a. \quad (17.1)$$

Yakor reaksiyasining SM ish xossalariga ta'sirini EYK E_0 va yakor toki I_a orasidagi siljish burchagining har xil qiymatlarida ko'rib chiqamiz.

Burchakning qiymati yuklama qarshiliklari xarakteriga (aktiv, induktiv, sig'im yoki aralash) bog'liq bo'ladi.

Agar yuklama faqat aktiv qarshilikdan iborat bo'lsa ($\Psi=0$), rotorning N va S qutblarining o'qi ko'rilyotgan chulg'amning o'rta paziga to'g'ri kelganda AX fazadagi tok o'zining maksimal qiymatiga erishadi (17.3- rasm, a). Bunda Φ_a oqim AX fazaning o'qi bilan mos tushadi yoki Φ_0 oqimga nisbatan 90 el. gradusga orqada bo'ladi. Elektr gradus ikki qutbli mashinalarda geometrik gradusga teng, $p > 2$ bo'lganda esa 1 geom. grad = $p \cdot$ el. grad bo'ladi.

SM lar nazariyasida N va S qutblar o'rtasidan o'tadigan o'q bo'ylama o'q deyilib, $d-d$ bilan, turli xil qutblar orasidan o'tadigan o'q esa ko'ndalang o'q deyilib, $q-q$ bilan belgilandi. Shunday



17.3- rasm. Turli xarakterdagi yuklamada yakor reaksiyasining mashina ish xossalariga ta'siri: $a-\Psi = 0^\circ$; $b-\Psi = +90^\circ$; $d-\Psi = -90^\circ$.

qilib, SG ning yuklamasi faqat aktiv qarshilikdan iborat bo'lsa ($\Psi = 0$), yakorning magnit oqimi mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha ta'sir qiladi. Bunda har bir qutb o'qining bir tomoni magnitlansa, ikkinchi tomoni magnitsizlanadi.

Natijaviy magnit oqim Φ_Σ ning vektor moduli $\Phi_\Sigma = \sqrt{\Phi_0^2 + \Phi_a^2}$ bilan aniqlanadi.

Agar yuklama faqat induktiv xarakterda ($\Psi = 90^\circ$) bo'lsa (17.3-rasm, b), AX fazadagi tok o'zining maksimal qiymatiga EYK E_0 ning qiymatiga nisbatan chorak davr keyinroq erishadi.

Yakor magnit oqimi Φ_0 mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha oqim Φ_0 ga teskari yo'nalib, bunda $\Phi_\Sigma = \Phi_0 + (-\Phi_a)$ bo'ladi va uning qiymati kamayadi, bu esa yakor EYK E_a ning kamayishiga olib keladi.

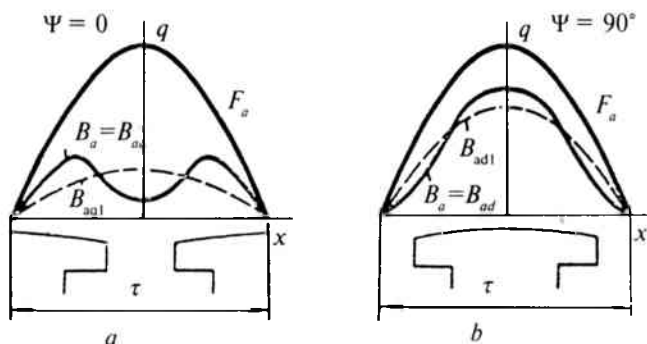
Shunday qilib, yuklama faqat induktiv xarakterda bo'lsa, yakor reaksiyasi mashinaga magnitsizlovchi ta'sir ko'rsatar ekan.

Agar yuklama qarshiligi faqat sig'im xarakterga ega ($\Psi = -90^\circ$) bo'lsa (17.3- rasm, d), yakorning magnit oqimi Φ_a mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha ta'sir qiladi va qo'zg'atish chulg'ami oqimi Φ_0 ning yo'nalishi bilan bir xil, bunda natijaviy magnit oqim $\Phi_\Sigma = \Phi_0 + \Phi_a$ bo'ladi. Shunday qilib, yuklama sig'im xarakterida bo'lsa, yakor reaksiyasi mashinaga magnitlovchi ta'sir etib, natijaviy magnit oqim Φ_Σ ni, demak EYK E_a ni oshiradi.

Amalda SG ning yuklamasi turli xarakterdagi qarshiliklardan iborat bo'ladi. U holda EYK E_0 va yakor toki I_a orasidagi siljish burchagining qiymati $-90^\circ < \Psi < 90^\circ$ oralig'ida bo'ladi. Bunda aktiv-induktiv yuklamada (orqada qoluvchi tok)da yakor reaksiyasi mashinaga magnitsizlovchi, aktiv-sig'imiyl yuklama (oldinda keluvchi tok)da esa yakor reaksiyasi mashinaga magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi.

Ayon qutbli sinxron mashinada yakor reaksiyasi. Ayon qutbli mashinada stator va rotor orasidagi havo oralig'i har xil bo'ladi. Bu oraliq qutb uchliklari chetida uning o'rtasiga nisbatan katta bo'lib, qo'shni qutblar oralig'ida kattalashib boradi. Shuning uchun yakor magnit oqimi Φ_a faqat yakor MYK F_a ning qiymatiga emas, balki rotor qutblariga nisbatan MYK F_a ning tarqalish egri chizig'i $F_a = f(x)$ ning holatiga ham bog'liqdir.

Masalan, agar $\Psi = 0$ bo'lsa (17.4- rasm, a), yakor magnit induksiyasining tarqalish egri chizig'i, MYK F_a sinusoidal tarqalgan bo'lsa ham, egarsimon shaklda bo'ladi.



17.4- rasm. Mashina magnit induksiyasining tarqalish egri chizig'i.

Agar $\Psi = 90^\circ$ bo'lsa (17.4- rasm, *b*), yakorning magnit oqimi Φ_a mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yo'naladi va magnit induksiyasining egri chizig'i $d-d$ o'qqa nisbatan simmetrik joylashadi. Bu o'q bo'yicha havo oralig'ining magnit qarshiligi nisbatan kichik bo'lgani uchun, magnit induksiyasining qiymati $\Psi = 0$ dagi induksiyaga nisbatan kattadir. Shu sababli induksiylarning birinchi garmonikalari B_{ad1} va B_{aq1} ning maksimal qiymatlari ham turlicha bo'ladi.

Ayon qutbli SM da yakorni MYK F_a ni ikkita tashkil etuvchiga ajratish mumkin:

- bo'ylama ta'sir etuvchisi — $F_{ad} = F_a \sin \Psi$;
- ko'ndalang ta'sir etuvchisi — $F_{aq} = F_a \cos \Psi$.

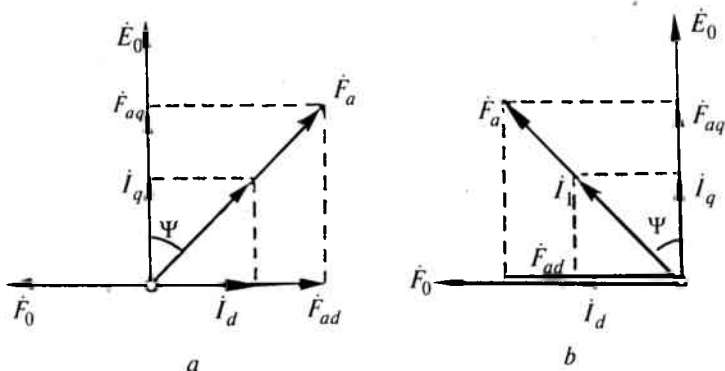
Natijaviy MYK esa $\vec{F}_a = \vec{F}_{ad} + \vec{F}_{aq}$.

MYK F_{ad} yakorning bo'ylama magnit oqimi Φ_{ad} ni, Φ_{aq} esa yakorning ko'ndalang magnit oqimi Φ_{aq} ni hosil qiladi. Bu magnit oqimlar yakorning bo'ylama E_{ad} va ko'ndalang E_{aq} elektr yurituvchi kuchlarini hosil qiladi.

Agar generatorning yuklamasi aktiv-induktiv xarakterda bo'lsa, $\vec{F}_a$ vektor $\vec{E}_0$ dan $0 < \Psi < 90^\circ$ burchakka keyinda qoladi (17.5- rasm, *a*).

Agar generatorning yuklamasi aktiv-sig'im xarakterda bo'lsa, $\vec{F}_a$ vektor $\vec{E}_0$ vektordan $0 < \Psi < 90^\circ$ burchakka oldinda keladi (17.5- rasm, *b*).

Shunday qilib, ayon qutbli SG da yuklama xarakteri aktiv-induktiv bo'lsa, yakor reaksiyasi magnitsizlovchi, agar aktiv-sig'imiy xarakterda bo'lsa, magnitlovchi ta'sir ko'rsatar ekan.



17.5- rasm. Ayon qutbli sinxron generatorning yakor toki va MYK ning bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari.

17.3. Sinxron generator elektr yurituvchi kuchlarining muvozanat tenglamalari va vektor diagrammalari

SG salt ishlaganda uning tashqi klemmlaridagi kuchlanish stator chulg'amida hosil bo'lgan EYK ga teng bo'ladi. Agarda SG ga yuklama ulangan bo'lsa, yakor reaksiya tarqoq magnit oqimi ta'siridan va statoridagi kuchlanish pasayishi natijasida klemmalardagi kuchlanish EYK dan kichik bo'ladi.

Quyida ayon va noayon qutbli SG larda hosil bo'ladigan EYK larni ko'rib o'tamiz.

Ayon qutbli SG da hosil bo'ladigan EYK tarkibiga quyidagilar kiradi:

— qo'zg'atish chulg'ami MYK F_0 asosiy magnit oqimi Φ_0 ni, bu oqim esa asosiy EYK E_0 ni hosil qiladi;

— yakor MYK F_a ning bo'ylama tashkil etuvchisi F_{ad} magnit oqimning Φ_{ad} tashkil etuvchisini, bu magnit oqimi esa EYK E_a ning E_{ad} tashkil etuvchisini hosil qiladi:

$$E_{ad} = -jI_d \cdot x_{ad}, \quad (17.2)$$

bunda x_{ad} — stator chulg'amining bo'ylama o'q bo'yicha induktiv qarshiligi; $I_d = I_a \sin \Psi$ — stator tokining reaktiv tashkil etuvchisi;

— yakor MYK F_a ning ko'ndalang o'q bo'yicha tashkil etuvchisi F_{aq} magnit oqim Φ_{aq} ni, bu magnit oqim esa EYK E_a ning ko'ndalang tashkil etuvchisi E_{aq} ni hosil qiladi:

$$E_{aq} = -jI_q \cdot x_{aq}, \quad (17.3)$$

bunda $I_q = I_a \cos \Psi$ — stator tokining aktiv tashkil etuvchisi, x_{aq} — stator chulg'amining ko'ndalang o'q bo'yicha induktiv qarshiligi;

— stator po'lat o'zagi va qisman havo oralig'i orqali ilashgan tarqoq magnit oqimi $\Phi_{\sigma 1}$ stator chulg'amlarida tarqoq EYK $E_{\sigma 1}$ ni hosil qiladi:

$$E_{\sigma 1} = -jI_a \cdot x_{\sigma 1}, \quad (17.4)$$

bunda $x_{\sigma 1}$ — stator chulg'amining tarqoq magnit oqimi tufayli hosil bo'lgan induktiv qarshilik;

— stator chulg'amining aktiv qarshiligida kuchlanish pasayishi:

$$U_{r1} = I_a \cdot r_1, \quad (17.5)$$

bunda r_1 — stator chulg'ami aktiv qarshiligi, I_a — stator chulg'ami toki.

Shunday qilib, stator chulg'amidagi kuchlanish yuqoridagi EYK larning geometrik yig'indisi bilan ifodalanadi:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_{ad} + \dot{E}_{aq} + \dot{E}_{\sigma 1} - \dot{U}_{r1}$$

yoki

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 - j\dot{I}_a x_{ad} - j\dot{I}_a x_{aq} - \dot{I}_a x_{\sigma 1} - \dot{I}_a r_1. \quad (17.6)$$

Ayon qutbli sinxron mashinalarda $x_q < x_d$ bo'ladi.

Noayon qutbli SG yakor chulg'amida hosil bo'ladigan EYK tarkibiga quyidagilar kiradi:

— asosiy magnit oqim Φ_0 hosil qilgan EYK E_0 ;

— yakorning MYK F_a yakorning magnit oqimi Φ_a ni vujudga keltiradi. U esa yakor chulg'amida o'zinduksiya E_{yk} E_a ni hosil qiladi.

$$E_a = -jI_a \cdot x_a, \quad (17.7)$$

bunda x_a — yakor chulg'aming induktiv qarshiligi;

— tarqoq magnit oqimi $\Phi_{\sigma 1}$ hosil qilgan EYK $E_{\sigma 1}$:

$$E_{\sigma 1} = -jI_a \cdot x_{\sigma 1}, \quad (17.8)$$

— Φ_a va $\Phi_{\sigma 1}$ magnit oqimlari yakor toki tomonidan hosil qilingani tufayli x_a va $x_{\sigma 1}$ induktiv qarshiliklarni qo'shish mumkin: $x_a + x_{\sigma 1} = x_s$ (bunda: x_s — noayon qutbli SM ning sinxron induktiv qarshiligi yoki to'la induktiv qarshilik deyiladi). U holda:

$$\dot{E}_\sigma = -j\dot{I}_a x_a + (-j\dot{I}_a x_{\sigma 1}) = \dot{U}_1 = -j\dot{I}_a x_s$$

— stator chulg'ami aktiv qarshiligida kuchlanish pasayishi:

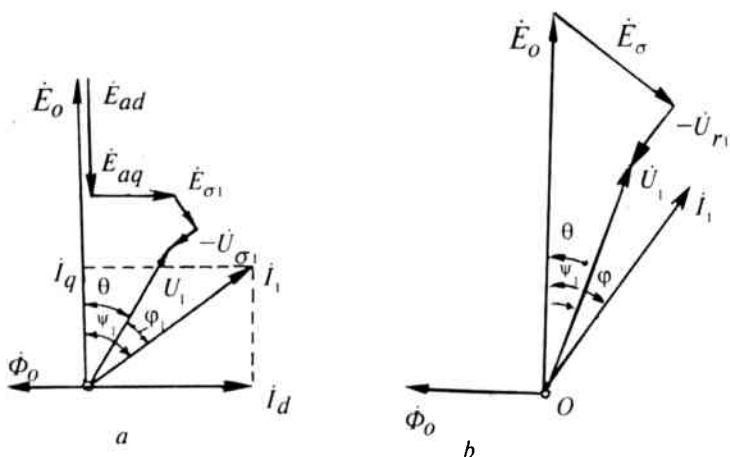
$$\dot{U}_{r1} = \dot{I}_a \cdot r_1. \quad (17.9)$$

Noayon qutbli SG ning kuchlanishi yuqoridagi EYK larning vektor yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_s - \dot{U}_{r1} \text{ yoki } \dot{U}_1 = \dot{E}_0 - j\dot{I}_a x_s - \dot{I}_a r_1. \quad (17.10)$$

SM larning turli xil ish rejimlarini tahlil qilishda vektor diagrammalardan keng foydalaniladi. Bu diagrammalar SM larning EYK muvozanat tenglamalari yordamida quriladi.

Vektor diagrammani qurish uchun quyidagi kattaliklar ma'lum bo'lishi lozim: salt ishlashdagi EYK E_0 ; yuklama toki I_a



17.6- rasm. Ayon (a) va noyon (b) qutbli SG larning aktiv-induktiv xarakterli yuklama uchun qurilgan vektor diagrammalari.

va uning EYK E_0 ga nisbatan siljish burchagi Ψ ; yakor reaksiya-sining bo'ylama x_{ad} va ko'ndalang x_{aq} induktiv qarshiliklari hamda tarqoq induktiv qarshilik $x_{\tau 1}$; stator faza chulg'amining aktiv qarshiligi r_1 .

Ayon qutbli SG ning vektor diagrammasini (17.6) tenglama yordamida quramiz.

SG ning fazaviy toklari bir xil bo'lganda, vektor diagramma faqat bir faza uchun quriladi.

Diagrammani qurishni qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan magnit oqimi Φ_0 ni biror yo'nalish bo'yicha (masalan, absissalar o'qi bo'yicha) yo'naltirishdan boshlaymiz. Stator chulg'amida hosil bo'lgan EYK E_0 vektori magnit oqimi Φ_0 dan 90° orqada chizildi. Stator tokining I_1 vektori yuklama xarakteriga qarab, E_0 vektoridan Ψ burchakka oldinda yoki orqada chiziladi. Agar yuklama aktiv-induktiv xarakterda bo'lsa, stator toki I_1 vektori EYK E_0 vektoridan Ψ burchakka orqada (17.6- rasm, a) yoki aktiv sig'imi xarakterda bo'lsa, I_1 tok EYK E_0 vektoridan Ψ burchakka oldinda (17.6- rasm, b) keladigan qilib chiziladi.

Yuklama toki I_1 ni bo'ylama $I_d = I_1 \sin \Psi$ va ko'ndalang $I_q = I_1 \cos \Psi$ tashkil etuvchilarga ajratamiz, bunda I_q EYK E_0 vektori bilan bir fazada, tokning bo'ylama tashkil etuvchisi I_d esa EYK E_0 vektoridan aktiv-induktiv yuklamada 90° orqada, aktiv sig'im yuklamada esa 90° oldinda chiziladi.

Aktiv-induktiv yuklamada $\vec{E}_{ad}$ vektori $\vec{E}_0$ vektorga teskari, $\vec{E}_{aq}$ esa $\vec{E}_{ao}$ vektordan 90° orqada chiziladi. Tarqoq oqim EYK vektori $\vec{E}_{\sigma l}$ vektor $\vec{I}_l$ dan 90° orqada chiziladi. Stator aktiv qarshiligidagi kuchlanish pasayishi $\vec{I}_l$ vektorga nisbatan teskari chiziladi (chunki uning ishorasi minus). 0 nuqtani vektor $\vec{I}_l r_l$ uchi bilan tutashtirib, stator chulg'amidagi kuchlanish $\vec{U}_l$ vektorini topamiz.

Shunday qilib, SG ning yuklamasi aktiv-induktiv xarakterda bo'lsa, yakor reaksiyasi mashinaning magnit zanjirini magnitsizlaydi, yuklama aktiv sig'im xarakterda bo'lsa, yakor reaksiyasi mashinaning magnit zanjiriga magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi.

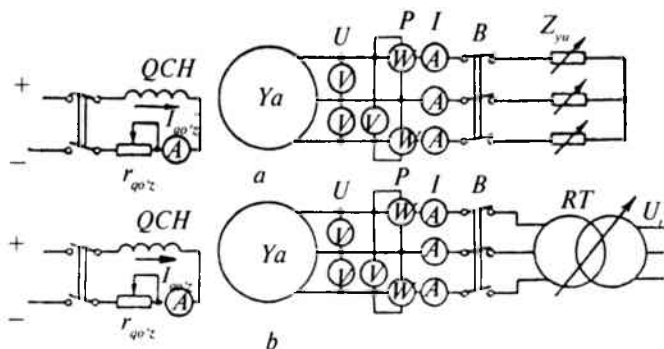
17.4. Avtonom ishlaydigan sinxron generatorning ekspluatatsion xarakteristikalar

SG ning xarakteristikalarini uning ish xossalarini belgilaydi. Bu xarakteristikalarini tajribalar, hisoblash yoki vektor diagrammalar yordamida qurish mumkin.

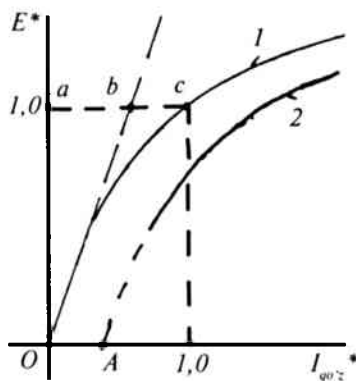
Ayon va noayon qutbli SG lar uchun bu xarakteristikalar bir xildir.

Salt ishlash xarakteristikasi (SIX). Bu xarakteristika stator toki $I_l = 0$ va rotor aylanish chastotasi $n = \text{const}$ bo'lganda generator qismlaridagi kuchlanish yoki EYK E_0 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ bilan qanday bog'langanligini ko'rsatadi, ya'ni $E_0 = f(I_{qo'z})$.

Bu xarakteristika amalda tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Buning uchun 17.7- rasmdagi sxema yig'iladi.



17.7-rasm. Sinxron generator xarakteristikalarini tajriba o'tkazib qurish.



17.8- rasm. Sinxron generatorning salt ishlash(1) va yuklanish(2) xarakteristikalar.

Salt ishlash tajribasini o'tkazish vaqtida stator chulg'amlari ochiq bo'ladi. Bu xarakteristikaning ko'rinishi nisbiy birliklarda 17.8- rasmda ko'rsatilgan. Bu xarakteristika yordamida SG ning magnit zanjiri to'yinish darajasini aniqlash mumkin.

Buning uchun SIX ning to'g'ri chiziq (magnit zanjir to'yinmagan holdagi) qismiga urinma o'tkaziladi va $ac / ab = k_{\mu}$ to'yinish koeffitsiyenti topiladi.

Yuklanish xarakteristikasi yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri natijasida koordinata boshi 0 dan emas, balki A nuqtadan boshlanadi, chunki yakor reaksiyasini kompensatsiya qilish uchun $I_{qo'z, qT}$ qo'zg'atish toki talab qilinadi. Shuning uchun ham bu xarakteristika va SIX ni bitta grafikda chizsak, yuklanish xarakteristikasi pastroqda joylashadi.

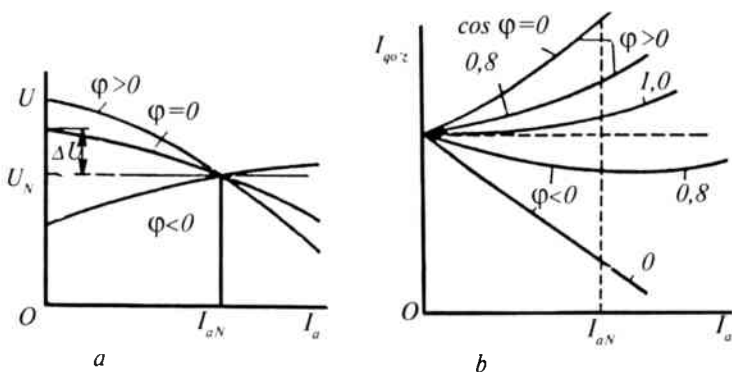
Tashqi xarakteristika. Bu xarakteristika qo'zg'atish toki $I_{qo'z} = \text{const}$, $f = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$ bo'lganda generator qismlaridagi kuchlanishning yuklama toki bilan bog'lanishini ko'rsatadi, ya'ni $U_1 = f(I_1)$.

Bu xarakteristikani qurishda 17.7- rasmdagi sxemadan foydalaniladi va stator chulg'amlariga aktiv, induktiv va sig'im xarakterdagi yuklamalar ulanadi.

SG ning tashqi xarakteristikasi yuklamaning xarakteriga qarab har xil bo'ladi. 17.9- rasmda generatorning bu xarakteristikasi uch xil xarakterli yuklamalarga tegishli $\cos\varphi$ uchun ko'rsatilgan.

Aktiv-induktiv ($\varphi > 0$) yuklamada mashina yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'sirida yakor tokining ortishi bilan chiqish uchlaridagi kuchlanish kamayadi.

Aktiv sig'im ($\varphi < 0$) yuklamada yakor reaksiyasi magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi va tok I_1 ning ortishi bilan kuchlanish ham



17.9- rasm. Sinxron-generatorning tashqi (a) va rostlash (b) xarakteristikalari.

ortadi. Aktiv ($\varphi = 0$) yuklamada ham ko'ndalang yakor reaksiyasi biroz magnitsizlovchi ta'sir ko'rsatadi, shuning uchun tok I_1 ning ortishi natijasida kuchlanish kamayadi.

Rostlash xarakteristikasi. Bu xarakteristika $U = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$ va $f = \text{const}$ bo'lganda, $I_{qo'z} = f(I_1)$ bog'lanishni ifodalaydi. Bu xarakteristikani tekshirishda ham 17.7- rasm, b dagi sxemadan foydalaniladi. 17.9- rasmda SG ning uch xil yuklamaga tegishli $\cos\varphi = \text{const}$ qiymatlari uchun rostlash xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Aktiv-induktiv ($\varphi > 0$) va aktiv ($\varphi = 0$) yuklamalarda yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri tok I_1 ning ortishi bilan oshadi va SG ning chiqish uchlaridagi kuchlanish pasayadi. Shartga ko'ra, $U_1 = \text{const}$ bo'lishi uchun qo'zg'atish tokini oshirish zarur.

Aktiv sig'im ($\varphi < 0$) xarakterli yuklamada yakor reaksiyasi magnitlovchi ta'sir qilishi tufayli kuchlanish ortadi, $U_1 = \text{const}$ bo'lishini ta'minlash uchun esa qo'zg'atish tokini kamaytirish kerak bo'ladi.



Nazorat savollari

1. Sinxron generatorning salt ishlash rejimi to'g'risida nimalarni bilasiz?
2. Yakor reaksiyasi nima?
3. Ayon qutbli sinxron generatorning vektor diagrammasi qanday quriladi?
4. Sinxron generatorni rostlash va tashqi xarakteristikalari qanday quriladi hamda ular nimani ifodalaydi?

18.1. Uch fazali sinxron generatorni elektr tarmog'iga parallel ulash

Har qaysi elektr stansiyalarga bir necha sinxron generator o'rnatilib, ular umumiy energetika sistemasiga ulanadi. Demak, sinxron generatorlar, shuningdek, elektr stansiyalar ham parallel ishlab, energetika sistemasini hosil qiladi. Sistema iste'molchilarni uzluksiz energiya bilan ta'minlash, elektr stansiyalarning quvvatidan to'laroq foydalanish, ta'mirlash ishlarini osonlashtirish imkonini beradi.

SG ni elektr tarmog'iga yoki ishlab turgan generatorlar bilan parallel ulash uchun quyidagi shartlar bajarilishi shart:

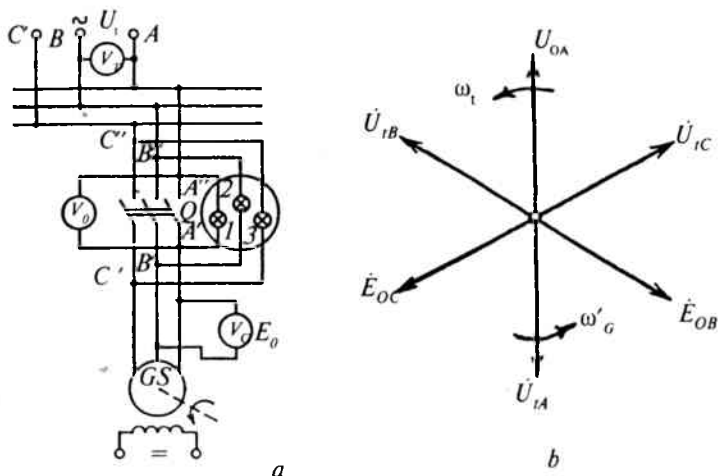
— generatorning EYK E_0 elektr tarmog'ining kuchlanishiga teng ($\vec{E}_0 = \vec{U}_l$) va faza jihatdan 180° ga burilgan, ya'ni teskari yo'nalgan bo'lishi lozim;

— SG ning chastotasi f_G elektr tarmog'ining chastotasi f_l ga teng ($f_G = f_l$) bo'lishi kerak;

— generator va elektr tarmog'ining fazalari bir xil ulanishi kerak.

Sinxron generatorlarni parallel ulash usullari. SG larni parallel ulashning quyidagi usullari mavjud.

Aniq sinxronlash usuli. Bu usulda generatorlarni parallel ulashning uchta talabi aniq bajarilishi shart. Birinchi shartning bajarilishi generator klemmalariga ulangan voltmetr yordamida tekshiriladi. Qolgan ikki shart esa sinxronoskop yordamida tekshiriladi. Eng oddiy sinxronoskop chiroqli sinxronoskopdir. Quyida chiroqli sinxronoskop chiroqlarining o'chish sxemasi bo'yicha SG ni tarmoqqa parallel ulash yo'li bilan tanishamiz. Agar ulagich uzilgan bo'lsa, SG salt ishlash holatida ishlaydi va ulagich klemmalarida EYK $\Delta \vec{U} = \vec{E}_0 + \vec{U}_l$ bo'ladi. Agar parallel ulanadigan generatorning aylanish chastotasi $n = n_N = \text{const}$ bo'lsa, ($f_l = f_G$) bo'lib, $\vec{E}_0$ va $\vec{U}_l$ vektorlar bir xil burchak chastota bilan aylanib, ΔU o'zgarmas bo'lar edi. Amalda esa bu chastotalar orasida biroz farq bo'ladi hamda $\vec{E}_0$ va $\vec{U}_l$ bir-biriga nisbatan $\omega_l - \omega_G = 2\pi \cdot (f_l - f_G)$ burchak chastota bilan aylanadi. Shu tufayli ΔU noldan $2U_l$ gacha va



18.1- rasm. Uch fazali SG ni aniq sinxronlab tarmoqqa parallel ulash:

a — o‘chish sxemasi; b — vektor diagramma. $\dot{U}_{IA}, \dot{U}_{IB}, \dot{U}_{IC}$ — fazadagi kuchlanishlar; $\dot{E}_{OA}, \dot{E}_{OB}, \dot{E}_{OC}$ — fazadagi EYK lar; ω_t, ω'_g — tarmoq va generatorning burchak tezligi.

kuchlanish ham o‘zgarib turadi, ya’ni chiroqlar bir vaqtda yonib-o‘chib turadi. Generatorni tarmoqqa parallel ulashning eng qulay vaqti $\Delta U = 0$ bo‘lgandagi holatdir. Bunda chiroqlar o‘chganda bo‘lib, bu vaqtda $\dot{E}_0$ va $\dot{U}_t$ vektorlar bir-biriga nisbatan teskari fazada bo‘ladi, ya’ni $\dot{E}_0 = -\dot{U}_t$.

Sinxronoskop chiroqlarining o‘chish sxemasida (18.1- rasm, a) $A'-A''$, $B'-B''$ va $C'-C''$ nuqtalar orasi ulangan bo‘lib, har bir juft nuqtalar bir fazani tashkil qiladi. Bu nuqtalar orasidagi kuchlanishlar qiymati nolga teng bo‘lganda va uchala chiroqlar o‘chganda ulagich Q qo‘shiladi. Bunda tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_t$ va EYK $\dot{E}_0$ lar bir-biriga nisbatan teskari fazada joylashgan bo‘ladi (18.1- rasm, b).

Ulagich Q ning ulanish holatini aniq bilish uchun sxemada $A'-A''$ nuqtalar orasiga ham voltmetr ulanadi.

$A'-A''$ nuqtalar orasidagi kuchlanish qiymati nol bo‘lganda bu voltmetrning strelkasi chiroqlar o‘chganda va yonganda sekin tebranadi va nolni ko‘rsatadi. Ana shu vaqtda generator ulanishi lozim.

18.2. Sinxron generatorning burchak va U - simon xarakteristikalari

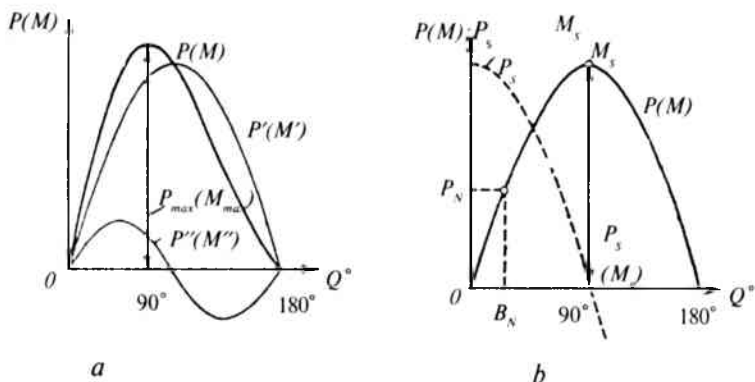
Tarmoq bilan parallel ishlayotgan SG ning aktiv quvvatini o'zgartirish uchun uni harakatga keltirayotgan birlamchi mexanizm (turbina) ga ta'sir etish, ya'ni uning aylanish chastotasini o'zgartirish lozim. Bu o'zgartirish turbinaga kelayotgan suv (GES da) yoki bug' (IES va AES larda) bosimini o'zgartirish yoki o'zgarmas tok motorining qo'zg'atish tokini o'zgartirish, dizel generatorlarda yoqilg'i miqdorini oshirish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Ayon qutbli SG ning tarmoqqa berayotgan aktiv quvvati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_{em} = (mU_1 E_0 / x_d) \cdot \sin \theta + [mU_1^2 / 2 \times (1/x_q - 1/x_d)] \sin 2\theta = P' + P'' \quad (18.1)$$

Bunda $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ va $E_0 = \text{const}$ ($I_q = \text{const}$) bo'ladi; θ — yuklanish burchagi ($\vec{U}_1$ va $\vec{E}_0$ vektorlar orasidagi burchak).

Quvvatning birinchi tashkil etuvchisi (P') kuchlanishga va qo'zg'atish chulg'amining MYK ga bog'liq, ikkinchi tashkil etuvchisi (P'') esa faqat x_d va x_q induktiv qarshiliklarning farqi tufayli hosil bo'ladi. P_N va M_N larning qiymatlariga nominal burchak θ_N to'g'ri keladi. Bu burchak $\theta_N = 20^\circ \div 35^\circ$ oralig'ida bo'ladi. Burchak $\theta = 90^\circ$ bo'lganda, $\sin \theta = 1$ bo'lib, quvvat va moment o'zining maksimal qiymatlariga ega bo'ladi.



18.2- rasm. SG larning burchak xarakteristikalari:

a — ayon qutbli; b — noayon qutbli.

Noayon qutbli sinxron mashinalarda $x_d = x_q$, shu sababli (18.1) da ikkinchi tashkil etuvchi bo'lmaydi. Noayon qutbli SG burchak $0 \div 90^\circ$ oraliqda bo'lganda sinxron rejimda ishlay oladi. $\theta > 90^\circ$ da esa sinxronizmdan chiqib ketadi va avariya yuz beradi.

Sinxron mashinaning elektromagnit momentini topish uchun elektromagnit quvvatni aniqlash formulasini magnit maydonning burchak chastotasi ω_1 ga bo'lish kerak ($\omega_1 = 2\pi n/60 = 2\pi f_1$). $\omega_1 = \text{const}$ bo'lgani uchun $M \equiv P_{em}$ bo'ladi. Shu sababli $P_{em} = f(\theta)$ bog'liqlik boshqa masshtabda $M = f(\theta)$ bog'liqlikni ifodalaydi va ularni SG aktiv quvyatining yoki elektromagnit momentining burchak xarakteristikasi deyiladi.

$$M_{em} = P_{em} / \omega_1 = [mU_1 E_0 / (\omega_1 x_d)] \cdot \sin \theta + [mU_1^2 / 2(1/x_q - 1/x_d)] \cdot \sin 2\theta = M' + M'' \quad (18.2)$$

Noayon qutbli sinxron mashinalar uchun ikkinchi tashkil etuvchi (M'') bo'lmaydi.

Sinxron generatorning sinxronlovchi quvvati va momenti. Generatorga berilayotgan mexanik quvvat va uning elektromagnit quvvati orasidagi muvozanat buzilganda, generatorning sinxron ish rejimini tiklovchi quvvatga *sinxronlovchi quvvat* deyiladi.

Noayon qutbli SG ning sinxronlovchi quvvati P_s quyidagiga teng:

$$P_s = (mU_1 E_0 / x_d) \cdot \cos \theta, \quad (18.3)$$

sinxronlovchi moment esa

$$M_s = [mU_1 E_0 / (\omega_1 x_s)] \cdot \cos \theta. \quad (18.4)$$

$U_1 = U_N$ va $I_{qo'z} = I_{qo'z, N}$ bo'lganda maksimal quvvat $P_{\max}$ ning nominal quvvat P_N ga nisbatiga sinxron mashinaning *o'ta yuklanish qobiliyati* ($k_{o'.yu}$) deyiladi va u quyidagicha yoziladi:

$$k_{o'.yu} = P_{\max} / P_N = M_{\max} / M_N. \quad (18.5)$$

Standart bo'yicha quvvati 160 MW gacha bo'lgan turbogeneratorlar uchun $k_{o'.yu} = 1,7$, quvvati 500 MW gacha bo'lgan turbogeneratorlar uchun $k_{o'.yu} = 1,6$, quvvati 800 MW gacha va undan katta quvvatli turbogeneratorlar uchun $k_{o'.yu} = 1,5$.

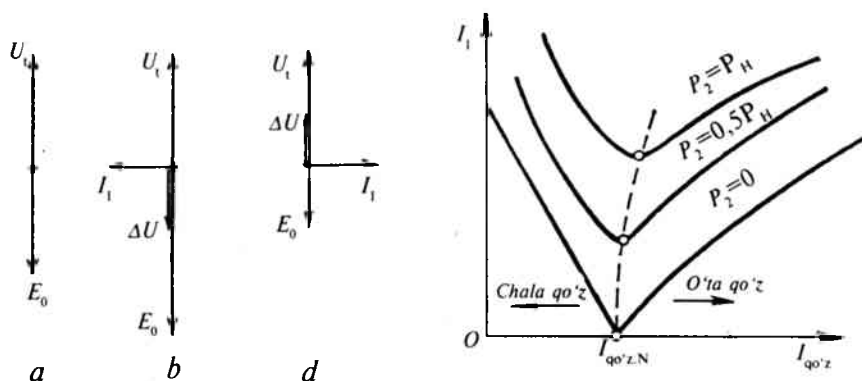
Standart bo'yicha gidrogeneratorlar uchun o'ta yuklanish qobiliyati $k_{o'.yu}$ 1,7 dan kichik bo'lmasligi kerak.

Sinxron generatorning U- simon xarakteristikalar.

Kuchlanish $U_1 = \text{const}$, chastota $f_1 = \text{const}$ va quvvat $P = \text{const}$ bo'lganda stator toki I_1 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liqligini, ya'ni $I_1 = f(I_{qo'z})$ U- simon xarakteristikalar deyiladi. Bunda tarmoq bilan parallel ishlayotgan SG ning reaktiv quvvati qo'zg'atish chulg'amidagi tokni o'zgartirish yo'li bilan o'zgartiriladi. Quyida noayon qutbli SG ning aktiv quvvati $P_2 = 0$ bo'lgandagi tarmoq bilan parallel ishlashini ko'rib chiqamiz.

Generatorni tarmoqqa ulagandan so'ng uning EYK $\vec{E}_0$ tarmoq kuchlanishi $\vec{U}_1$ bilan muvozanatlashadi, ularning yig'indisi esa $\Delta \vec{U} = \vec{E}_0 + \vec{U}_1 = 0$ bo'ladi (18.3- rasm, a). Bunda yakor zanjiridagi tok ham nolga teng bo'ladi. Bundagi qo'zg'atish tokining qiymati $I_{qo'z} = I_{qo'zN}$ deb qabul qilinadi. Agar mashinaning qo'zg'atish toki $I_{qo'zN}$ ga nisbatan oshirilsa (o'ta qo'zg'atilganda), E_0 ham oshadi va $\Delta \vec{U} = \vec{E}_0 + \vec{U}_1 > 0$ bo'ladi. Natijada yakor zanjirida tok I_1 hosil bo'ladi (18.3- rasm, b), bu tokning vektori EYK vektori $\vec{E}_0$ dan 90° ga orqada qoladi. Bunda elektromagnit quvvatning aktiv tashkil etuvchisi $E_0 \cdot I_1 \cos \Psi = 0$ bo'ladi va generator faqat reaktiv quvvat ishlab chiqaradi va uni tarmoqqa beradi.

Agar qo'zg'atish toki nominal qo'zg'atish toki $I_{qo'zN}$ dan kamaytirilganda EYK $\vec{E}_0$ ham kamayadi. Bunda sinxron mashina *chala qo'zg'atishli* rejimda ishlaydi va teskari yo'nalishdagi



18.3- rasm. $P_{cm} P_2 = 0$ bo'lganda, tarmoqqa parallel ulangan noayon qutbli sinxron generatorning sodda vektor diagrammalari va U- simon xarakteristikalar.

kuchlanishlar farqi $\Delta \dot{U}$ vujudga keladi (18.3- rasm,d). Shu sababli, yakor toki $\dot{I}_1$ kuchlanish $\dot{U}_1$ dan 90° ga orqada qolib, EYK $\dot{E}_0$ dan esa $\psi = 90^\circ$ oldinda keladi. Natijada reaktiv quvvat o'zining yo'nalishini o'zgartirib, tarmoqdan generatorga uzatiladi. Qo'zg'atish tokining keyingi kamaytirilgan qiymatlarida esa yakor toki I_1 ortadi.

Shunday qilib, qo'zg'atish tokining o'zgarishi bilan reaktiv quvvat ham o'zgaradi. O'ta qo'zg'atish holatida ishlayotgan generator orqada qoluvchi tok, chala qo'zg'atish holatida esa oldinda keluvchi tok bilan ishlar ekan. Yuklanish rejimida U -simon xarakteristikadagi yakor tokining minimal qiymati $\cos\varphi = 1$ ga to'g'ri keladi. Generatorning tarmoqqa berayotgan aktiv quvvati P_2 ortishi bilan U -simon xarakteristika oldingi aktiv quvvatda olingan mazkur xarakteristikadan yuqoriroqda joylashadi, chunki aktiv quvvatning ortishi stator tokining aktiv tashkil etuvchisini oshiradi. Bunda yakor tokining minimal nuqtalari ($\cos\varphi = 1$) o'ngga tomon siljiydi. Bunga sabab, aktiv quvvatning ortishi bilan stator toki aktiv tashkil etuvchisi I_{1a} ning ortishi statordagi kuchlanish pasayishi $I_{1a} x_{\sigma 1}$ ning ortishiga olib keladi. Tarmoq kuchlanishi $U_1 = \text{const}$ bo'lganligidan yoki oshayotgan kuchlanish pasayishi $I_{1a} x_{\sigma 1}$ ni qoplash uchun qo'zg'atish tokini oshirib EYK $\dot{E}_0$ ni ham ko'paytirishga to'g'ri keladi, chunki

$$\dot{E}_0 = \dot{U}_1 + j\dot{I}_{1a} \cdot x_{\sigma 1}.$$

19.1. Sinxron motorning ishlash prinsipi va uni ishga tushirish usullari

Sinxron motorning tuzilishi sinxron generatorki kabi.

Sinxron mashina motor rejimida ishlashi uchun uning stator chulg'amlariga uch fazali o'zgaruvchan tok, qo'zg'atish chulg'amiga esa o'zgarmas tok beriladi. Stator chulg'amidagi tok vujudga keltirgan MYK aylanma magnit maydonni hosil qiladi. Bu maydon qo'zg'atish chulg'amidagi tok bilan ta'sirlashib aylantiruvchi momentni hosil qilib, motorning rotori aylanadi.

Noayon qutbli sinxron motorning EYK muvozanat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$-\dot{U}_t = \dot{E}_0 - j\dot{I}_t x_{\sigma l} - \dot{I}_t r_t. \quad (19.1)$$

Ayon qutbli sinxron motor uchun

$$-\dot{U}_t = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d \cdot x_d - j\dot{I}_q \cdot x_q - \dot{I}_t r_t. \quad (19.2)$$

Sinxron motorlar asinxron motorlarga nisbatan quyidagi *afzalliklarga* ega.

Sinxron motor $\cos\varphi = 1$ da ishlaganda tarmoqning quvvat koeffitsiyenti yaxshilanadi, motorning o'lchamlari kichiklashadi. Sinxron motorning toki shunday quvvatli asinxron motornikiga nisbatan kam bo'lgani uchun motorning o'lchamlarini qisqartirish imkoni tug'iladi. Sinxron motor maksimal momenti kuchlanishga to'g'ri mutanosib bo'lgani tufayli mazkur motorga kuchlanishning amaldagi me'yoriy o'zgarishi ta'sir qilmaydi. Valdagi yuklamaning qanday bo'lishidan qat'iy nazar, sinxron motorning aylanish chastotasi o'zgarmasdir.

Shu bilan birga sinxron motorlar quyidagi *kamchiliklarga* ham ega: ishga tushirish va aylanish chastotasini rostlash hamda konstruksiyasi ancha murakkab; qo'zg'atish chulg'ami uchun o'zgarmas tok manbayi talab etiladi; asinxron motorga nisbatan narxi qimmat; cho'tka-halqa qismining mavjudligi tufayli ishonchliligi nisbatan past.

Sinxron motorda elektromagnit moment stator va rotor magnit maydonlari ta'sirlashishi natijasida hosil bo'ladi.

Stator chulg'ami bevosita tarmoqqa ulanganda motor ishga tushib keta olmaydi, chunki qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok berilib, rotori qo'zg'almas bo'lganda, stator magnit maydoni-

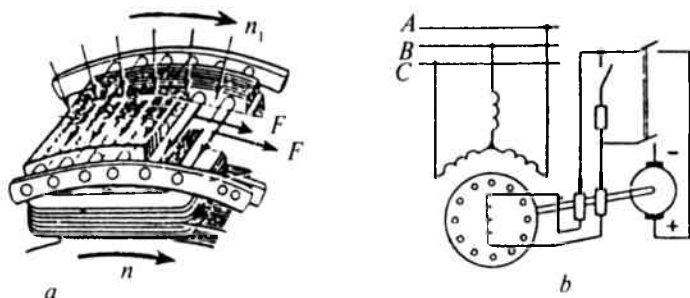
ning qutblari yarim davrda rotorning bir xil qutblari bilan, davrning qolgan yarmida rotorning boshqa qutblari bilan ta'sirlashadi. Oqibatda moment ishorasi o'zgaradi va rotorning mexanik inersiyasi hisobiga, moment rotorni yarim davrda aylantirib yubora olmaydi. Sinxron motorni ishga tushirishning bir qancha usullari mavjud bo'lib, ulardan yordamchi motor vositasida, tok chastotasini o'zgartirish yo'li bilan va asinxron usulda ishga tushirish usullari keng qo'llaniladi

Yordamchi motor vositasida ishga tushirish. Dastlab sinxron motorning rotori $n \approx n_N$ ga yaqin aylanish chastotasi bilan yordamchi motor vositasida aylantiriladi. Bunda qo'zg'atish chulg'ami o'zgarmas tok manbayiga ulangan, stator chulg'ami esa ochiq bo'lib, sinxron motor salt ishlayotgan generator rejimida ishlaydi. So'ngra generator, parallel ulash shartlari bajarilgan holda, tarmoqqa parallel ulanadi. Shundan so'ng yordamchi motor ajratiladi va sinxron generator motor rejimiga o'tadi. Yordamchi motorning quvvati, odatda, sinxron motor quvvatining $10 \div 20\%$ ni tashkil etadi.

Chastota o'zgartgich qurilmasi bo'lganda tok chastotasini o'zgartirish yo'li bilan ishga tushiriladi. Bunda kuchlanish chastotasi noldan nominal qiymatgacha oshirib boriladi, natijada stator magnit maydonining aylanish chastotasi ham oshib boradi, rotor esa aylanuvchi magnit maydon yo'nalishi bo'yicha nominal chastota bilan aylanadi.

Asinxron usulda ishga tushirish. Sinxron motorni bu usulda ishga tushirish uchun rotor qutblari uchliklarida ishga tushirish chulg'ami o'rnatilgan bo'lishi lozim. Bu chulg'am asinxron motorning qisqa tutashgan chulg'amiga o'xshash.

Sinxron motorni asinxron usulda ishga tushirish sxemasi 19.1-rasmda keltirilgan.



19.1-rasm. Sinxron motorni asinxron usulda ishga tushirish:

a — ishga tushirish chulg'ami; *b* — sxemasi.

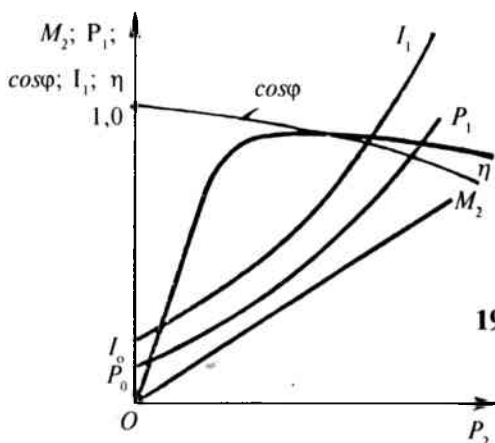
Stator chulg'ami uch fazali tok manbayiga ulanganda statorda aylanma magnit maydon hosil bo'ladi. Bu maydon rotordagi ishga tushirish (qisqa tutashgan) chulg'amini kesib o'tib, unda EYK va tok hosil qiladi. Ishga tushirish chulg'amidagi tok aylanma magnit maydon bilan ta'sirlashib, aylanma moment M ni hosil qiladi. Agar $M > M_1$ bo'lsa, rotor aylana boshlaydi, rotorning aylanish chastotasi stator aylanma magnit maydonining sinxron aylanish chastotasiga yaqinlashganda ($n \approx 0,95 \cdot n_1$) qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarimas tok beriladi. Bu tok sinxronlovchi momentni hosil qiladi. Shu moment ta'sirida motor sinxron aylanish chastotasi bilan ishlay boshlaydi. Ishga tushirish vaqtida qo'zg'atish chulg'amini ochiq qoldirib bo'lmaydi, chunki stator magnit maydoni o'ramlar soni ko'p bo'lgan qo'zg'atish chulg'amida katta qiymatli EYK hosil qiladi. Bu EYK chulg'am izolatsiyasi uchun juda xavfli bo'lgani uchun sinxron motorni ishga tushirish jarayonida uning qo'zg'atish chulg'ami o'z qarshiligidan taxminan 10 marta katta bo'lgan aktiv qarshilikka ulangan bo'lishi lozim.

Qo'zg'atish chulg'amini qisqa tutashtirish ham mumkin emas, chunki bunda u nosimmetrik bo'lgan bir fazali konturni hosil qiladi. Bu kontur qo'shimcha momentni hosil qilib, sinxron motorning mexanik xarakteristikasida aylanish chastotasining $n = n_s / 2$ ga yaqin qiymatida aylantiruvchi momentning kamayishiga olib keladi. Oqibatda rotor aylanish chastotasi sinxron qiymatigacha yeta olmasligi ham mumkin.

Agar sinxron motor ulanadigan tarmoqning quvvati kamroq bo'lsa, motor asinxron usulda ishga tushirilganda, ishga tushirish tokining ta'siridan tarmoqda juda katta kuchlanish pasayishi hosil bo'ladi. Bunda ishga tushirish tokini kamaytirish uchun sinxron motor tarmoqqa avtotransformator, reaktor yoki tokni cheklaydigan boshqa qurilmalar yordamida ulanadi.

19.2. Sinxron motor xarakteristikalari

Ish xarakteristikalari. $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ va $I_{\text{qo'z}} = \text{const}$ bo'lganda sinxron motor validagi foydali moment M_2 , elektr tarmog'idan iste'mol qiladigan quvvati P_1 , stator chulg'amining toki I_1 , FIK η va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$ ning motor validagi foydali quvvatga bog'liq holda o'zgarishini, ya'ni M_2 , P_1 , I_1 , η , $\cos\varphi = f(P_2)$ bog'liqlikni ifodalaydi. Bu xarakteristikalar valdagi yuklamani noldan nominalgacha o'zgartirib tekshiriladi (19.2- rasm).



19.2- rasm. Sinxron motorning ish xarakteristikallari.

Motorning aylanish chastotasi n stator chulg'amidagi tok chastotasi o'zgarmas bo'lganda yuklamaning me'yoriy qiymatlarida $P_n = n_1 = 60f/p = \text{const}$ bo'ladi. $P_1 = P_2 + \Sigma P'$ bo'lgani uchun, yuklamaning oshishi bilan mashinaning elektr isroflari ham oshganligi tufayli $P_1 = f(P_2)$ bog'lanish yuqoriga biroz egilgan bo'ladi. $I_1 = f(P_2)$ bog'lanish P_1 ning oshishi bilan o'sadi, chunki $I_1 = P_1 / (m \cdot U_1 \cos\varphi)$ ifodaning maxrajida m va U_1 lar o'zgarmas, $\cos\varphi$ esa kam o'zgaradi.

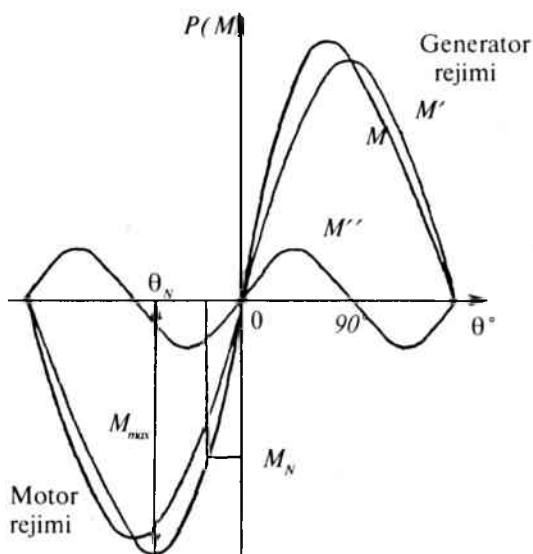
FIK ning yuklamaga nisbatan o'zgarishi $\eta = f(P_2)$ hamma elektr mashinalari uchun umumiy xarakterga ega.

Sinxron motor salt ishlaganda $\cos\varphi = 1$ bo'lsa, yuklamaning oshishi bilan stator chulg'amidagi tok, shuningdek, tarqoq induktivlik ham osha boradi. Bu tok reaktiv tashkil etuvchisining oshishiga, $\cos\varphi$ ning esa biroz kamayishiga olib keladi.

Burchak va U- simon xarakteristikalar. Sinxron motor elektr tarmog'idan elektr quvvat P_1 ni iste'mol qiladi. Bu quvvatning bir qismi statorda yakor chulg'amidagi elektr isroflari P'_{el} ni va stator po'lat o'zagidagi isroflar P'_{m1} ni qoplashga sarflanadi.

Elektr quvvati P_1 ning qolgan qismi magnit maydon vositasida rotorga uzatiladi. Bu quvvatga elektromagnit quvvat P_{em} deyiladi; uning bir qismi mexanik P'_{mex} va qo'shimcha $P'_{qo'sh}$ isroflarga sarflanadi, qolgan qismi esa val orqali mexanizmga beriladigan foydali quvvat P_2 deyiladi.

Agar $P_1 = P_{em} = P$ deb qabul qilinsa, ayon qutbli sinxron motor uchun elektromagnit quvvatni aniqlash formulasi SG niki



19.3- rasm. Ayon qutbli sinxron mashinaning burchak xarakteristikasi:

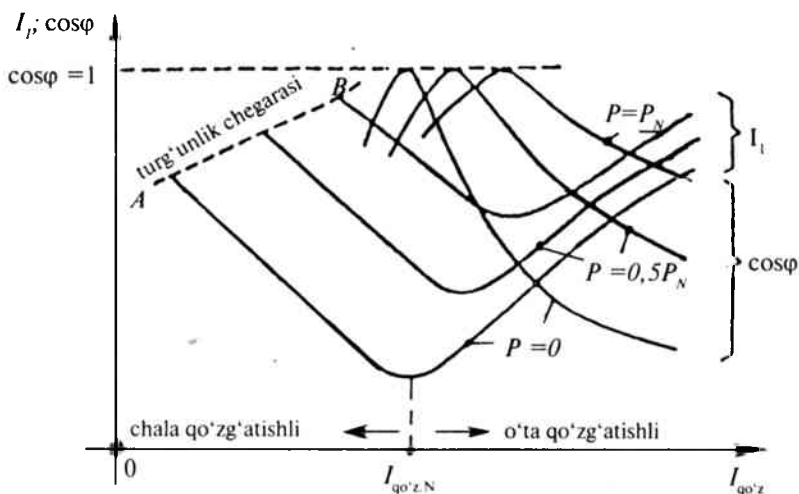
M — moment; M' , M'' — tegishlicha asosiy va reaktiv momentlar; M_N — nominal moment; θ_N — nominal yuklanish burchagi; $M_{\max}$ — maksimal moment.

bilan (18.1) bir xil bo'ladi. Biroq sinxron motor quvvatni tarmoqdan oladi, ya'ni uning yo'nalishi teskari bo'ladi. Shuningdek, elektromagnit moment ham (18.2) formula bilan aniqlanadi.

Sinxron motorda elektromagnit moment stator magnit maydoni yo'nalishiga mos bo'lsa, sinxron generatorda u momentning yo'nalishi stator magnit maydoni yo'nalishiga teskari bo'ladi. Ayon qutbli sinxron motorda qo'zg'atish toki $I_{qo'z} = 0$ bo'lganda ($E_0 = 0$) ham momentning reaktiv tashkil etuvchisi M'' hisobiga elektromagnit moment mavjud bo'ladi. Shuni eslatish lozimki, 19.3- rasmda yuklanish burchagi θ ning ishorasi manfiy bo'ladi, chunki musbat ishora generator rejimi uchun qabul qilingan.

19.3- rasmda $U_i = \text{const}$, $f_i = \text{const}$ va $I_{qo'z} = \text{const}$ bo'lganda $P, M = f(\theta)$ bog'liqlik, ya'ni burchak xarakteristikasi ayon qutbli sinxron motorlar uchun ko'rsatilgan.

$I = f(I_{qo'z})$, ya'ni yakor toki I_1 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liqligini ko'rsatuvchi egri chiziq motorning U — *simon xarakteristikasi* deyiladi, bunda chastota $f_1 = \text{const}$ bo'lganda



19.4- rasm. Sinxron motorning U - simon xarakteristikalari.

tarmoq kuchlanishi $U_t = U_N = \text{const}$ va valdagi quvvat $-P_2 P = \text{const}$ bo'lishi kerak (19.3- rasm).

Sinxron motorning U — simon xarakteristikalarida (19.4- rasm) AB chiziqli turg'un ishlash chegarasi hisoblanadi, bunda yuklanish burchagi $\theta = \theta_{kr}$ bo'ladi. I xarakteristikaning $I_{qo'z.N}$ dan chap tomoni chala qo'zg'atishli bo'lib, bunda mashina magnit-sizlovchi tok $I_1 = U/x_d$ ni qabul qiladi (x_d — bo'ylama o'q bo'yicha induktiv qarshilik).

Qo'zg'atish tokining $I_{qo'z.N}$ dan chap tomoni *chala qo'zg'atish* ($E_0 < U_t$) va o'ng tomoni esa *o'ta qo'zg'atish* ($E_0 > U_t$) hisoblanadi. Yakor tokining minimum nuqtalarida $\cos\varphi$ ning qiymatlari birga teng ($\cos\varphi = 1$) bo'ladi. $\cos\varphi = f(I_{qo'z})$ bog'lanish ham 19.4- rasmda ko'rsatilgan. U — simon xarakteristikaning foydali quvvati $P_2 = \text{const}$ ortishi bilan yuqoriga va o'ng tomonga siljishi, generatorning U - simon xarakteristikasidagi kabi tahlil qilinadi. Sinxron motor $P_2 \approx 0$ da salt ishlash isroflarini qoplash uchun tarmoqdan aktiv quvvat olganligi sababli $I_{\min} = 0$ bo'lmaydi, SG da bu isroflarni birlamchi motor qoplaydi, shu sababli $I_{\min} = 0$ bo'ladi.

19.3. Sinxron kompensator

Sinxron kompensatorlar maxsus sinxron mashinalar bo'lib, ular asosan, asinxron motorlar va transformatorlar tarmoqdan oladigan reaktiv quvvatni kompensatsiyalash uchun xizmat qiladi. Valida mexanik yuklamasi bo'lmagan, salt ishlayotgan sinxron motor *sinxron kompensator* deyiladi. Uning qo'zg'atish toki nominal qiymatdan katta bo'lganda elektr tarmog'iga reaktiv tok beradi va elektr tarmog'ining quvvat koeffitsiyentini oshiradi. Elektr energiyasi uzoq masofaga uzatilganda elektr uzatish liniyasida induktiv yuklama katta bo'lganligi uchun liniya oxirida kuchlanish ancha pasayadi, yuklama kamayganda esa liniyaning sig'im qarshiligi ta'sirida kuchlanish nominal qiymatdan ancha katta bo'ladi. Liniyaning yuklamasi katta bo'lganda, sinxron kompensator kattaroq qo'zg'atish toki, yuklama kamayganda esa kichikroq qo'zg'atish toki bilan ishlab, kuchlanishning tarmoq oxirida bir xil bo'lishini ta'minlaydi. Bunda qo'zg'atish toki avtomatik tarzda rostlab turiladi. Shunday qilib, sinxron kompensatorlar kuchlanish o'zgarmasdan bir xilda saqlanishini ta'minlash uchun ham xizmat qiladi. Bunda tarmoqdan o'tuvchi reaktiv tok kamayadi, bu esa o'z navbatida liniyadagi quvvat isrofini kamaytiradi.

Sinxron kompensator induktiv (keyinda qoluvchi) tokining eng katta qiymati qo'zg'atish toki nolga teng bo'lgandagi qiymatga to'g'ri keladi, sig'im (oldinda keluvchi) tokning me'yoriy qiymati esa kompensator aktiv qismlarining qizishi bilan chegaralanadi. Odatda, oldinda keluvchi tokning keyinda keluvchi tokka nisbati $1,5 \div 2$ bo'ladi. Kompensatorning quvvati eng katta oldinda keluvchi tok bilan aniqlanadi. Sinxron kompensatorlarda yuklanish burchagi nolga yaqin, rotorlari ayon qutbli, aylanish chastotasi esa $750 \div 1000$ ayl/min bo'ladi.

Sinxron kompensatorlarda ham sinxron motorlarga o'xshagan ishga tushirish chulg'ami bo'lib, bu chulg'am qutblar uchligi pazlarida joylashadi va asinxron usulda ishga tushiriladi. Yuklama momenti nolga teng bo'lgani uchun sinxron kompensatorlar ancha oson ishga tushiriladi.

Sinxron kompensator ishlab chiqaradigan reaktiv quvvat qiymati qo'zg'atish tokiga bog'liq. O'ta qo'zg'atish rejimida ishlayotgan kompensator tarmoq kuchlanishidan oldinda keluvchi tok bilan ishlab, tarmoqqa reaktiv quvvat beradi. Chala qo'zg'atish rejimida esa tarmoq kuchlanishidan orqada qoluvchi tok bilan ishlab,

tarmoqdan reaktiv quvvatni oladi. Liniyaning quvvat koeffitsiyenti $\cos\phi$ ni oshirish uchun sinxron kompensator o'ta qo'zg'atish rejimida ishlashi kerak.

Sinxron kompensatorning quvvati katta bo'lsa, tarmoq kuchlanishining tebranishi $0,5 \div 1\%$ atrofida bo'ladi.

Sinxron kompensatorning konstruksiyasi sinxron motornikidan biroz farq qiladi. Unda valning chiqib turadigan uchi bo'lmaydi, chunki sinxron kompensator hech qanday mexanizmni harakatga keltirmaydi. Shu sababli kompensator valining diametri kichik bo'ladi.

Sinxron kompensatorlar, asosan, ayon qutbli mashina bo'lib, quvvati 2,8 MV·A dan 160 MV·A gacha, aylanish chastotasi esa 750 ayl/min yoki 1000 ayl/min bo'ladi. Ta'kidlash lozimki, so'nggi vaqtlarda MDH mamlakatlarida (Rossiya, Ukraina) rotorining konstruksiyasi noayon qutbli sinxron mashina (turbogenerator) asosida quvvati 320 MV · A bo'lgan bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli kompensatorlar ishlab chiqarilmoqda.

Amalda sinxron mashinalarni ishlatish jarayonida ularda **buzuqliklar** uchraydi. Bu buzqliklarni o'z vaqtida aniqlab, ularning oldini olish har bir mutaxassisdan katta malaka talab qiladi. Quyidagi jadvalda sinxron mashinalarni ishlatishda tez-tez sodir bo'lib turadigan buzqliklar va ularni bartaraf qilish yo'llari keltirilgan.

Sinxron mashinalarda uchraydigan buzqliklar

Buzuqlik turlari	Sababi	Bartaraf qilish yo'llari
1	2	3
Normal yuklamada stator po'lat o'zagi qiziydi	Generator normal kuchlanishdan katta kuchlanish bilan ishlaydi Generator past chastota bilan aylanmoqda (birlamchi motorning chastotasi pasaygan)	Kuchlanish rostlagichi yordamida kuchlanish pasaytirilsin Birlamchi motorning chastotasi oshirilsin

Qo'zg'atish chulg'ami qiziydi	Generator katta kuchlanish va past chastota bilan aylanmoqda Generator past quvvat ko'effitsiyenti, ya'ni katta reaktiv quvvat bilan ishlagani uchun, qo'zg'atish toki katta	Kuchlanish qiymati yoki birlamchi motorning aylanish chastotasi rostlansin Generatordan energiya olayotgan motorning yuklamasi oshirilsin va motorning salt ishlashiga yo'l qo'yilmasin, ya'ni quvvat ko'effitsiyenti oshirilsin
Generator salt ishlaganda kuchlanish bo'lmaydi.	Qo'zg'atgich kuchlanish bermayapti. Qo'zg'atgich bo'lmaganda esa boshqa qo'zg'atish qurilmalaridan biri ishdan chiqqan	Qo'zg'atgich yoki boshqa qo'zg'atish qurilmasi tuzatilsin
Qo'zg'atgich kuchlanish bermayapti qo'zg'atish zanjirida tok yo'q	Qo'zg'atish zanjiridagi kontaktlar yaxshi tegmagan yoki zanjir uzilgan	Qo'zg'atish zanjirining butunligi tekshirilsin, buzqlik tuzatilsin
Generatorning salt ishlash holatida bitta fazada kuchlanish yo'q	Stator chulg'ami yulduz usulida ulangan bo'lsa, bitta faza uzilgan yoki uchburchak usulida ulangan bo'lsa, ikkita fazaviy chulg'am ulangan joyda kontakt yo'q	Chulg'amlarning ulanish joylari tekshiriladi, nosozlikka barham beriladi
Sinxron motor rotor tebranmaganda stator zanjiriga ulangan ampermetr va vattmetr strelkalari ham tebranmaydi, lekin motor sinxronizmdan chiqib ketadi	Yuklama juda tez o'zgaradi Tebranish birlamchi mexanizmdan uzatiladi Tok chastotasi va kuchlanish katta chegarada o'zgaradi	Qo'zg'atish toki oshirilsin Qo'zg'atish chulg'amiga maksimal kuchlanish berilsin



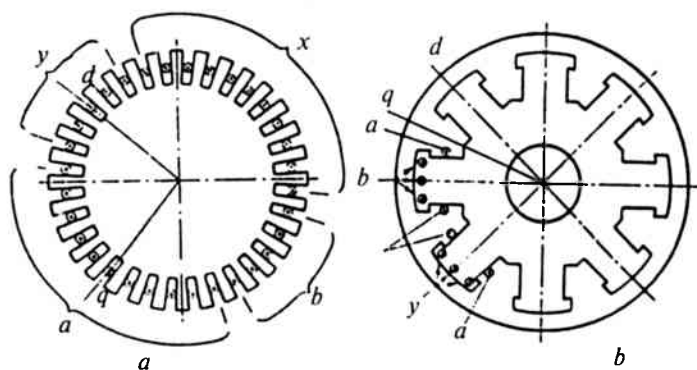
Nazorat savollari

1. Sinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi haqida nimalarni bilasiz?
 2. Sinxron motorning vektor diagrammasini chizing.
 3. Sinxron motorni ishga tushirishning qanday usullarini bilasiz?
 4. Sinxron motorning ish xarakteristikalarini nimalarni ifodalaydi?
 5. Sinxron motorning burchak va U - simon xarakteristikalarini nimalarni ifodalaydi?
 6. Sinxron kompensatorning elektr sistemasi ta'minotidagi ahamiyati nimalardan iborat?
-

20.1. Bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli va asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar

Bo'ylama - ko'ndalang qo'zg'atishli sinxron mashinalar statorining tuzilishi an'anaviy sinxron mashinalarnikidan farq qilmaydi. Sinxron mashina rotoridagi tinchlantiruvchi (generator) yoki ishga tushirish chulg'ami (motor) o'rniga ikki yoki m fazali qo'zg'atish chulg'ami o'rnatiladi. Quyida ikki fazali chulg'ami bo'lgan noayon va ayon qutbli rotorning tuzilishini ko'rib o'tamiz (20.1- rasm). Bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinaning rotori noayon qutbli bo'lsa, simmetrik ikki fazali qo'zg'atish chulg'ami rotor pazlariga xuddi yakor chulg'ami yoki faza rotorli asinxron motorning rotor chulg'ami kabi o'ralgan bo'ladi. Agar ikki chulg'am ax va by lar har xil, ya'ni nosimmetrik bo'lsa, ular har xil hajmni egallaydi. 20.1-rasmda ax chulg'am umumiy pazlarning $3/4$ qismini, by chulg'am esa $1/4$ qismini egallagan bir qatlamli noayon qutbli rotorning chulg'amlari ko'rsatilgan.

Noayon qutbli bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli sinxron mashinalarda bo'ylama o'q ax qo'zg'atish chulg'aminin o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'lib, uning musbat yo'nalishi ax chulg'aminin magnit oqimi bilan bir xilda yo'nalgan bo'ladi. Ko'ndalang



20.1- rasm. Qo'zg'atish chulg'amlari ax va by har xil bo'lgan noayon qutbli rotor (a) va dempfer chulg'ami o'rniga ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami o'rnatilgan ayon qutbli rotor (b).

o'q q esa by qo'zg'atish chulg'ami o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Shu sababli ax qo'zg'atish chulg'amini — *bo'ylama*, by qo'zg'atish chulg'amini esa *ko'ndalang qo'zg'atish chulg'amlari* deyiladi.

Bo'ylama-ko'ndalang o'qlar bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinaning rotorini ayon qutbli bo'lsa, u holda qo'zg'atish chulg'amlari ax va by larni bir xil, ya'ni simmetrik qilish mumkin emas. Asosiy bo'ylama qo'zg'atish chulg'ami ax xuddi oddiy sinxron mashinalardagi qo'zg'atish chulg'ami kabi (20.1 -rasm, b), qo'shimcha ko'ndalang chulg'ami by esa dempferlovchi chulg'am o'rnida joylashtiriladi va bu chulg'amning MYK asosiy chulg'am MYK ning $20 \div 30$ % ni tashkil etishi mumkin.

Bunday sinxron mashinalarning ishlash prinsipi an'anaviy sinxron mashinaniqidan farq qilmaydi, faqatgina o'tish jarayonlarida ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami by ishga tushiriladi. Ikkala qo'zg'atish chulg'amiga ham o'zgarma tok manbayidan kuchlanish beriladi. Bu mashinalar motor, generator, sinxron kompensator rejimlarida ishlashi mumkin. Bo'ylama-ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinalarning ekspluatatsion xarakteristikalarini an'anaviy sinxron mashinalarni qidan afzaldir, chunki yakor reaksiyasining ta'siri ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami MYK tomonidan kompensatsiyalanadi. Shunday qilib, qo'shimcha ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami mashinaning statik va dinamik turg'unligini oshirib, mashinani boshqarish yaxshilanadi. Hozirgi vaqtda Ukrainada Rossiya bilan hamkorlikda quvvati 320 MV·A bo'lgan bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli noayon qutbli sinxron kompensatorlar ishlab chiqarilmoqda.

Asinxronlashtirilgan sinxron mashinalarda bir-biriga perpendikular bo'lgan ikkita qo'zg'atish chulg'ami bo'lib, ularga ikki fazali o'zgaruvchan kam chastotali kuchlanish manbayi ulansa, bu chulg'amlardan sinusoidal toklar o'tib aylanma magnit maydonini hosil qiladi. Bu maydon rotorga nisbatan kam sirpanish bilan aylanadi. Shu sababli, bunday mashinalar *asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar* deyiladi.

Bunday mashinalarning tuzilishi va ishlash prinsipi bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli sinxron mashinalarniki kabi bo'ladi, ammo qo'zg'atish chulg'amlariga kam chastotali sinusoidal tok beriladi. Bu mashinalar ham motor, generator, sinxron kompensator rejimlarida ishlashi mumkin.

Asinxronlashtirilgan sinxron mashinalarning xarakteristikalarini (sinxron ish rejimida) va ko'ndalang qo'zg'atish chulg'amining

roli ham xuddi bo'ylama - ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan mashinalarniki kabi.

Hozirgi vaqtda Ukrainaning Burshtinsk IES da ikkita 200 MW li asinxronlashtirilgan turbogeneratorlar ishlab turibdi, shuningdek, quvvati 800 MW bo'lgan asinxronlashtirilgan turbogeneratorlarning loyihasi ustida ishlar olib borilmoqda.

20.2. O'ta o'tkazuvchan chulg'amli sinxron mashinalar

Hozirgi vaqtda qo'zg'atish chulg'amlari o'ta o'tkazuvchan materiallardan tayyorlangan sinxron mashinalarga bo'lgan qiziqish tobora ortib bormoqda. Ayrim metallar yoki qotishmalarining $0,14 \div 9$ K temperaturada o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi tufayli aktiv qarshilik nolga teng bo'ladi. Bunda ma'lum bir kritik temperatura, kritik magnit induksiya, kritik tok zichligi saqlanadi.

Hozirgi vaqtda ayrim sohalarida niobiy va titan yoki niobiy va qalay qotishmalaridan o'ta o'tkazuvchan materiallardan foydalanilmoqda. Bunday o'tkazuvchan materiallar uchun kritik temperaturaning qiymati ($4,2 \div 5$ K), kritik tok zichligi 1000 A/mm^2 , kritik magnit induksiya ($4 \div 7$ T) ga teng.

Elektr mashinalar chulg'amlarini o'ta o'tkazuvchan materiallardan ishlanishi, kichik kesimli yuzadan juda katta tok oqib o'tib, kuchli magnit maydon hosil qilishga va chulg'am massasini kamaytirishga imkon beradi.

O'ta o'tkazuvchan materiallar, asosan, o'zgarmas tok manbayiga ulanadigan mashinalarning qo'zg'atish chulg'amlari o'rnida ishlatiladi.

Ularni o'zgaruvchan tok oqadigan chulg'amlar o'rnida ishlatish texnik jihatdan mumkinligi haqida erishilgan yutuqlar tadqiqotchilar tomonidan so'nggi yillarda erishilgan katta muvaffaqiyatdir.

Hozirgi vaqtda sinxron va o'zgarmas tok mashinalari qo'zg'atish chulg'amlari uchun ishlatiladigan o'ta o'tkazuvchan materiallarning yangi, yuqori temperaturali turlarini yaratish ustida ishlar olib borilmoqda.

Qo'zg'atish chulg'ami o'ta o'tkazuvchan materialdan tayyorlangan bo'lsa, kritik temperaturada tutib turish uchun bu materialni maxsus sovitish qurilmasi ichiga solish kerak. Bunday sovitish qurilmasi *kriostat*- deyiladi. Dyuar kriostatiga qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilib, suyuq geliy bilan sovutib turiladi. Issiqlikni

kamaytirish maqsadida, bu idish azot bilan to'ldirilgan boshqa idish ichiga o'rnatiladi. Sinxron mashinalarda kriostat rotorda, o'zgaras tok mashinalarida esa statorda joylashtiriladi.

O'ta o'tkazuvchan materialdan tayorlangan chulg'amda kuchli magnit maydon hosil bo'lgani uchun, magnit o'tkazgichdan foydalanilsa, magnit isroflar ancha ko'payib ketadi va yakor chulg'ami joylashtirilgan muhit pazzis yoki nomagnit materialdan yasaladi, natijada mashinaning og'irligi kamayib, o'lchamlari kichiklashadi.

Po'lat o'zak bo'lmaganda mashinaning xarakteristikalariga yakor reaksiyasining ta'siri sezilarli bo'ladi. Oddiy mashinalarga qaraganda o'ta o'tkazuvchan chulg'amli mashinalarda havo oralig'ida magnit induksiya qiymatini $3 \div 4$ marta, chiziqli yuklamani esa $1 \div 2$ marta oshirish mumkin bo'ladi, natijada mashinaning aktiv hajmi $4,5 \div 8$ martagacha kichiklashadi.

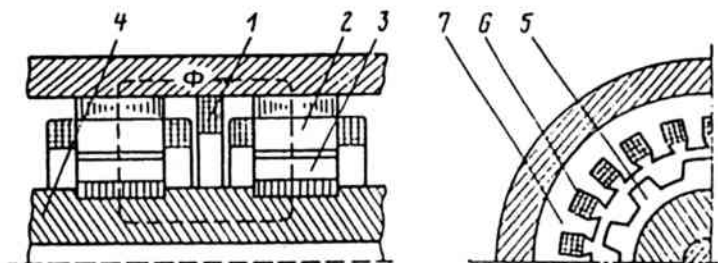
Elektr mashinalarida o'ta o'tkazuvchan materiallardan tashqari gipero'tkazuvchan materiallarni ham qo'llash ustida izlanishlar olib borilmoqda. Juda kuchli sovitilganda o'zining qarshiligini kamaytiradigan materialga *gipero'tkazuvchan material* deyiladi. Gipero'tkazuvchan materialga tozalangan aluminiy misol bo'la oladi. Aluminiy 20 K temperaturada o'zining qarshiligini 10^4 marta kamaytiradi. Gipero'tkazuvchan materiallarni transformatorlar chulg'amlarini tayyorlashda ishlatish ham mumkin.

20.3. Induktorli generatorlar

Induktorli generatorlar katta chastotali ($f > 400\text{Hz}$) EYK hosil qilish uchun ishlatiladi. Yuqori chastotali induksion qizdirish, predmetlarning yuzasiga ishlov berishda, yuqori aylanish chastotali elektr yuritmalari va boshqalarda ishlatiladi. Induktorli generatorlar katta quvvatli sinxron generatorlar uchun qo'zg'atgich bo'lib xizmat qiladi.

Induktorli generatorning statori alohida po'lat plastinalardan yig'iladi. Stator po'lat o'zagi pazlariga chulg'amlar joylashtiriladi. Rotor po'lat o'zagi alohida-alohida plastinalardan yig'ilib, uning pazlariga hech qanday chulg'am o'rnatilmaydi, shuning uchun ham induktorli generatorlar kontaktsiz hisoblanadi.

Statorda yakor chulg'ami va qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilib, yakor chulg'ami stator po'lat o'zagi tishlariga o'raladi. Qo'zg'atish chulg'ami esa har xil joylashishi mumkin. Qo'zg'atish chulg'a-mining joylashishiga qarab, induktorli generatorlar bir xil qutbli va har xil qutbli turlarga bo'linadi. Bir xil qutbli generatorlarda qo'zg'atish chulg'ami halqa shaklidagi g'altakdan iborat bo'lib, mashina valini o'rab turadi (20.2- rasm).



20.2- rasm. Qutblari bir xil ishoralı induktorlı generator:

1 — qo'zg'atish chulg'ami; 2 — stator paketi; 3 — rotor paketi; 4 — rotor yarmosi; 5 — rotor tishi; 6 — yakor chulg'amining g'altagi; 7 — stator tishi.

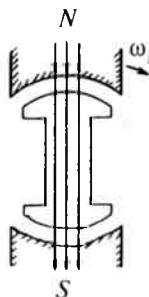
Bunday generatorlarning stator va rotor paketlari mashina aylanasi ko'ndalang kesimi bo'yicha qo'zg'atish magnit oqimi bilan magnitlanadi. Rotor bir qutbli magnit maydonida aylanganda magnitlanmaydi hamda rotorda magnit isroflar hosil bo'lmaydi.

20.4. Avtomatika qurilmalarida ishlatiladigan sinxron motorlarning ayrim turlari

Reaktiv sinxron motorlar rotorining bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha magnit o'tkazuvchanligi har xil bo'ladigan konstruksiyaga ega bo'lishi kerak. Bunday motorning qutblarida qo'zg'atish chulg'ami bo'lmaydi. Mashina normal ishlaganda asosiy magnit oqimi faqat stator chulg'ami MYK tomonidan hosil qilinadi. Bunday mashinalarda magnit oqimi qarshiligi kam bo'lgan yo'l orqali tutashib qutblarning bo'ylama o'qi bo'yicha o'tib aylantiruvchi momentni hosil qiladi (20.3- rasm). Bu moment reaktiv sinxron motorda bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha magnit o'tkazuvchanlik har xil bo'lgani sababli hosil bo'ladi, ya'ni

$$M_r = [m \cdot U^2 / (2 \cdot \omega)] \cdot (1/x_q - 1/x_d) \cdot \sin 2\theta.$$

Ta'kidlash lozimki, sinxron mashinaning konstruksiyasi noayon ko'rinishda bo'lganda ham uning bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha magnit o'tkazuvchanligini har xil qilish mumkin. Shu maqsadda rotorning po'lat o'zagi takomillashtiriladi, ya'ni ko'ndalang o'qqa aluminiy plastinalar kiritiladi.



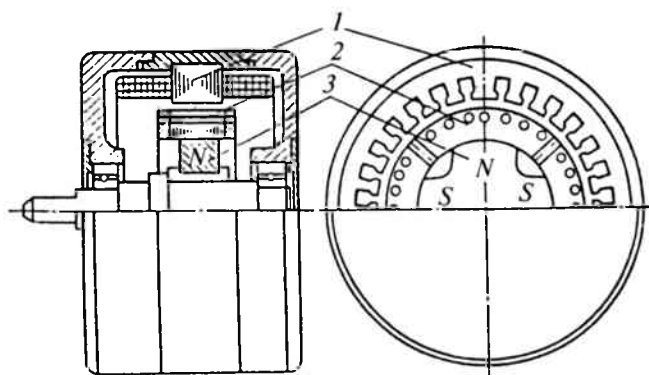
20.3- rasm. Ayon qutbli rotorli reaktiv sinxron motor.

Bunda stator chulg'ami uch fazali elektr tarmog'iga ulanganda hosil bo'lgan aylanma magnit maydon rotorni o'z orqasidan ergashtiradi va rotor magnit maydonning aylanish yo'nalishida sinxron chastotada aylanadi.

Burchak $\theta = 45^\circ$ bo'lganda moment o'zining maksimal qiymatiga erishadi. Bo'ylama (x_d) va ko'ndalang (x_q) induktiv qarshiliklar orasidagi farq qancha katta bo'lsa, maksimal moment ham shuncha katta bo'ladi. Umuman $x_d/x_q \approx 1,5$ bo'lgani uchun reaktiv momentning qiymati $M = 0,25 M_N$ ni tashkil etib, reaktiv motorning energetik sifat ko'rsatkichlari kichik bo'ladi. Yakor chulg'amidagi elektr isroflarning kattaligi FIK ning kichik bo'lishiga sabab bo'ladi. Quvvat koeffitsiyenti $\cos\phi$ ning kichik bo'lishiga magnit maydon hosil qiluvchi magnitlovchi tok qiymatining katta bo'lishi sabab bo'ladi. Reaktiv motorlar 50 W dan 100 W gacha mo'ljallab ishlab chiqariladi. Ular avtomatik qurilmalar va boshqa ayrim sohalarda ishlatiladi. Konstruksiya oddiy, o'zgarmas tok manbayiga ehtiyojning yo'qligi va tannarxining arzonligi reaktiv sinxron motorning afzalligi hisoblanadi.

Doimiy magnitli sinxron motorlarning o'ziga xos xususiyati shundaki, ularda qo'zg'atish magnit maydonini hosil qilish uchun doimiy magnitlar ishlatiladi.

Doimiy magnitlar rotorda radial (20.4- rasm) va aksial (rotor o'qiga parallel) joylashtiriladi. Uning konstruksiyasida halqa va cho'tkalar bo'lmaganligidan mashina kontaktsiz bo'ladi. Konstruksiyasining soddaligi, kontakt halqalarning bo'lmasligi, FIK ning



20.4- rasm. O'zgarmas magniti rotorda radial joylashtirilgan sinxron motor:

1 — o'zgarmas magnit; 2 — rotor paketi; 3 — stator.

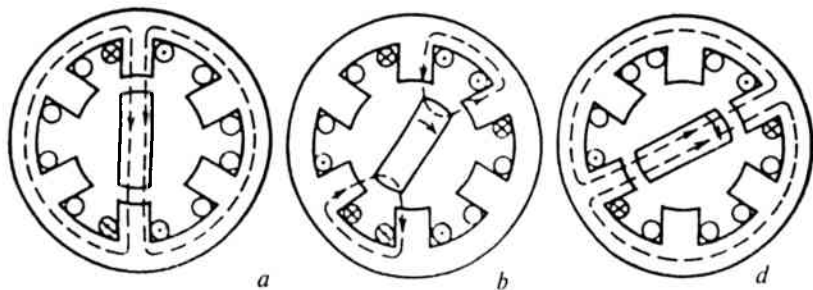
nisbatan katta bo'lishi, qo'zg'atish chulg'ami bo'lmagani tufayli elektr isrofining kamligi hamda mashinada magnit maydon hosil qilish uchun o'zgarmas tok manbayiga zarurat yo'qligi bunday mashinalarning afzalligi hisoblanadi.

Magnit maydonini boshqarishning qiyinligi, narxining nisbatan qimmatligi ularning kamchiligidir.

Hozirgi vaqtda doimiy magnitli mikromotorlar keng ishlatilmoqda. Ularning rotorida doimiy magnit va qisqa tutashgan chulg'am bo'lib, asinxron usulda ishga tushiriladi.

Qadamli (impulsli) ijrochi sinxron motorlar. Qadamli motor impulsli kuchlanishni diskret (tez o'zgaradigan) burchakli yoki chiziqli mexanik harakatga — qadamga aylantiradi. Bunday motorlar dasturli boshqariladigan elektr yuritmalar sistemasida keng ishlatiladi. Qadamli motorlarning rotoru ayon qutbli bo'ladi. Sinxron motorning rotoru qo'zg'atish chulg'ami yoki doimiy magnit bilan ta'minlangan bo'lsa, *aktiv*, rotorda, reaktiv motorlar singari, qo'zg'atish chulg'ami yoki doimiy magniti bo'lmasa, *passiv motor* deyiladi. Qadamli motorning statoru pazlarida bitta yoki bir necha boshqarish chulg'ami bo'ladi. Bu chulg'amlar elektron kommutatordan ma'lum ketma-ketlikda signallar oladi.

Qadamli motorning statorida uchta chulg'am joylashgan bo'lib, ularning har biri ikkita g'altakdan, rotoru esa faqat ikkita qutbdan iborat. Bu qutblar magnit jihatdan yumshoq materialdan tayyorlanadi. Statorning birinchi chulg'amiga elektron kommutatordan signal berilsa, rotor magnit maydon uchun magnit qarshiligi kichik bo'lgan holatga buriladi (20.5- rasm, *a*), birinchi chulg'am rotor uzilmasdan, ikkinchi chulg'am ulansa, rotor 30° ga burilib 20.5-rasm, *b* dagi holatni egallaydi. Shundan so'ng birinchi chul-



20.5- rasm. Ikki qutbli — qadamli reaktiv motorning ishlash prinsipi.

g'am uziladi va rotor yana 30° ga burilib, 20.5- rasm, *d* dagi holatni egallaydi, keyin uchinchi chulg'am ulanadi va rotor yana 30° ga buriladi va hokazo.

Bunday motor rotor bir marta to'la aylanishi davomida 12 ta qadam qiladi. Agar bunday motor to'rt qutbli bo'lib, yuqoridagi ketma-ketlikda chulg'amlar ulansa, u holda rotor 15° ga buriladi va bir marta to'la aylanish davomida 24 ta qadam qiladi.

Shunday qilib, qadamli motor qutblar sonini oshirish, bir marta to'la aylanish davomidagi qadamlar sonini oshirsa bo'lar ekan.



Nazorat savollari

1. Bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli sinxron mashinalarning tuzilishi va ishlash prinsipi haqida nimalarni bilasiz?
 2. Asinxronlashtirilgan sinxron mashinaning tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
 3. O'ta o'tkazuvchan chulg'amli sinxron mashinaning tuzilishi va o'ziga xos xususiyatlari qanday?
 4. Induktorli generator haqida nimalarni bilasiz?
 5. Reaktiv sinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
 6. Doimiy magnitli sinxron mashinaning tuzilishi va ishlash prinsipi haqida nimalarni bilasiz?
-

21.1. Elektr mashinalari aktiv qismlarini tayyorlashda qo'llaniladigan materiallar

Magnit materiallar. Elektr mashinalarining ish xossalari va ishonchliligi ko'p jihatdan ular tayyorlangan magnit, elektr o'tkazuvchi va elektr izolatsiya materiallarining xossa va sifatlariga bog'liq.

Elektrotexnik po'lat tuzilishi va jo'valanish usuliga ko'ra, issiqalayin va sovuqlayin jo'valanganlarga bo'linadi, ya'ni:

a) issiqalayin jo'valangan izotropli qatlamli po'latlar — 1211; 1213; 1311; 1312; 1411; 1511÷1514;

b) sovuqlayin jo'valangan izotrop qatlamli po'latlar — 2011; 2013; 2111; 2211; 2212; 2312; 2411;

d) qovurg'asimon tuzilishga ega bo'lgan, sovuqlayin jo'valangan anizotrop qatlamli po'latlar — 3411÷3414; 3404÷3408.

Issiqalayin jo'valangan po'latda solishtirma isroflarning katta bo'lishi uning jiddiy kamchiligi hisoblanadi. Shu sababli magnit o'tkazgichlar tayyorlashda bu po'lat deyarli qo'llanilmaydi.

Sovuqlayin jo'valanish jarayonida elektrotexnik po'latda qovurg'asimon tuzilish shakllanadi. Bunda po'latning kristallari ma'lum bir tomonga yo'naltirilgan holatni egallashi natijasida po'latning magnit xossalari keskin anizotropik xususiyatga ega bo'ladi. Shuning uchun elektr mashinalari magnit sistemasini tayyorlashda sovuqlayin jo'valangan anizotrop po'lat plastina qatlamlarining jo'valanish yo'nalishi asosiy magnit oqimi yo'nalishi bilan mos tushadigan qilib joylashtiriladi (bunda mazkur po'latning magnit xossalari ancha yaxshilanadi).

Po'latning magnit xossalari uning tarkibidagi kremniy miqdori va tayyorlanish sharoitlariga bog'liq. Po'lat tarkibidagi uglerodning salbiy ta'sirini imkoni boricha kamaytirish uchun, po'lat ishlab chiqarishda 0,5 dan 4,8 % gacha kremniy qo'shiladi.

Po'latni bo'ylama va ko'ndalang jo'valashda ham uning magnit xossalari yaxshilangan „kub shaklli“ tuzilishga ega bo'lgan sovuqlayin jo'valangan izotrop elektrotexnik po'latlar istiqbolli hisoblanadi. Ular konstruksiyasi transformatornikiga nisbatan murakkab bo'lgan elektr mashinalarining magnit sistemasini tayyorlashda ham keng foydalaniladi.

Elektr o'tkazgich materiallar. Elektr o'tkazuvchanlik xususiyati yaxshi bo'lganligidan (nodir material bo'lganligi sababli, kumush bundan mustasno) elektr mashinalarida elektr o'tkazuvchi materiallar sifatida, yaxshi tozalangan M0 (99,5 % Cu) va M1 (99,9 % Cu) markali elektrolitik mis va aralashmalardan tozalangan AE (99,5 % AL) markali aluminiy keng qo'llaniladi.

Zichligining kichikligi, suyuqlanish temperaturasining pastligi, egiluvchan hamda zanglashdan himoya qiluvchi mustahkam va juda yupqa oksid pardaga ega ekanligi aluminiyning muhim afzalligidir. Mexanik jihatdan mustahkamligi misnikiga nisbatan ancha pastligi uning kamchiligi hisoblanadi. Misning elektr o'tkazuvchanligi aluminiyningikiga nisbatan taxminan 1,6 marta yuqori bo'lganligi uchun chulg'amlar tayyorlashda misdan keng foydalaniladi. Yuqori darajada qizishga chidamli o'rov simlariga PNSDK va PNSDKT markalilari kiradi. Temperaturaga bog'liq holda bu simlar izolatsiyasining xizmat muddati o'zgaradi. Masalan, 250 °C da xizmat muddati 15 000÷20 000 soatgacha, 400 °C da esa, 200÷500 soatgacha yetadi, xolos.

Asinxron motorning rotor pazlariga qisqa tutashgan chulg'am hosil qilish uchun aluminiy qo'shib, qarshiligi oshirilgan AKZ, AKM, AKS qotishmalaridan foydalaniladi. O'zgarmas tok mashinasining kollektor plastinalarini tayyorlash uchun tarkibida kadmiy bo'lgan qattiqlayin jo'valangan misdan foydalaniladi. Bunda misning mexanik mustahkamligi oshib, kollektorning yeyilishi kamayadi.

Asinxron motor rotorining qisqa tutashgan chulg'amini va sinxron mashinaning so'ndirgich (dempfer) chulg'amini tayyorlashda latun (misning rux bilan qotishmasi) va bronza (misning qalay, kadmiy, berilliy va fosfor bilan qotishmasi)dan foydalaniladi.

O'ta o'tkazuvchan materiallar. O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi tufayli, absolut nolga yaqin (4,2 K) temperaturagacha sovitilganda o'ta o'tkazgich materialning o'zgarmas tokka nisbatan qarshiligi va materialdan tok o'tganda uning ichki qismidagi magnit maydonning siqib chiqarilish xususiyatlariga ega bo'lgan holatiga asoslangan elektr o'tkazgichdir.

O'ta o'tkazuvchanlik holatining mavjudligi ikkita kritik parametr bilan chegaralanadi: 1) o'tish (kritik) temperaturasi T_k (undan oshsa o'ta o'tkazuvchan bo'lmaydi); 2) magnit maydon kuchlan-ganligining kritik qiymati H (bundan katta bo'lgan qiymatlarda o'ta o'tkazuvchanlik buziladi).

Keyingi paytlarda amalda niobiy-titan (Nb—Ti) qotishmasi asosida tayyorlangan o'ta o'tkazgichlar qo'llanilmoqda, chunki bu materiallar kritik magnit maydon va toklarning yuqori qiymatlarida ham texnologik xossalarini saqlab qoladi. Ular ko'p sonli ingichka tola simlardan tayyorlanadi.

Kelajakda niobiy — qalay (Nb—Sn) qotishmasidan tayyorlangan o'ta o'tkazgichni amalda qo'llash istiqbolli hisoblanadi, chunki uni kuchli magnit maydonlarda ishlatish ham mumkin.

Gipero'tkazgichlar — tozalangan metallardan yasalgan o'tkazgichlar bo'lib, chuqur sovitilgan holatda foydalanilganda yuksak elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa ham, o'ta o'tkazuvchanlik holatiga o'tmaydi.

Suyuq vodorod temperaturasi (20,3 K)da ishlash uchun eng yaxshi gipero'tkazgich bu A999 markali toza aluminiydir.

O'ta o'tkazgich va gipero'tkazgichlarni elektr mashinasozligida qo'llash odatdagi elektr mashinalar va transformatorlarga nisbatan bir xil quvvatda, ularning o'lchamlari va massasini keskin kamaytirish hamda foydali ish koeffitsiyentini oshirish imkonini beradi. Bu esa katta iqtisodiy samaradir.

Qator mamlakatlar (Shvyetsariya, Yaponiya, AQSH, Xitoy va Rossiya)ning fizika laboratoriyalarida geliyning suyuqlanish temperaturasi (-269°C) ga nisbatan yuqori, ya'ni azotning suyuqlikka aylanish temperaturasi (-196°C) dan oshgan qiymatlarida ham o'ta o'tkazuvchanlik xossasiga ega bo'lgan materiallar ixtiro qilingan.

O'ta o'tkazuvchan material olish uchun suyuqlantirilgan geliyning o'rniga suyuq azot ishlatilsa, kriogen davri (sikli)ning samarasi o'n martadan ham oshadi. Agar azotni havodan olib suyuqlantirish suyuq geliy olishga nisbatan yigirma marta arzon ekanligini hisobga olsak, uning samarasi yanada oshadi.

Elektr izolatsion materiallar. Elektr izolatsion materiallarga quyidagi talablar qo'yiladi: qizishga chidamlilik, yuqori elektr va mexanik mustahkamlik, issiqlik o'tkazuvchanlik va egiluvchanlik.

Izolatsiyaning qizishga chidamliligi unga nisbatan qo'yiladigan asosiy talabdir. Elektr mashinaning normal ish sharoitidagi xizmat muddati $15\div 20$ yil bo'lib, bu asosan, izolatsiyaning xizmat muddati bilan aniqlanadi. Izolatsion material standartda belgilangan me'yoriy temperaturadan ortiq qizdirilsa, izolatsiyalash xossasi va mexanik mustahkamligini yo'qotadi.

Amalda tasdiqlanishicha, ya'ni agar izolatsiya standartida belgilangan me'yoriy temperaturadan taxminan $8 \div 10$ °C ga oshirilgan sharoitda ishlatilsa, elektr mashinaning xizmat muddati ikki marta kamayar ekan.

Elektr mashinasozligi va transformatorsozlikda qo'llaniladigan elektr izolatsion materiallar qizishga chidamliligiga ko'ra yettita klassga bo'linadi. Quyida izolatsiya markalari, klassi va ularni davomli ishlatish mumkin bo'lgan eng yuqori temperatura ko'rsatilgan:

Y (80 °C) klassiga: paxta, tabiiy ipak, selluloza, plastmassa;

A (105 °C) klassiga: suyuq dielektriklar, ya'ni tabiiy smolalar, moyli va asfaltli loklar, transformator moyiga shimdirilgan loklangan mato, izolatsion tasmalar, elektrokarton, getinaks, tekstolit;

E (120 °C) klassiga: sintetik plyonka va tolalar, termoreaktiv sintetik smola (qatron) va epoksidli kompaundlar;

B (130 °C) klassiga: organik astar(tagiga qo'yiladigan ashyo)li slyuda asosidagi materiallar (mikanitlar, mikalentalar, yupqa slyuda plastina — slyudinitlar, slyuda qatlamlar), shisha tola materiallar (shisha tola gazlama, lok shimdirilgan shisha tola gazlama), asbest tolasi asosidagi materiallar (yigirilgan ip, qog'oz, gazlamalar);

F (155 °C) klassiga: astarsiz yoki noorganik astarli slyuda, shisha tola va asbest materiallar;

H (180 °C) klassiga: astarsiz yoki noorganik astarli slyuda, shisha tola va asbest materiallar;

C (180 °C dan yuqori) klassiga: slyuda, shisha, shisha tolali materiallar, elektrotexnik keramika, kvars, shifer, asbestsement, astarsiz yoki shisha tola astarli slyudadan tayyorlangan materiallar kiradi.

Zamonaviy elektr mashinalarining ko'pchiligida B va F qizishga chidamlilik klasslaridagi materiallar asosida tayyorlangan izolatsiyadan foydalaniladi. Bunday elektr mashinalarida kompozitsion elektr izolatsiya materiallari ham keng qo'llanilmoqda. Mazkur materiallar sintetik tola asosida tayyorlanadigan har xil egiluvchan izolatsiya materiallari bilan polimer yupqa pardalarning birikmasidan hosil qilinadi.

21.2. Elektr mashinalarida quvvat isroflari va ularning foydali ish koeffitsiyenti

Elektr mashinalarida quvvat isroflari. Elektr mashinalarining foydali quvvati unga berilgan quvvatdan kam, chunki ularda elektr

energiyaning mexanik energiyaga yoki mexanik energiyaning elektr energiyaga aylanishida energiyaning bir qismi issiqlik energiyasiga aylanib, isrof bo'ladi va mashina qismlarini qizdiradi. Shu sababli elektr mashinalarining ish jarayoni qizish bilan bog'liq holda kechadi.

Aylanuvchi qismli elektr mashinalarida isroflar *asosiy* va *qo'shimcha* turlarga bo'lib o'rganiladi. Asosiy isroflarga mashina magnit sistemasining qayta magnitlanishidan uning asosiy qismlarida uyurma toklar va gisteresis hodisasi tufayli hosil bo'lib, issiqlikka aylanadigan *magnit isroflar*, mashinaning har qaysi chulg'am o'tkazgichlari va cho'tka kontaktlarida elektr energiyaning issiqlikka aylanib sarflanadigan *elektr isroflar* hamda mashina aylanuvchi qismlarining havoga urilib ishqalanishi, podshipniklardagi ishqalanish, sirpanuvchi kontaktlardagi va ventilatordagi ishqalanishlar tufayli hosil bo'ladigan *mexanik isroflar* kiradi.

Magnit isroflari. Elektromagnit induksiya hodisasi magnit oqimining o'zgarishi bilan bog'liq holda namoyon bo'ladi. Shuning uchun mashina yakorining po'lat o'zaklarida qayta magnitlanish va uyurma toklar tufayli isroflar vujudga keladi. Qayta magnitlanish magnit o'tkazgichning magnit maydonda aylanishidan yoki o'zgaruvchan tok tomonidan hosil qilingan magnit oqimining vaqt bo'yicha o'zgarishi tufayli kelib chiqadi.

Po'lat o'zakdagi isroflar materialning xossalariga, induksiya va chastotaning qiymatiga hamda qayta magnitlanish xarakteriga bog'liq ($P_{\text{gis}} \equiv f \cdot B_m^2$); uyurma toklar hosil qiladigan isroflar po'lat plastinalarning qalinligiga ham bog'liq, ya'ni

$$P_{\text{uyur}} \equiv (f \cdot B_m \cdot \Delta)^2,$$

bunda Δ — tunuka qalinligi.

Chastota $f = \text{const}$ va magnit induksiyaning kuchlanishiga mutanosib ravishda ($B \equiv U$) o'zgarishidan o'zgaruvchan tok mashinalari magnit zanjirining po'lat qismlaridagi asosiy isroflar berilgan kuchlanishning kvadrati (U^2) ga mutanosib ravishda o'zgaradi, degan xulosa kelib chiqadi.

Ta'kidlash lozimki, mashinaning rotori aylanganda rotor va stator o'zaklarining qayta magnitlanish chastotasi bir xil bo'lmaydi. O'zgarmas tok mashinalarining qutb sistemasi o'zaklari va yarmosida hamda sinxron mashinalar rotorining qutb sistemasi o'zaklarida barqaror ish rejimida magnit oqimi o'zgarmaydi. Shu sababli

mazkur mashinalarning ko'rsatilgan qismlarida isroflar bo'lmaydi. Umumiy maqsadli asinxron motorlarning rotori nominal rejimda stator magnit maydoni aylanish chastotasiga yaqin bo'lgan aylanish chastotasida aylangani sababli rotor o'zagidagi qayta magnitlanish chastotasi juda kam, demak, rotorning po'lat o'zagida isroflar ham kam bo'lib, ular odatda hisoblashlarda e'tiborga olinmaydi.

Shunday qilib, magnit isroflarni taxminiy aniqlashda quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$P'_m \approx P'_{(1/50)} (f/50)^{1.3} \cdot G_i B_i), \quad (21.1)$$

bunda $P'_{(1/50)} - f = 50 \text{ Hz}$ va $B = 1,0 \text{ T}$ bo'lgandagi solishtirma isroflar, W/kg ; f — qayta magnitlanish chastotasi, Hz (o'zgaruvchan tok mashinalari uchun elektr tarmog'i chastotasiga teng; o'zgarmas tok mashina yakorining po'lat o'zagini hisoblash uchun esa $f = pn/60$); B_i — magnit o'tkazgich tegishli qismining magnit induksiya, T ; G_i — magnit o'tkazgich yarmosi tegishli qismining massasi, kg .

Elektr isroflar. Elektr mashinaning har qaysi chulg'am o'tkazgichlaridan tok o'tganda tokning kvadrati va chulg'am qarshiligiga mutanosib bo'lgan asosiy quvvat isroflari ($P'_e = I_r^2$) vujudga keladi.

Chulg'am qarshiligi uning temperaturasi bog'liq. Agar biror θ_0 temperaturada chulg'am qarshiligi r_0 ma'lum bo'lsa, uni mashinaning hisbiy ish temperaturasi θ ga quyidagicha qayta hisoblanadi:

$$r_{75} = r_0 [1 + \alpha (75 - \theta_0)], \quad (21.2)$$

bunda $\alpha \approx 0,004$ — misning temperatura koeffitsiyenti.

Chulg'amlarning elektr isroflarini aniqlashda standartga ko'ra, chulg'am izolatsiyasining A , E va B issiqlikka chidamlilik klasslari uchun temperatura 75°C .

Mashinaning elektr isroflari quyidagicha aniqlanadi:

$$P'_e = m I^2 r. \quad (21.3)$$

O'zgarmas tok mashinalari uchun elektr isroflarni hisoblaganda (21.3) formulaga $m = 1$ qo'yiladi.

Cho'tka kontaktlarida vujudga keladigan isroflar quyidagicha aniqlanadi:

$$P'_e = 2 \Delta U_{\text{ch}} I_a, \quad (21.4)$$

bunda ΔU_{ch} — bitta cho'tka kontaktida kuchlanish tushishi, V .

(EG — 51 grafit cho'tka uchun $\Delta U_{ch} = 1,1$ V, MG metall-grafit cho'tka uchun esa $\Delta U_{ch} = 0,25$ V).

Mexanik isroflar faqat rotorning aylanish chastotasiga bog'liq bo'ladi:

$$P_{mex} \approx k_{ishq} (n/1000)^2 (10D_a). \quad (21.5)$$

Bunda $k_{ishq} = 5 - 2p = 2$ bo'lganda; $k_{ishq} = 6 - 2p > 4$ bo'lganda, D_a — rotor diametri, m.

Quvvati $10 \div 500$ kW bo'lgan o'zgarmas tok mashinalarida mexanik isroflar mashina nominal quvvatining tegishlicha $2 \div 0,5$ % ini tashkil qiladi.

Qo'shimcha isroflar. Bu isroflar mashinaga yuklama ulanganda har xil ikkilamchi hodisalar tufayli sodir bo'ladi. Masalan, o'zgarmas tok mashinalarida ko'ndalang yakor reaksiyasi ta'sirida qutb uchligi chekkalarida va uning ro'parasidagi yakor o'zagi tishlarida magnit oqimining notekis taqsimlanishi magnit isroflarni oshirsa, sirt effekti natijasida o'tkazgichlarda tokning notekis taqsimlanishi esa elektr isroflarni oshiradi. Elektr mashinalari magnit o'zagining tishlilik tufayli magnit oqimi katta chastota ($f_z = Zn/60$) bilan pulslanadi. Natijada po'lat o'zagida *sirtiy* va *pulslanuvchi* isroflar vujudga keladi.

Qo'shimcha isroflar tabiatining murakkabligi tufayli umumiy maqsadli elektr mashinalari uchun amalda, ma'lumotlarga binoan, mashina nominal quvvatining $0,5 \div 1,0$ % miqdorida hisobga olinadi. Masalan, o'zgarmas tok mashinalarining nominal yuklamadagi qo'shimcha isroflarini kompensatsiyalovchi chulg'ami bo'lmagan mashinalarda nominal quvvatning $1,0$ % iga, bunday chulg'amli mashinalarda esa $0,5\%$ iga teng, deb hisoblanadi.

Elektr mashinalaridagi *to'la isroflar* quyidagi isroflar yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\Sigma P' = P'_p + P'_c + P'_{c.ch} + P'_{mex} + P'_{qo'sh}. \quad (21.6)$$

Quvvati 500 kW, kuchlanishi 460 V va aylanish chastotasi 375 ayl/min bo'lgan o'zgarmas tok generatorining nominal yuklamadagi to'la quvvat isroflari: $55,8$ % elektr isroflar, $23,3$ % magnit isroflar, $8,2$ % mexanik isroflar va $12,7$ % qo'shimcha isroflardan tashkil topgan.

Mashinani tayyorlashda ishlatiladigan elektr izolatsiya materiallarining issiqlikka chidamliligi, ya'ni ularning izolatsiyalash

xossalari saqlangan holda uzoq ($\sim 15 \div 20$ yil) muddatda ishlay olishi uchun standart tomonidan ish temperaturalarini qat'iy belgilangan.

Elektr mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti.

Elektr mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti η quyidagicha aniqlanadi:

generator uchun

$$\eta = [1 - \Sigma P' / (P_2 + \Sigma P')] 100; \quad (21.7)$$

motor uchun

$$\eta = (1 - \Sigma P' / P_1) 100. \quad (21.8)$$

Zamonaviy elektr mashinalarining FIK katta qiymatga ega. Elektr mashinalari nominal quvvatining oshishi bilan ularning FIK ham kattalashadi. Elektr mashinalarining FIK quvvatiga bog'liq holda taxminan quyidagi qiymatlarga ega bo'ladi:

— quvvati bir necha ming kW va undan katta bo'lgan elektr mashinalarida FIK $\eta = 95 \div 98,94$ %ga yetadi. Masalan, Rossiyaning Kostroma IES da ekspluatatsiya qilinayotgan, quvvati 1200 MW bo'lgan turbogeneratorning FIK — 98,94%, O'zbekistonda qurilayotgan Tolimarjon IES ning 1- blokida o'rnatiladigan, quvvati 800 MW bo'lgan turbogeneratorning FIK 98,8% bo'ladi;

— quvvati bir necha yuz kWT bo'lgan mashinalarda $\eta = 88 \div 92$ %;

— quvvati taxminan 10 kWT bo'lgan mashinalarda $\eta = 83 \div 88$ %;

— quvvati bir necha 10W gacha bo'lgan mikromashinalarda esa $\eta = 30 \div 40$ % bo'ladi.

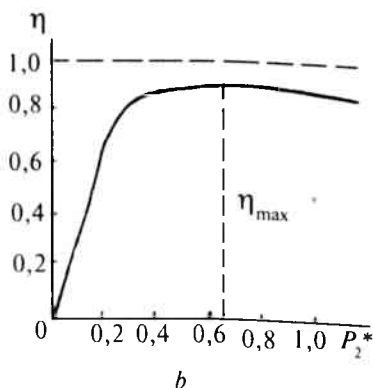
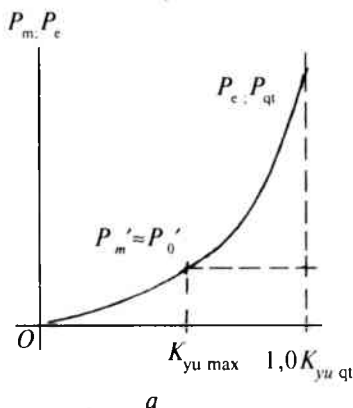
Elektr mashinalarida (transformatorlarda ham) yuklama tokining kvadratiga bog'liq bo'lgan o'zgaruvchan isroflar ($k_{yu}^2 P_2$) o'zgarish isroflar (P_0) ga teng, ya'ni

$$P_0 = k_{yu}^2 P_2 \quad (21.9)$$

bo'lganda FIK maksimum $\eta_{\max}$ ga erishadi. Bunda yuklama koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$k_{yu} = \sqrt{P_0 / P_2}. \quad (21.10)$$

FIK ning yuklama koeffitsiyentiga bog'liqligi $\eta = f(k_{yu})$ yoki foydali quvvatga nisbatan o'zgarishi $\eta = f(P_2)$ 21.1- rasmda ko'rsatilgan. Yuklama koeffitsiyenti osha borgan sari $P_2 = k_{yu} P_{2N}$ va FIK oshadi. Yuklama koeffitsiyenti $k_n \approx 0,25$ da yuklama koeffitsiyentining kvadrati (k_{yu}^2) ga mutanosib ravishda o'zgaradigan



21.1- rasm. Elektr mashinalarida o'zgarmas va o'zgaruvchan isroflar (a); FIK ning yuklamaga nisbatan o'zgarishi (b).

chulq'amlardagi isroflar juda tez o'sishi tufayli P_2 va η larning o'sishi sekinlashadi.

FIK maksimumga erishgandan keyin elektr isroflar va qo'shimcha isroflar foydali quvvatga nisbatan tezroq o'sishi tufayli η sekin kamayadi. Umuman, $\eta = f(P_2)$ bog'liqlikning $\eta < \eta_{\max}$ bo'lgan qismida o'zgarmas isroflar (P'_0) o'zgaruvchan isroflardan katta bo'lib, $\eta > \eta_{\max}$ bo'lgan qismida esa o'zgaruvchan isroflar (P'_e) o'zgarmas isroflardan katta bo'ladi.

Elektr mashinalarini loyihalashda ularning eng ko'p ishlaydigan vaqtidagi isroflar nisbati (P'_0 / P'_2) FIK ning maksimal qiymati $\eta_{\max}$ ga to'g'ri keladigan qilib tanlanadi.

Zamonaviy elektr mashinalarida FIK ning maksimal qiymati yuklama koeffitsiyentining $k_{yu} = 0,6 \div 0,8$ qiymatlariga to'g'ri keladi, chunki mashinalardan amalda foydalanishda uning yuklamasi ko'pincha o'zgarib turadi va nominaldan kam bo'ladi.

21.3. Elektr mashinalarida qizish va sovish jarayonlari. Ish rejimlari

Elektr mashinalarining qizishi. Elektr mashinalarining ish jarayonida energiyaning bir qismi isroflarni qoplashga sarflanadi. Energiya isroflarining barcha turi issiqlikka aylanib, asosiy qismi mashinaning aktiv qismlari temperaturasini oshirsa, qolgan qismi atrof muhitga uzatiladi.

Elektr mashinasi chulg'amlar, magnit o'tkazgich elementlari va konstruktiv detallar majmuyidan iborat. Bu qismlarning issiqlik o'tkazuvchanligi, issiqlik sig'imi va sovitilish sharoitlari har xil. Bu mashinada issiqlik maydoni taqsimlanishining murakkab xarakterda ekanligini ko'rsatadi. Lekin, mashinaning qizish jarayonidagi umumiy qonuniyatlarni aniqlash maqsadida elektr mashinaga bir jinsli jism sifatida qarash zarur. Bunday taxminda mashina butun hajmi bo'yicha bir tekis qiziydi va issiqlik mashina sirtining butun yuzasida bir xil tarqaladi, deb hisoblanadi.

Bunday shartlarda issiqlik energiyasining muvozanat tenglamasi (energiyaning saqlanish qonuni) quyidagicha yoziladi:

$$Q \cdot dt = cm \cdot d(\Delta\theta) + \alpha \cdot S \cdot \Delta\theta \cdot dt, \quad (21.11)$$

bunda $cm \cdot d(\Delta\theta)$ — issiqlik energiyasining mashinada to'planib, uning temperaturasi oshiradigan qismi, $\alpha S \cdot \Delta\theta \cdot dt$ — issiqlik energiyasining atrof muhitga tarqaladigan qismi, c — mashinaning solishtirma issiqlik sig'imi, m — mashina massasi, kg; $\Delta\theta$ — mashina temperaturasi sovitish muhiti temperaturasidan oshishi, °C; α — mashina sovitish yuzasining issiqlik uzatish koeffitsiyenti, W/(m² · °C); S — mashinaning sovitiladigan yuzasi, m².

Issiqlik atrof muhitga (yoki sovitish muhitiga), asosan, issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya vositasida uzatiladi. Elektr mashinasining temperaturasi va $\Delta\theta$ oshgan sari atrof muhitga (sovuq muhitga) tarqaladigan issiqlik miqdori ortib, mashina ichki temperaturasi oshiradigan issiqlik qismi kamayadi. Bu jarayonning borishida mashina temperaturasi o'zining barqaror qiymatiga yetadi, ya'ni issiqlik muvozanati rejimi vujudga kelib, mashina aktiv qismlaridan ajralib chiqadigan issiqlikning hammasi atrof muhitga uzatiladi. Bu holda $cm \cdot d(\Delta\theta) = 0$ bo'lib, issiqlikning muvozanat tenglamasi (21.11) quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$Q = \alpha \cdot S (\Delta\theta)_b, \quad (21.12)$$

(21.12) dan $\Delta\theta$ ning barqarorlashgan qiymati aniqlanadi:

$$\Delta\theta_b = Q / (\alpha \cdot S), \quad (21.13)$$

demak, $\Delta\theta_b$ ning qiymati mashina massasiga bog'liq bo'lmasdan, vaqt birligida mashinadan ajralib chiqadigan issiqlik miqdori Q ga to'g'ri mutanosib bo'lib, sovitish sirti yuzasi S ga va issiqlik berish koeffitsiyenti α ga teskari mutanosibda bo'lar ekan.

Mashina yuklamasi qancha ko'p bo'lsa, Q ning oshishi tufayli $\Delta\theta_b$ ning qiymati ham mos ravishda ko'payadi. Sovitilish sharoiti yaxshilangan sari $\Delta\theta_b$ kamaya boradi.

Mashinani yaxshi sovitish maqsadida quyidagi usul va vositalardan foydalaniladi:

a) o'rta va kam quvvatli mashinalarda stanining tashqi sirtiga qovurg'asimon shakl berib sovitish yuzasi oshiriladi;

b) ichki (yoki tashqi) ventilator qo'yish (ayrim mashinalarda ikkalasi ham qo'yiladi) orqali;

d) katta quvvatli mashinalarda sovitgich qurilmalaridan foydalaniladi;

e) o'ta o'tkazuvchanlikka asoslangan istiqbolli sovitish sistema-sidan foydalaniladi.

Mashinaning sovitilishi yaxshilanganda issiqlikni konveksiya yo'li bilan chiqarishning ortishi hisobiga issiqlik uzatish koeffitsiyenti α oshadi.

Sovitishni sun'iy yo'llar bilan jadallashtirish tufayli ma'lum olchamdagi mashinadan katta quvvat olishga yoki ma'lum quvvatda mashinaning o'lchamini kamaytirishga erishiladi.

(21.11) differensial tenglamani yechib quyidagini olamiz:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_b [1 - \exp(-t/T)] + \Delta\theta_0 \cdot \exp(-t/T), \quad (21.14)$$

bunda $\Delta\theta_0$ — mashina temperaturasi oshishining boshlang'ich qiymati, $T = cm/(\alpha S)$ — qizishning vaqt doimiyligi, ya'ni mashina qizishining tezligini xarakterlovchi kattalik.

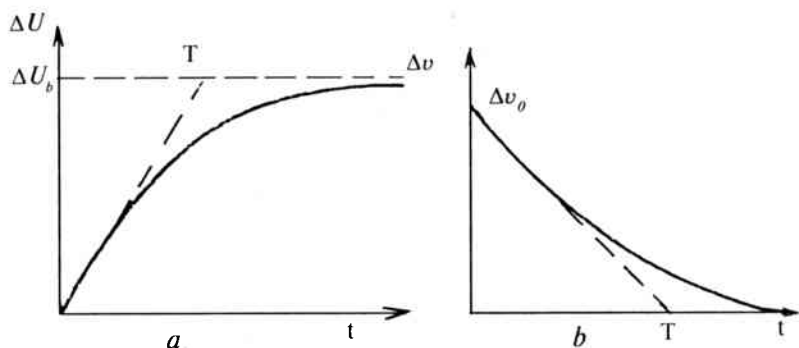
Agar mashina ishlashiga qadar qizdirilmagan bo'lsa, ya'ni uning temperaturasi atrof muhit temperaturasiga teng bo'lganda $\Delta\theta_0 = 0$ bo'ladi va qizish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_b [1 - \exp(-t/T)]. \quad (21.15)$$

Bunday mashina qizishining vaqt bo'yicha o'zgarishi 21.2- rasm, a da keltirilgan.

Qizish jarayonining boshlanishida hosil bo'lgan barcha issiqlik mashinaning o'zida to'planadi va uning temperaturasi tez o'sadi. $\Delta\theta$ ning osha borishi bilan issiqlikning atrof muhitga (sovitish muhitiga) beriladigan qismi ko'payishi tufayli temperaturaning o'sish tezligi kamayadi (21.2- rasm, a).

Mashina temperaturasining sovitish muhiti temperaturasidan oshishining barqarorlashgan qiymati $\Delta\theta_b$ ga yetgunga qadar ketgan



21.2- rasm. Mashina qizishi (a) va sovishi (b) ning vaqt bo'yicha o'zgarishi.

vaqt T ga, ya'ni vaqt doimiysiga bog'liq bo'ladi. T qancha kam bo'lsa, qizish jarayoni shuncha tez kechadi, ya'ni $t \approx (3 \div 4) T$.

Vaqt doimiysi T mashinaning konstruksiyasi va quvvatiga bog'liq. O'rtacha quvvatli mashinalar uchun T bir necha minutga teng, katta quvvatli mashinalar uchun esa u bir necha soatga yetadi.

Agar $\Delta\vartheta_b < \Delta\vartheta_0$ bo'lsa, (21.14) tenglama mashinaning sovitilish jarayonini xarakterlaydi. Jismning barqarorlashgan temperaturasi sovitish muhitiniki bilan tenglashganda ($\Delta\vartheta_b = 0$) (21.14) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_0 \cdot \exp(-t/T), \quad (21.16)$$

bunday holdagi mashina sovishining vaqt bo'yicha o'zgarishi 21.2-rasm, b da keltirilgan.

Elektr mashinalarining asosiy nominal rejimlari.

Elektr mashinalarining ish rejimlari ekspluatatsiya sharoitida: davomli, qisqa muddatli, takrorlanuvchi qisqa muddatli va normal ish davri salt ishlash bilan almashinib turadigan ish rejimlariga bo'linadi.

Mashina to'la yuklama bilan uzoq vaqt (masalan, elektr stansiyalarda elektr generatorlar, nasos qurilmalarida elektr motorlar va boshqalar) va nisbatan qisqa vaqt (yuk ko'tarish krani motori) ishlashi mumkin. Zamonaviy avtomatlashtirilgan sanoat va boshqa qurilmalarda elektr mashinalari ko'pincha davriy rejimda ishlaydi. Umuman, elektr mashinalari o'zgaruvchan yuklama bilan ishlaydi.

Elektr mashinaning o'zgarmas nominal yuklamadagi ishi, sovitish muhiti temperaturasi o'zgarmaganda, mashina qismlari

temperaturasining oshishi eng kam barqarorlashgan qiymatlariga erishgan vaqtga qadar davom etsa, bunday rejim elektr mashinaning *davomli nominal ish rejimi* deyiladi (bu rejimning standart bo'yicha shartli belgilanishi *S1*).

O'zgarmas nominal yuklamaning davrlari, sovitish muhiti-ning temperaturasi o'zgarmas bo'lganda, mashinaning ishdan to'xtatilish davrlari (pauzalar) bilan almashinib turadigan ish rejimiga *qisqa muddatli nominal ish rejimi* (*S2*) deyiladi. Bu rejimda yuklama davrida mashina qismlari temperaturasi oshishi barqarorlashgan qiymatgacha yetadigan vaqtdan ancha kam, mashinani to'xtatish davrlari esa davomli bo'lib, bunda u amaliy ravishda atrof muhit temperaturasigacha sovishga ulguradi. Bunday mashinalar 15, 30, 60 va 90 minutdan iborat ish davriga mo'ljallab tayyorlanadi.

O'zgarmas nominal yuklamaning qisqa muddatli davrlari, sovitish muhiti temperaturasi o'zgaraganida, mashina ishdan to'xtatilishi (pauza) ning qisqa muddatli davrlari bilan almashinib turadigan ish rejimiga *takrorlanuvchi qisqa muddatli ish rejimi* (*S3*) deyiladi. Bu rejimda mashinaning normal ish davrlari va pauza davrlari kichik bo'lib, yuklama bilan ishlaganda mashina temperaturasi oshishi barqarorlashgan qiymatigacha yetmaydi, pauza davrlarida esa mashinaning temperaturasi atrof muhitnikigacha sovishga ulgurmaydi.

Standartga binoan mashinaning bu rejimi mashina ishining davomiyligi bilan xarakterlanadi va uning standart qiymatlari 15, 25, 40 va 60 % ni tashkil qiladi.

Normal ish davri salt ishlash bilan almashinib turadigan ish rejimida mashinaning yuklama bilan qisqa muddatli ish davrlari salt ishlash davrlari (pauzalar) bilan almashinib turadi.

Bu rejim yuklamaning nisbiy davomiyligi foiz bilan xarakterlanadi va standart qiymatlari 15, 25, 40 va 60 % ni tashkil qiladi.

21.4. Elektr mashinalarini sovitish usullari

Elektr mashinalarining tabiiy va sun'iy sovitish sistemalari mavjud. Mashinalarni sovitish uchun qanday modda qo'llanilishiga ko'ra ular havo, vodorod, moy va suv bilan sovitiladigan mashinalarga bo'linadi. Sovitish usuliga ko'ra quyidagilarga bo'linadi:

— chetdan (bilvosita) sovitiladigan (bunda sovituvchi gaz yoki suyuqlik chulg'am o'tkazgichlariga tegmaydi), bunday sovitilishga IP44 himoyalash darajali mashinalar misol bo'la oladi;

— bevosita sovitiladigan (bunda sovituvchi gaz yoki suyuqlik mashinaning qizigan aktiv qismlariga to'g'ridan-to'g'ri tegib sovitadi), bunday sovitilishga IP23 himoyalaniş darajali mashinalar kiradi.

Maxsus elektr mashinalarida bug'lanma sovitish sistemasi qo'llaniladi. Bunda suyuqlik mashinaning ʻissiqlik ajraladigan yuzalaridan bug'lanishi tufayli ʻissiqlik sovitish muhitiga uzatiladi.

Mashinaning tashqi o'lchamlari sovitish sistemasini to'g'ri tanlashga bog'liq.

Keyingi 45 yil davomida bir xil o'lchamli mashinalarni havo bilan sovitishdan bevosita suv bilan sovitishga o'tish tufayli turbogeneratorlarning quvvatini o'n martaga oshirishga erishildi. Bu XX asrning eng buyuk yutuqlaridan biridir. Sovitish sistemasini takomillashtirish tufayli quvvat birligiga to'g'ri keladigan massaning kamayishi elektr mashinalarining boshqa turlariga ham xosdir.

Umumiy maqsadli elektr mashinalarini sovitish uchun ko'pincha ularning qizigan qismlariga ventilator vositasida havoni majburiy haydab ʻissiqlik atrof muhitga chiqariladi yoki sovitish uchun havo sovitgichga yo'naltiriladi.

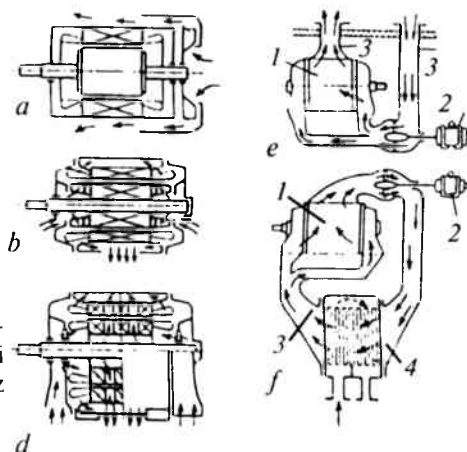
Ventilator vositasida sovitiladigan mashinalar *o'z-o'zini sovitadigan va mustaqil sovitiladigan* turlarga bo'linadi. O'z-o'zini sovitadigan turida ventilator valga o'rnatiladi yoki mashinaning aylanuvchi qismiga kurakchalar qo'yiladi.

Havo bilan mustaqil sovitilganda sovitish muhiti mashina valiga ulanmagan maxsus qurilma vositasida mashina ichiga beriladi. Nominal aylanish chastotasi kam bo'lgan yirik mashinalarda yoki aylanish chastotasi keng ko'lamda o'zgartiriladigan mashinalarda mustaqil sovitish sistemasi qo'llaniladi.

Agar sovituvchi havo oqimi mashinaning ichidan o'tkazilsa (21.3- rasm, *b, d*) — *ichki ventilatsiya* (sovitish usuli — IC01), bunda mashina korpusida va podshipnik qalqonlarida havo kirishi uchun teshiklar bo'ladi (bajarilishi — IP22 va IP23), mashina korpusining qovurg'asimon yuzasiga tashqaridan havo berib sovitilganda (21.3- rasm, *a*) — *tashqi ventilatsiya* deyiladi (bunda sovitilish usulining belgilanishi — IC0141, bajarilishi — IP44). Ichiga havo oqimi kirmaydigan yopiq mashinalarda tashqi ventilatsiya ishlatiladi. Bunda mashinaning ichidagi havoni harakatga

21.3- rasm. Elektr mashinalarini sovitish sistemalari: o'z-o'zida havo almashinishning tashqi (a), ichki (b, d), mustaqil ochiq (e) va mustaqil yopiq (f) sistemalari:

1 — sovitiladigan mashina; 2 — ventilator motori; 3 — sovituvchi muhitni o'tkazadigan truba; 4 — gaz sovitgich.



keltirib, ya'ni aralashtirib turish uchun qo'shimcha ichki ventilator yoki maxsus kurakchalar o'rnatiladi.

O'rtacha va katta quvvatli mashinalarda mustaqil (majburiy) ventilatsiya sistemasidan foydalaniladi (21.3- rasm, e, f). Bunda mashinaga sovituvchi gaz alohida yuritmal maxsus ventilator tomonidan beriladi (IC05 va IC37 sovitish usullari).

Ventilatsiya sistemasi *ochiq* va *yopiq* bo'lishi mumkin. Agar gaz (havo) mashinaga majburan haydalib, keyin tashqariga chiqarib yuborilsa, ochiq sistemali ventilatsiya bo'ladi (21.3- rasm, e). Yopiq ventilatsiya sistemasida esa sovitgichda sovitiladigan o'zgarmas hajmdagi gaz (havo yoki vodorod) germetik yopiq mashinada aylanib, yana sovitgichga qaytadi (21.3- rasm, f). Ventilatsiyaning yopiq sistemasi katta quvvatli mashinalarda qo'llaniladi.

Vodorod bilan sovitish. Mashinani vodorod bilan sovitish havoga nisbatan ancha samaralidir, chunki uning atmosfera bosimidagi issiqlik o'tkazuvchanligi havonikidan 7,1 marta katta; bir xil tezlikdagi o'rtacha issiqlik uzatish koeffitsiyenti — 1,7 marta, vodorodni (havo bilan bir xil og'irlikdagi) ishlatganda esa — 11,8 marta kattadir. Havoga nisbatan kam og'irlikdagi vodorod ishlatilganligi tufayli aylanish chastotasi katta bo'lgan yirik mashinalarning havo almashinishdagi isroflari deyarli 10 marta kamayadi. Vodorod bilan sovitishda izolatsiyaning xizmat muddati oshadi, chunki bunda oksidlanish jarayoni bo'lmaydi. Shu sababli quvvati $P \geq 25\,000$ kW, yuqori aylanish chastotali o'zgaruvchan tok mashinalarini sovitish uchun vodoroddan keng foydalaniladi.

Vodorod bilan sovitishda ventilatsiyaning yopiq sistemasi qo'llanilib, uning bosimi atmosfera bosimidan biroz ko'p (1,05 atm) bo'ladi. Ayrim hollarda sovitish jadalligini kuchaytirish uchun sovitish sistemasidagi vodorodning bosimini $3 \div 5$ atm ga oshiriladi (bunda mashinaning germetikligi kuchaytiriladi).

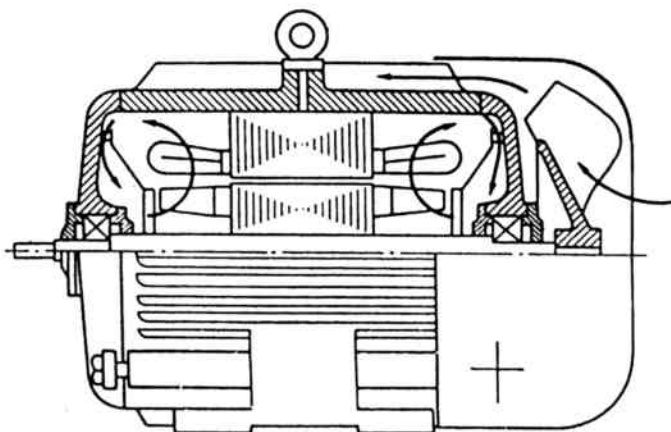
Chulg'amlarni bevosita sovitish. Quvvati $300 \div 500$ MW va undan katta bo'lgan elektr mashinalarni vodorod bilan sovitishda ventilatsiyaning yopiq sistemasi ham yetarli bo'lmaydi. Shuning uchun bunday mashinalarning chulg'ami ichi kavak o'tkazgichlardan tayyorlanadi va bu o'tkazgichlarning ichidan bir necha atmosfera bosimida vodorod o'tkazilib sovitiladi. Vodorod o'rni distillangan (tozalangan) suv ishlatilganda yana ham samarali bo'ladi. Ayrim mashinalarning rotorini vodorod bilan, statori esa suv bilan sovitiladi. Vodorod chulg'amga kompressor yordamida beriladi, suvni berishda nasoslardan foydalaniladi. Faqat suv bilan sovitiladigan katta quvvatli sinxron mashinalar ham bor.

Chulg'amlar bevosita o'tkazgichlar ichi orqali sovitilganda izolatsiya temperaturasi o'zgarmaydi, bunda tok zichligini keskin oshirish mumkin.

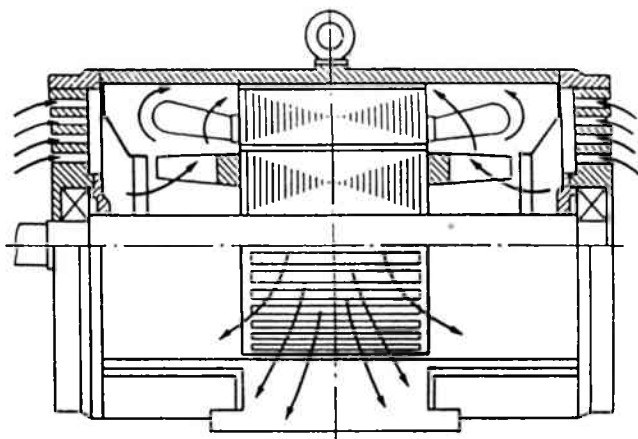
Suv bilan bevosita sovitilganda mashina quvvatining chegaralanishiga aktiv qismlarining qizishi emas, balki boshqa texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlar sabab bo'ladi.

Sovitish usullari bo'yicha elektr mashinalarining bajarilishi GOST 20459-87 tomonidan belgilanadi. Sovitish usullari, ya'ni „International Cooling“ so'zlarining bosh harflari IC orqali belgilanadi. Bu harflardan keyin yoziladigan harflar sovitish sistemasini xarakterlaydi. Masalan, IC01 — ventilatori validan o'rnatilgan, o'z-o'zini sovituvchi, himoyalangan mashina; IC0141 — mashina valiga o'rnatilgan, tashqi ventilator tomonidan haydalgan havo oqimi bilan sovitiladigan yopiq mashina va hokazo.

Har xil tipli elektr mashinalarining ventilatsiya sistemalari. IP44 himoyalash darajali, ichki va tashqi ventilatsion sistemaga ega bo'lgan asinxron motorlar keng qo'llaniladi. Ventilatsiyaning tashqi sistemasi ochiq bo'lib, aksial yo'nalishda sovitiladi. Tashqi o'rnatilgan markazdan qochma ventilator atrof muhitdan havoni so'rib, kam quvvatli mashinalarda, korpusning qovurg'alararo kanallariga (21.4- rasm) yoki katta quvvatli mashinalarda issiqlikni almashtirib beruvchi trubali qurilmaga yo'naltiriladi, so'ngra yana atrof muhitga chiqarib yuboriladi.

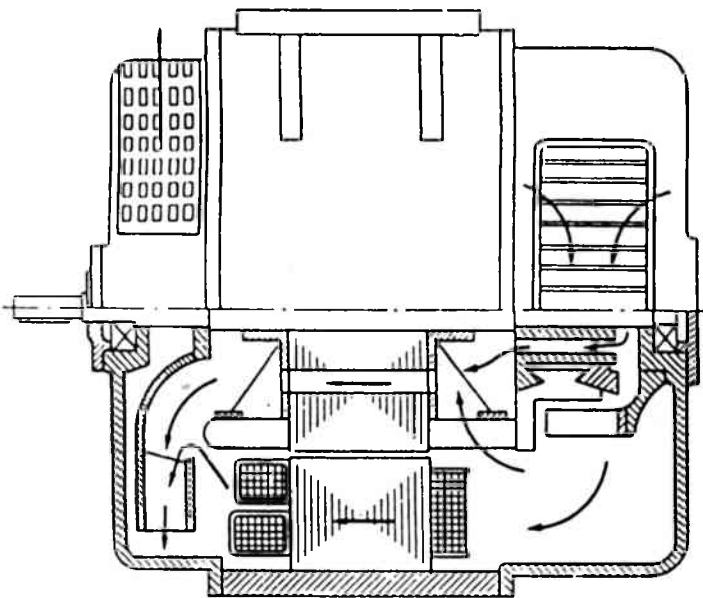


21.4- rasm. IP44 himoyalanish darajali asinxron motorda sovitish muhitining harakatlanishi.



21.5- rasm. Ventilatsiyaning radial sistemasida IP23 himoyalanish darajali asinxron motorda sovitish muhitining harakatlanishi.

IP23 himoyalanish darajali asinxron motorlar radial sistemali ventilatsiyaga ega. Ularda rotor kurakchalari ventilator sifatida ishlaydi. Motorga havo podshipnik qalqonlaridagi darchalar orqali kirib, ventilator orqali o'tadi va stator chulg'aminging pazdan tashqari qismlarini sovitadi, so'ngra stator o'zagi va stanina orasidagi kanal orqali o'tadigan havo stanina teshiklari orqali tashqariga chiqib ketadi (21.5- rasm).



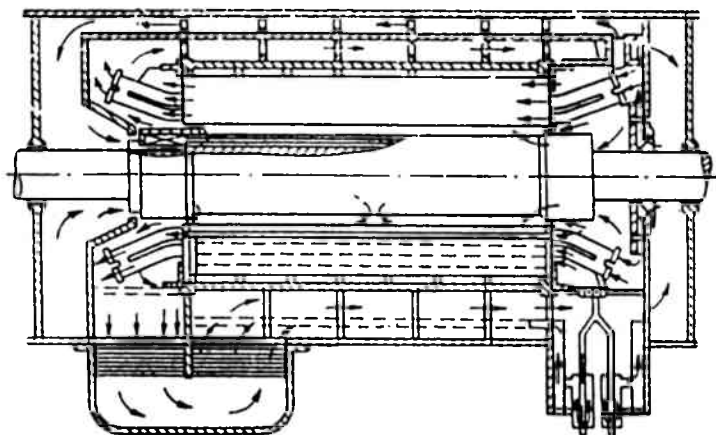
21.6- rasm. Ventilatsiyaning aksial sistemasida IP23 himoyalaniş darajali o'zgarma tok motorida sovitish muhitining harakatlanishi.

O'zgarma tok mashinalarini sovitish. Bunday mashinalar, odatda, aksial ventilatsiya sistemasiga ega bo'ladi. Mashinaga havo podshipnik qalqondagi pardali panjara orqali kirib, kollektorni sovitgandan keyin ikki oqimga bo'linadi, ulardan bittasi induktor qutblari orqali, ikkinchisi — kollektor kanallari va yakor chulg'aming pazdan tashqari qismlari orqali o'tib, yakorning aksial kanallariga kiradi. Ventilatorga kirish oldida ikkala oqim birlashadi, keyin mashinadan tashqariga chiqariladi (21.6- rasm).

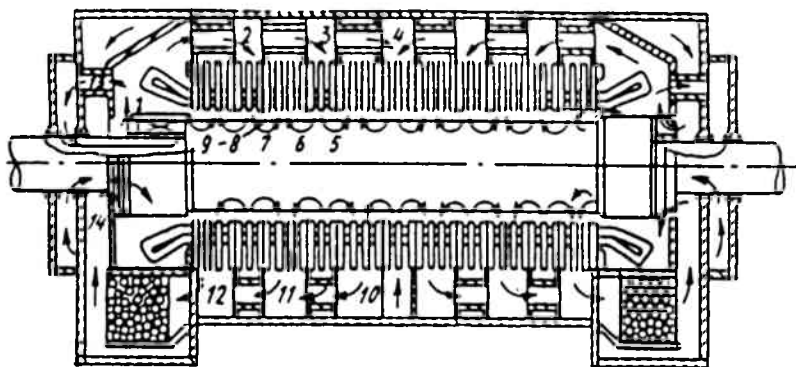
Turbogeneratorlarning sovitish sistemalari. Katta quvvatli turbogeneratorlarda ventilatsiyaning aksial va radial sxemalari yoki ularning aralashgan sxemasidan foydalaniladi.

21.7- rasmda ventilatsiyaning aksial sistemasiga ega bo'lgan, quvvati 300 MW li turbogeneratorning konstruktiv sxemasi ko'rsatilgan. Bu sistemada havo bosimini hosil qiladigan element bitta bo'lib, ventilatsiya sxemasi shoxobchalarga bo'lingan. Sovituvchi gaz yopiq sikl bo'yicha aylanadi.

21.8- rasmda ventilatsiyasi radial sistemali, quvvati 200 MW bo'lgan turbogeneratorning konstruktiv sxemasi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, sovitgichlarning oldida joylashgan



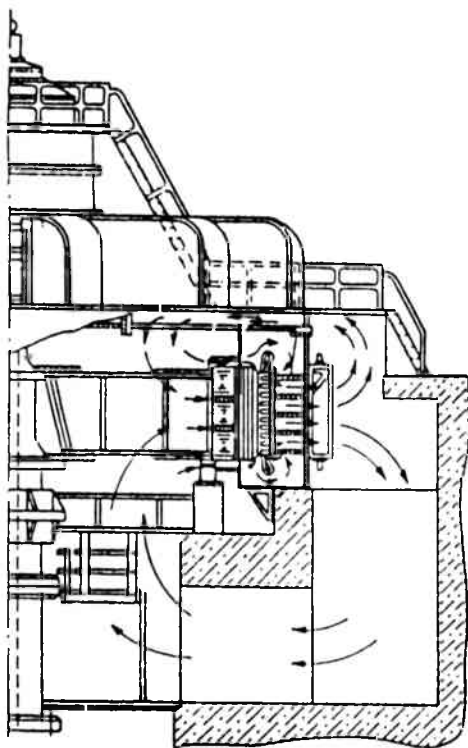
21.7- rasm. Ventilatsiyasi aksial sistemali, quvvati 300 MW bo'lgan turbogeneratorning konstruktiv sxemasi.



21.8- rasm. Ventilatsiyasi radial sistemali, quvvati 200 MW bo'lgan turbogeneratorning konstruktiv sxemasi.

qizigan havo kamerasiga gazning mustaqil chiqishlar soni oltita, shuning uchun bu ventilatsiya sxemasi *olti yo'nalishli* deyiladi.

Gidrogeneratorlarning sovitish sistemasi. Hidrogeneratorlar sovitish sistemasining konstruktiv ishlanishi ularning osma va



21.9- rasm. Hidrogeneratorning ventilatsiya sxemasi.

soyabonsimon turlari uchun umumiydir. Sovituvchi havo bosimi ventilator va rotorning shamolni vujudga keltiruvchi qismlari tomonidan hosil qilinadi. Hidrogeneratorning ventilatsiya sxemasi 21.9- rasmda ko'rsatilgan.



Nazorat savollari

1. Elektr mashinalarida qanday isroflar bo'ladi?
2. Elektr mashinalarining foydali ish koeffitsiyenti qachon maksimal qiymatiga erishadi?
3. Elektr mashinalarida issiqlik muvozanati rejimi nima?
4. Elektr mashinalarini sovitishning qanday usullarini bilasiz?
5. Ichki va tashqi sovitish sistemalari deganda nimani tushunasiz?
6. Hidrogeneratorlar qanday sovitiladi?
7. Turbogeneratorlarning sovitilish usullari haqida nimalarni bilasiz?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Алиев И.И. Электротехнический справочник. -М.: ИП РадиоСофт, 2000.
2. Арменский Е.В., Прокофьев П.А., Фалк Г.Б. Автоматизированный электропривод. Учеб.пособие для сред. ПТУ. -М.: Высш. шк., 1987.
3. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов. Учеб. пособие для сред. проф.образования. -М.: Изда. центр „Академия“, 2003.
4. Гончарук А.И. Расчет и конструирование трансформаторов. Учеб. для техникумов. -М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Ibragimov U. Elektr mashinalari. Kasb-hunar kollejlari uchun darslik. -Т.: „O‘qituvchi“, 2001.
6. Клоков Б.К. Обмотчик электрических машин. Учеб. для СПТУ. -М.: Высш. шк., 1987.
7. Лихачев В.Л. Электродвигатели асинхронные. - М.: СОЛОН - Р, 2002.
8. Кацман М.М. Электрические машины. Учеб. для студентов средн. проф. учебных заведений. -М.: Высш. шк., 2000.
9. Кацман М.М. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам и электроприводу: Учеб. пособие для студ. сред. спец. учеб. заведений. -М.: Высш. шк., 2000.
10. Кацман М.М. Электрические машины автоматических устройств. Учеб. пособие для электротехнических специальностей техникумов. -М.: ФОРУМ. ИНФРА-М, 2002.
11. Majidov S. Elektr mashinalari va elektr yuritmalar. Kasb-hunar kollejlarning qishloq xo‘jaligini elektrlashtirish ixtisoslilklari uchun darslik. -Т.: „O‘qituvchi“, 2002.
12. Москаленко В.В. Электрический привод. Учеб. для электротехн. спец. техн. -М.: Высш. шк., 1991.
13. Павлович С.Н., Фираго Б.И. Ремонт и обслуживание электрооборудования. Спецтехнология: Учеб. пособие. -М.: Высш.шк., 2001.
14. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. -М.: Высш. шк., Изд. центр „Академия“, 2001.
15. Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektr mashinalari kursini o‘qitish jarayonida uch fazali ikki chulg‘amli transformator chulg‘amlari ulanish guruhini aniqlashning talabalar o‘zlashtirishi qulay bo‘lgan takomillashtirilgan usuli. OO‘MMMI. Ta‘lim muammolari, 2002.

M U N D A R I J A

Kirish	3
Elektr mashinalari to'g'risida umumiy tushunchalar	4
1- b o b . O'zgarmas tok mashinalari	
1.1. O'zgarmas tok mashinalarining tuzilishi	7
1.2. O'zgarmas tok mashinalarining ishlash prinsipi	9
1.3. O'zgarmas tok mashinalarining yakor chulg'amlari	12
1.4. O'zgarmas tok mashinalari yakor chulg'amlarini hisoblash va tanlash	17
2- b o b . Kollektorli o'zgarmas tok mashinalari	
2.1. Kollektorli o'zgarmas tok mashinasining magnit zanjiri va uni hisoblash	23
2.2. O'zgarmas tok mashinasining yakor reaksiyasi	25
2.3. Kollektorli o'zgarmas tok mashinasida kommutatsiya	28
3- b o b . Kollektorli o'zgarmas tok generatorlarining xarakteris- tikalari	
3.1. Mustaqil qo'zg'atishli generatorning xarakteristikallari	31
3.2. Parallel va aralash qo'zg'atishli generatorlarning normal rejimdagi xarakteristikallari	33
4- b o b . O'zgarmas tok motorlari	
4.1. O'zgarmas tok motorlarining ishlash prinsipi va ish xarak- teristikallari	38
4.2. O'zgarmas tok motorlarining mexanik xarakteristikallari	43
4.3. O'zgarmas tok motorini ishga tushirish	46
4.4. O'zgarmas tok motorining rostdash xarakteristikallari	50
4.5. O'zgarmas tok motorlarini tormozlash	53
4.6. O'zgarmas tok motorlari aylanish chastotasini rostdashning zamonaviy usullari	55
5- b o b . Maxsus maqsadli va zamonaviy o'zgarmas tok mashinalari- ning ayrim turlari	
5.1. O'zgarmas tok taxogeneratorlari	58
5.2. Ijrochi o'zgarmas tok motorlari	59
5.3. Kontaktsiz o'zgarmas tok motorlari	61
5.4. O'zgarmas tok mashinalarining zamonaviy turlari	62
6- b o b . Transformatorlar	
6.1. Transformatorlarga oid umumiy ma'lumotlar	64
6.2. Transformatorning magnit o'tkazgichi va chulg'amlari	68

6.3. Uch fazali transformator chulgʻamlarining ulanish usullari hamda belgilanishi	71
7- b o b . Transformator­dagi elektromagnit jarayonlar	
7.1. Transformatorning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayonlar	73
7.2. Transformatorni salt ishlatib tajriba oʻtkazish	77
7.3. Yuklama ulangan transformator ­ dagi elektromagnit jarayonlar	79
7.4. Keltirilgan transformator	82
7.5. Transformatorni qisqa tutashtirib tajriba oʻtkazish	85
7.6. Transformatorning tashqi xarakteristik ­ lari va kuchlanishini rostdlash	88
7.7. Transformator ­ da quvvat isroflari va uning foydali ish koeffitsiyenti	90
8- b o b . Transformator chulgʻamlarining ulanish guruhlari. Transformatorlarning parallel ishlashi	
8.1. Transformator chulgʻamlarining ulanish guruhini aniqlash	93
8.2. Transformatorlarning parallel ishlashi	99
9- b o b . Transformatorlarning maxsus xillari	
9.1. Uch chulgʻamli transformatorlar	102
9.2. Avtotransformatorlar	103
9.3. Maxsus maqsadli transformatorlar	106
9.4. Elektrlashtirilgan temiryoʻl va shahar elektr transportlari uchun kuch transformatorlari	109
9.5. Elektr oʻlchash sxemalari uchun transformatorlar	110
10- b o b . Transformatorlarning qizishi va ularni sovitish sistemalari	
10.1. Kuch transformatorlarining qizishi	114
10.2. Transformatorni sovitish turlari	114
10.3. Umumiy maqsadli moyli transformatorlarni himoyalash qurilmalari	115
10.4. Kuch transformatorlarini ishlatishga oid amaliy tavsiyalar va ularning tiplari	119
11- b o b . Oʻzgaruvchan tok mashinalari	
11.1. Oʻzgaruvchan tok mashinalari chulgʻamlarining tuzilishi	122
11.2. Oʻzgaruvchan tok mashinalari chulgʻamlarining MYK va EYK	130
11.3. Oʻzgaruvchan tok mashinasi havo oraligʻidagi magnit maydon	133
12- b o b . Asinxron mashinalar	
12.1. Asinxron mashinaning tuzilishi va ishlash prinsipi	137
12.2. Asinxron mashinadagi elektromagnit jarayonlar	139

12.3. Asinxron mashinaning almashtirish sxemalari	143
12.4. Uch fazali asinxron motorning energetik diagrammasi va elektromagnit momenti	144
13- b o b . Uch fazali asinxron motorlarning xarakteristikallari	
13.1. Asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashish xarakteristikallari	148
13.2. Asinxron motorning ish xarakteristikallari	149
13.3. Asinxron mashinaning mexanik xarakteristikallari	151
13.4. Asinxron motorning doiraviy diagrammasi	153
13.5. Asinxron motorlarning ish xarakteristikalarini hisoblashning analitik usuli	154
13.6. Uch fazali asinxron motorning kuchlanishi nominaldan farqli bo'lgan ish rejimida ishlashi	158
14- b o b . Asinxron motorlarni ishga tushirish va aylanish chastotasini rostlash	
14.1. Uch fazali asinxron motorni ishga tushirish	160
14.2. Ishga tushirish xossalari yaxshilangan uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar	163
14.3. Uch fazali asinxron motorlarning aylanish chastotasini rostlash	165
15- b o b . Bir fazali asinxron motorlar	
15.1. Bir fazali va kondensatorli asinxron motorlar	167
15.2. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni bir fazali manbadan ishlatish	168
16- b o b . Asinxron mashinalarning maxsus maqsadli va zamonaviy turlari	
16.1. Maxsus maqsadli asinxron mashinalarning ba'zi turlari	171
16.2. Asinxron motorlarning zamonaviy turlari	174
17- b o b . Sinxron mashinalar va ularda bo'ladigan elektromagnit jarayonlar	
17.1. Sinxron mashinaning tuzilishi va ishlash prinsipi	178
17.2. Sinxron generatorning simmetrik yuklama bilan ishlashi	180
17.3. Sinxron generator elektr yurituvchi kuchlarining muvozanat tenglamalari va vektor diagrammalari	185
17.4. Avtonom ishlayotgan sinxron generatorning ekspluatatsion xarakteristikallari	188

18- b o b . Sinxron generatorlarning parallel ishlashi	
18.1. Uch fazali sinxron generatorni elektr tarmog'iga parallel ulash	191
18.2. Sinxron generatorning burchak va U- simon xarakteristikalari	193
19- b o b . Sinxron motorlar	
19.1. Sinxron motorning ishlash prinsipi va uni ishga tushirish usullari	197
19.2. Sinxron motor xarakteristikalari	199
19.3. Sinxron kompensator	203
20- b o b . Sinxron mashinalarning istiqbolli va maxsus turlari	
20.1. Bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli va asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar	207
20.2. O'ta o'tkazuvchan chulg'amli sinxron mashinalar	209
20.3. Induktorli generatorlar	210
20.4. Avtomatika qurilmalarida ishlatiladigan sinxron motorlarning ayrim turlari	211
21-b o b Aylanuvchi qismli elektr mashinalari uchun umumiy bo'lgan masalalar	
21.1. Elektr mashinalari aktiv qismlarini tayyorlashda qo'llaniladigan materiallar	215
21.2. Elektr mashinalarida quvvat isroflari va ularning foydali ish koeffitsiyenti	218
21.3. Elektr mashinalarida qizish va sovish jarayonlari. Ish rejimlari	223
21.4. Elektr mashinalarini sovitish usullari	227
Foydalanilgan adabiyotlar	235

31. S26

Salimov J.S., Pirmatov N.B.

Elektr mashinalari. Kasb-hunar kollejlari uchun
o'quv qo'llanma.

J.S.Salimov, N.B. Pirmatov; O'zbekiston
Respublikasi Oliy va o'rta maxsus, ta'lim vazirligi;
O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi; T.:
„O'qituvchi“ NMIU, 2005. —240 b.

I. Muallifdosh.

BBK 31.26Iya722

**JUMABOY SALIMOVICH SALIMOV,
NURALI BERDIYOROVICH PIRMATOV**

ELEKTR MASHINALARI

*Kasb-hunar kollejlari uchun
o'quv qo'llanma*

„O'qituvchi“ nashriyot-matbaa ijodiy uyi

Toshkent — 2005

Muharrir *D. Abbosova*

Badiiy muharrir *F. Nekqadamboyev*

Tex. muharrir *S. Tursunova*

Kompyuterda sahifalovchi *D. Mannonova*

Musahhih *A. Ibrohimov*

IB № 8438

2005-yil 23- martda original-maketdan bosishga ruxsat etildi.
Bichimi 60x90 $\frac{1}{16}$, Kegli 11 shponli. Tayms garniturası. Ofset bosma
usulida bosildi. Bosma t. 15,0. Nashr t. 14,0. 3100 nusxada bosildi.
Buyurtma №31.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligi „O'qituvchi“ nashriyot-
matbaa ijodiy uyi. Toshkent — 129, Navoiy ko'chasi, 30- uy.//
Toshkent, Yunusobod daxasi, Murodov ko'chasi, 1- uy. Shartnoma
№ 09—167—04.