

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

ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

«O‘TKINCHI JARAYONLAR»

**(Elektr tizimlarida elektromexanik o‘tkinchi
jarayonlari. II-qism) fani bo‘yicha**

Ma‘ruzalar matni

Toshkent-2015

Maxmudov T.F., Xabibulina A.T. O'tkinchi jarayonlar: Ma'ruzalar matni. /– Toshkent: TDTU, 2015 – 87b. Rus tilidan o'zbek tiliga t.f.d., prof. T.Sh. G'oyibov tahriri ostida tarjima qilingan.

Ushbu ma'ruzalar matnida asosiy e'tibor statik va dinamik turg'unliklar tushunchasini bilishga, ularning fizik xususiyatlarini ochishga qaratilgan. Elektr energetika tizimlarida kuzatiluvchi o'tish jarayonlarining kechish qonuniyatlari va xususiyatlari, ularni tahlil qilish usullari keng qamrovli ko'rib chiqilgan.

Ma'ruzalar matni ishchi dasturga muvofiq va 5310200 «Elektr energetika», 5140970 «Kasb ta'lim» ta'lim yonalish talabalari uchun tavsiya etiladi.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashining qaroriga binoan chop etildi.

Taqrizchilar: NDS GAK «Uzbekenergo»
t.f.n., dots. Mirzaev A.T.

ToshDTU,EF, «ESTT» kafedrası
t.f.n., dots. Soliyev O.G.

KIRISH

«Oʻtkinchi jarayonlar» fanida oʻrganiladigan asosiy obʼyekt energetika sistemasi hisoblanadi.

Elektr tizim – elektr energetikani elektr qismi boʻlib, unda elektr energiya ishlab chiqaruvchi (ES), oʻzgartiruvchi (transformatorlar), uzatuvchi (havo elektr uzatish yoʻllari (HEUY) va kabel liniyalari (KL) va isteʼmol qiluvchi elementlar majmuasi tushiniladi.

Elektr energiyani ishlab chiqarishda oʻzgartirishda uzatishda va isteʼmol qilishda qatnashadigan tizim elementlarini shartli ravishda boʻlish mumkin:

- Asosiy elementlarga (turbinalar, sinxron va asinxron generatorlar, transformatorlar, elektr uzatish yoʻllari, kompensatsialovchi qurilmalar, elektr dvigatellari);
- Boshqaruv elementlari (turbinalar tezligini avtomatik rostlagich, sinxron generator va sinxron kompensatorlar qoʻzgʻatish tokini avtomatik rastlagichlar, kommutatsiya qurilmalari, releli himoya elementlari, avariya qarshi avtomatikasi va boshqa avtomatik rostlagich va boshqarish qurilmalari);
- Himoya elementlari (yashin qaytargichlar, razryadniklar, reaktorlar, eruvchan saqlagichlar).

Elektr sistemada ayni muayan paytda kechadigan jarayonlar majmuasiga uning holati (rejimi) deyiladi. Uning rejimini son va sifat jihatdan xarakterlovchi koʻrsatkichlarga – holat parametrlari deyiladi. Bu koʻrsatkichlarga sistemada ishlab chiqarilayotgan va isteʼmol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvat (P , Q), tugunlardagi kuchlanish (U), isteʼmol qilinayotgan tok (I), tok va kuchlanishning oʻzgarish chastotasi (f), parallel ishlayotgan generatorlar rotorli orasidagi burchak siljishi (δ_{ij}), generatorlarning sirpanish koeffitsiyenti (S_{sg}), generatorlarning absolyut yuklanish burchagi (δ_G), generatorlarning qoʻzgʻatish toki (i_f) kiradi. Holat parametrlari sistema rejimi oʻzgaradi va oʻzaro noxiziq bogʻlanishda boʻladi.

Elektr sistema rejimlari boʻlinadi:

- turgʻunlashgan barqarorlashgan rejim;
- oʻtkinchi rejim.

Sistemada baʼzi bir sabablarga yoki avtomatik qurilmalarning notoʻgʻri ishlashi tufayli paydo boʻladigan oʻtkinchi rejim – oʻtkinchi jarayonlarning paydo boʻlishi bilan bogʻliq boʻlib, elektr sistema elementlarining holatining oʻzgarishi kuzatiladi.

Elektr sistemada har xil sabablarga koʻra paydo boʻladigan turtkilar taʼsirida bir qancha rejim parametrlarining vaqt boʻyicha oʻzgarishi kuzatiladi.

Oʻtkinchi jarayonlar ularning paydo boʻlish sabablari va kechadigan jarayonlari boʻyicha: toʻlqin, elektromagnit va elektromexanik qismlarga ajraladi.

Oʻtkinchi jarayonlar deb elektr sistemasining bir barqarorlashgan holatdan boshqa barqarorlashgan holatga oʻtishiga aytiladi. Elektr sistemasining fizikakviy xususiyatlariga bogʻliq ravishda bu jarayonning tabiati yagona ajralmasdir va shu jarayon uchun uning matematik tasnifi ishlatiladi. Lekin koʻpgina amaliy masalalarda oʻtkinchi jarayonlar bir necha ketma ket oʻtuvchi va EES bir guruh maʼlum parametrlarining oʻzgarishini tavsiflovchi jarayonlardan tashkil topgan deb qaraladi.

Elektr tizimida oʻtkinchi jarayon elektromagnit va mexanik oʻzgarishlari bilan xarakterlanadi. Shuning uchun oʻtkinchi jarayonini boshlangʻich davri elektromagnit oʻtish jarayoni deb nomlanadi. Keyinchalik bu jarayonga mexanik taʼsirlar qoʻshilganda bu oʻtkinchi jarayon elektromexanik deb nomlanadi.

1- Ma'ruza. Asosiy tushunchalar va o'tkinchi jarayonlar turlari

Zamonaviy elektr sistemalari turli quvvatdagi ko'p sonli elektr stansiyalarini birlashtirganliklari bilan xarakterlanadi. Elektr sistemalarining taraqqiy qilishi bilan ularni birlashtirishning maqsadga muvofiqligi ortib boradi.

Elektr sistemalarini birlashtirish o'zgaruvchan yoki o'zgarmas tokli yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalari (EUL) ko'rinishidagi sistemalararo elektr aloqa yordamida amalga oshiriladi. Ushbu birlashish quyidagilarni ta'minlaydi:

- ishonchlilikni oshiradi, yani biror bir elementni shikastlanishiga qaramasdan (generator, transformator) istemolchi energiya olishni davom ettiradi;
- sistemadagi quvvat va energiya zahirasini kamaytiradi;
- birlashtirilayotgan sistemalarning quvvatlarini ularning ish holatlarini hisobga olgan holda optimal ishlatilishiga erishiladi;
- biror bir sistema ishdan chiqqanda yoki boshqa hollarda o'zaro yordam ko'rsata olinadi.

Odatda elektr sistemalari orasidagi aloqa bir zanjirli yoki ikki zanjirli yuqori kuchlanishli EUL tomonidan amalga oshiriladi. Elektr energiyasini uzatishda kuchlanishning katta qiymatga ega bo'lishligining muhimligi quyidagi oddiy tushunchalar bilan izohlanadi.

Ma'lumki, uch fazali tokning aktiv quvvati quyidagi munosabatdan topiladi

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi. \quad (1.1)$$

Bu yerda: U, I – chiziqli kuchlanish va tok; $\cos \varphi$ - aktiv quvvat ko'effitsiyenti; φ - faza kuchlanishi va faza toki orasidagi faza burchagi.

(1.1) formuladan ko'rinib turibdiki, aktiv quvvatni tok yoki kuchlanishni oshirish hisobiga oshirish mumkin: tokning oshishi isrofni uning kvadratiga proporsional tarzda oshishiga olib keladi:

$$\Delta P = 3I^2 R. \quad (1.2)$$

Bu yerda R – bitta fazaning aktiv qarshiligi. Kuchlanishning oshishi o'z navbatida tokning kamayishiga va material ishlatilishining kamayishiga olib keladi, chunki o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi quyidagi munosabatdan topiladi:

$$F = \frac{P \cdot \ell \cdot 100}{\Delta U \cdot \gamma_a \cdot U^2}. \quad (1.3)$$

Bu yerda: P - uzatilayotgan quvvat; ℓ - o'tkazgichning uzunligi; γ_a – materialning solishtirma o'tkazuvchanligi; ΔU – kuchlanish isrofi, %; U – kuchlanish.

Tutashtiruvchi liniyalarning o'tkazish qobiliyati birinchi navbatda elektr sistemalari va elektr stansiyalari sinxron generatorlarining parallel ishlashlarining turg'unlik sharti bilan belgilanadi.

Zamonaviy elektr stansiyalari generatorlarining quvvatlari solishtirib bo'lmaydigan darajada oshdi: ularning maksimal qiymatlari 1200 MVt ga yetdi, ikki qutbli generatorlarda – 3000 ayl/min (Rossiya) va 1600 MVt, to'rt qutbli genera-

torlarda – 1500 ayl/min (Germaniya). O‘zbekistonda Tollimarjon IESida 800 MVtli generator – Markaziy Osiyoda eng katta o‘rnatilgan quvvatli ikki qutbli sinxron turbogenerator o‘rnatilgan. Xulosa qilish mumkinki, bunday agregat ishlayotgan energosistemaning turg‘unligini ta‘minlashni talab qiladi.

O‘zbekistonda kuchlanishi 500 kV gacha bo‘lgan mahalliy va yuqori kuchlanishli EUL li elektr tarmoqlar mavjud. Mamlakatimizda umumiy quvvati 12 mln.kVt li, yiliga 45-50 mlrd.kVt. soatgacha hajmdagi elektr energiyasi ishlab chiqara oladigan 9 ta issiqlik va 30 ta gidravlik elektr stansiyalari ishlab turibdi. Respublikamiz energosistemasida Markaziy Osiyo va Rossiya energosistemasiga ulangan.

Energetikaning taraqqiyoti elektroenergetik - mutaxassisdan energosistemada va uning alohida qismlarida yuz berayotgan hodisalar va jarayonlarni yaqqol tasavvur qilishni talab etadi. Ular jarayonlarni boshqarish nuqtai nazaridan tushunishlari kerak. Buning uchun ular ushbu jarayonlarni ko‘ra bilishi, hisoblay olishi va sistemaning parametrlarini miqdoriy o‘zgarishlarini holat parametrlarining o‘zgarishlariga bog‘liqligini ko‘ra bilishi kerak.

Sistemada kechuvchi jarayonlar sistema elementlarida kechuvchi jarayonlardan tubdan farq qilishi mumkin. Ushbu xususiyat o‘rganilayotgan kursning mohiyatini belgilaydi.

Kursning predmeti – o‘zaro bog‘langan elektromagnit va mexanik o‘tkinchi jarayonlarni o‘rganish – butun elektr sistema va uning alohida olingan elementlaridagi jarayonlarning elektromexanik hodisa va qonuniyatlarini ularning birgalikda ishonchli ishlashlarini ta‘minlash nuqtai nazaridan o‘rganishdir.

Asosiy tushunchalar bilan tanishamiz.

Elektr sistema – bu elektroenergetik sistemaning elektr qismi bo‘lib, u quyida keltirilgan elementlarning majmuini tashkil etadi:

a) kuch elementlari - elektr energiyani ishlab chiqaruvchi, o‘zgartiruvchi, uzatuvchi, taqsimlovchi va iste‘mol qiluvchi elementlardir; (generatorlar, turbinalar, transformatorlar, podstansiyalar);

b) boshqarish elementlari – sistema holatini o‘zgartiruvchi va boshqaruvchi elementlar (tezlik, chastota, qo‘zg‘atish rostlagichlari).

Sistema holatlari – bu sistemaning holati bo‘lib, u sistema va uning elementlarida va ularning sistemadagi ulanishlariga bog‘liq holda yuz berayotgan turli jarayonlarning majmui ko‘rinishida belgilanadi.

Sistema holati bog‘lovchi tugunlardagi kuchlanishning qiymati U , chastotasi f , generator ishlab chiqarayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar bilan xarakterlanadi. Sistema holati miqdor va sifat ko‘rsatkichlariga ega.

Miqdor ko‘rsatkichlari: ishlab chiqilayotgan aktiv va reaktiv (P, Q) quvvatlar, Q va R quvvatlar oqimlari, ishlab chaqarilayotgan elektroenergiya.

Sifat ko‘rsatkichlari: sistemaning bog‘lovchi tugunlaridagi kuchlanishning qiymati, chastota f , kuchlanish va tokning sinusoidal formalari, kuchlanish va toklarning vektorlarini simmetrikligi va boshqalar.

Holat parametrlariga sistemaning holatini aniqlovchi va sistema holati o‘zgartiruvchi P, Q, U, I, f kabi parametrlar kiradi.

Sistema parametrlari. Bunga turli qarshiliklar, o‘tkazuvchanliklar, sistema elementlarining koeffitsiyentlari $X_G, X_T, r_G, r_T, X_P, K_T, X_R$ va x.k.lar kiradi. Sistema parametrlari umumiy holda noxizirlidir. Lekin ushbu kursni o‘rganishda biz ularni o‘zgarimas kattaliklar deb qabul qilamiz.

Elektr sistemalari holatlari turg'un va noturg'un – o'tuvchan bo'lishlari mumkin. Shunga mos ravishda normal va shikastlanish holatlari farqlanadi. O'tkinchi jarayonlar normal va shikastlanish ko'rinishida bo'ladi.

Normal o'tkinchi jarayonlar normal ishlatish sharoitida rostlovchi qurilmalarning tasirida va sistema yuklamasining odatiy o'zgarishida yuz beradi. Masalan, dispatcher ikkita ishlayotgan liniyadan birini uzadi yoki biror bir generatorni ulaydi va xakozo. Ushbu hollarda o'tkinchi jarayon yuz beradi va u normal deb ataladi. Normal o'tkinchi jarayonlarda holat parametrlari o'zlarining turg'un kattaliklaridan kichik miqdorda farq qiladilar.

Ma'lum bir kichik o'zgarish hosil qiluvchi tasirlar, masalan yuklamani o'zgarishi, rostlagichlar faoliyati va hokazolar uzluksiz davom etadi va buning natijasida sistemada o'tkinchi jarayonlarga sabab bo'luvchi kichik turtkilar doimo kuzatiladi.

Kichik turtkilar sistema turg'un ishlashining izdan chiqarishiga sabab bo'lmasliklari kerak. Shuning uchun sistema kichik turtkida turg'un bo'lishi shart yoki boshqacha ifodalaganda statik turg'un bo'lishi shart.

Statik turg'unlik – bu sistemaning boshlang'ich holatini yoki unga yaqin bo'lgan holatni sistemadagi kichik turtkilarda mustaqil tiklanishidir.

Shikastlanish o'tkinchi jarayonlari bir qism elektr generatorlarining, liniyalarning qisqa tutashuv yoki boshqa hollarda uzilishi va holat parametrlarining shiddatli kuzatilmagan o'zgarishlari natijasida yuz beradi.

Shikastlanish natijasida holat parametrlari katta miqdorga o'zgaradi (U , P kamayadi), yani elektr sistemasi katta turtki tasirida bo'ladi. Misol tariqasida sistemadagi 3 fazali qisqa tutashuv kuchlanishni chuqur pasayishi, xattoki nolgacha pasayishi, generatorlarning holat parametrlarining tebranishi bilan kuzatiluvchi turtki ko'rinishida sodir bo'lishi mumkin.

Sistema katta turtkilarga turg'un, yani dinamik turg'unlikka ega bo'lishi shart.

Dinamik turg'unlik - bu sistemaning holat parametrlarini katta qiymatga o'zgarishi bilan kuzatiluvchi turtkilardan keyin boshlang'ich yoki unga yaqin holatlarga mustaqil tiklanishidir.

O'tkinchi jarayonlarning asosiy turlari

Sistema bir holatdan ikkinchi holatga o'tganda (masalan, generator yoki yuklamalarni uzilishi yoki qo'shilishi) elektr va elektromexanik zanjir bilan bog'liq energiya miqdorini o'zgarishi kuzatiladi. Masalan, qisqa tutashuvlarda, ayniqsa uch fazali qisqa tutashuvda, barcha energiya shikastlanish joyida sarflanadi va shuning uchun u yerda qurilmalarning mexanik buzilishini, ravshan portlashni yoki shu kabilarni kuzatish mumkin. Bu jarayon juda tez sodir bo'ladi, kuchlanish deyarli zudlik bilan nolgacha kamayadi, lekin boshlang'ich momentda generator va motorlarning aylanish tezliklari ularning inersionliklari tufayli o'zgarishsiz qoladi. Aylanuvchi mashinalarning vallaridagi momentlar balansi o'zgarishi hisobiga ularning aylanish tezligi sekin asta o'zgaradi. Boshqacha so'z bilan aytganda, agregatlarning elektromagnit va mexanik holatlari o'zgarish tezligi sezilarli farq qiladi. Shuning uchun o'tkinchi jarayonlar tadqiqot paytida paydo bo'lish sabablari, tebranishlar chastotasi, kechish vaqtiga ko'ra turlicha guruhlariga bo'linadi. Vaqt bo'yicha farq qiluvchi o'tkinchi jarayonlarni qisqacha ko'rib o'tamiz.

O'tkinchi jarayonlarning birinchi ko'rinishi – bu to'lqinsimon o'tkinchi jarayonlar bo'lib, ular ichki, kommutatsiya, momaqaldiroq va boshqa o'ta kuchlanishlar bi-

lan bog‘liq. Sistema elementlarining mexanik holatlarini o‘zgarishi, masalan, generator, turbina rotorlarining aylanish tezligini o‘zgarishi va boshqalar ushbu jarayonlarning kechishiga ta’sir ko‘rsatmaydi. Ushbu jarayonlarni yuz berish va kechish vaqti $t_{ul}=(10^{-5}\div 10^{-8})\text{ s}$ mobaynida bo‘ladi. Ushbu hodisa ma’lumotlarini yuqori kuchlanish texnikasi kursida o‘qitiladi.

Elektromagnit o‘tkinchi jarayonlar sistemada yuz berayotgan mexanik holatlarni hisobga olmagan holda o‘rganiladi. Masalan, sinxron generatorlardagi elektromagnit o‘tkinchi jarayonlar generator rotorlarini aylanish tezligining o‘zgarmasligi shartida $\omega_p=\text{const}$ ko‘riladi. Bunday jarayonlarning sodir bo‘lish va kechish vaqti $t_{em}=2\ (10^{-2}\div 10^{-3})\text{ s}$ ni tashkil etadi.

O‘tkinchi jarayonlarning uchinchi turi - bu elektromexanik o‘tkinchi jarayonlardir. Ushbu jarayonlarga generator, turbina, motorlarning aylanish tezliklarining o‘zgarishi sezilarli darajada tasir qiladi. Biz sistemaning elektromagnit va mexanik holatlarini bir vaqtda ko‘rib chiqamiz va bunda ularni birgalikda va o‘zaro tasirlarini hisobga olamiz. Ushbu holatlardan kursning tarkibi, nomi va mazmuni kelib chiqqan. Ushbu o‘tkinchi jarayonlarning sodir bo‘lishi va kechish vaqti uni xarakterlovchi (U , I va boshqalar) fizik kattaliklarning tarqalish vaqtidan sezilarli darajada katta bo‘lib, $t_{em}=0,02\div 10\text{ s}$. atrofida va undan katta bo‘lishi mumkin.

Sinov savollari

1. O‘tkinchi jarayonlarning asosiy turlari.
2. Elektr tiziming tavsifi.
3. Tizim holati bo‘yicha tushuncha.
4. Elektr tizimining sifat va miqdoriy ko‘rsatkichlarni aytib bering.
5. Normal o‘tkinchi jarayonining tavsifi.

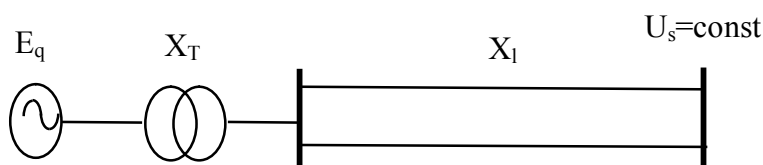
2- Ma’ruza. Elektr tizim va holat parametrlarini o‘rganish, ularning orasidagi aloqa

Holat parametrlariga sistemaning holatini aniqlovchi va sistema holati o‘zgariganda o‘zgaruvchi P , Q , U , I , f kabi parametrlar kiradi.

Sistema parametrlari. Bunga turli qarshiliklar, o‘tkazuvchanliklar, sistema elementlarining koeffitsiyentlari X_G , X_T , r_G , r_T , X_b , K_T , X_R va X.k.lar kiradi. Sistema parametrlari umumiy holda noxiziqdir. Lekin ushbu kursni o‘rganishda biz ularni o‘zgarmas kattaliklar deb qabul qilamiz.

Elektr sistemalari holatlari turg‘un va noturg‘un – o‘tuvchan bo‘lishlari mumkin. Shunga mos ravishda normal va shikastlanish holatlari farqlanadi. o‘tkinchi jarayonlar normal va shikastlanish ko‘rinishida bo‘ladi.

Elektr energetikasining asosiy vazifasi istemolchilarni elektr energiya bilan uzluksiz va turg‘un ta’minlashdan iborat. Qanday sharoitlarda generatorlarning turg‘un ishlashini ta’minlash mumkinligini, elektr uzatish liniyasi orqali qanday miqdordagi quvvatni uzatish mumkinligini, turg‘unlikni ta’minlash qanday faktorlarga bog‘liqligini, normal ishlayotgan sinxron generatorlarning turg‘un, parallel ishlashi nima sababdan buzilishini aniqlash lozim. Bu masalalarni ko‘rib chiqishga kirishamiz.

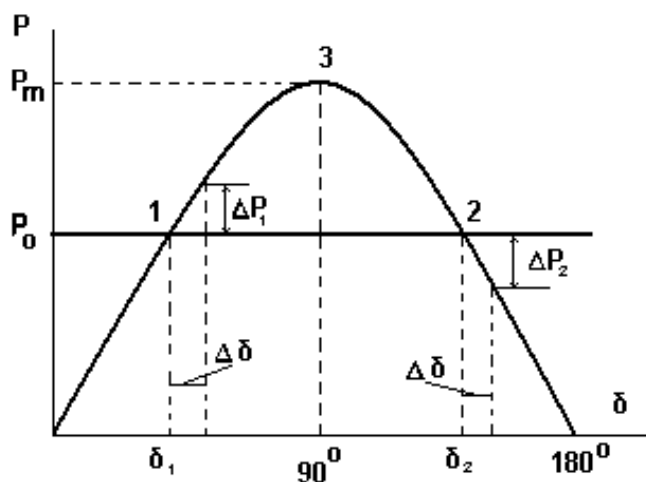


2.1- rasm. Oddiy elektr sistemaning sxemasi.

Bundan oldingi bo'limda 2.1-rasmda tasvirlangan elektr uzatish sxemasi uchun burchak xarakteristikasi deb yuritiluvchi elektr quvvatining e.yu.k. E_q va qabul qiluvchi shinalar kuchlanishi U vektorlari orasidagi burchakka bog'liq ifodasi keltirib chiqarilgan edi:

$$P_g = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \quad (2.1)$$

E_q , U , $X_{d\Sigma}$ larning qiymatlari berilgan holda generatorning quvvati burchakning funksiyasi bo'lib, bu bog'lanish egri chiziqli – sinusoidaldir. To'liq bo'lishi uchun ushbu grafikning o'zida turbin quvvati P_T ning xarakteristikasi qurilib, u δ burchakka bog'liq bo'lmaganligi sababli to'g'ri chiziq ko'rinishida tasvirlanadi (2.2-rasm).



2.2- rasm. Oddiy elektr sistemaning burchak xarakteristikasi.

Generatorning valida quvvatlar balansi $P_G = P_T$ saqlanganda, ya'ni turbinaning aylantiruvchi mexanik quvvati (momenti) va generatorning tormozlovchi elektromagnit quvvati (momenti) teng bo'lganda sinxron ishlash ta'minlanadi. Ushbu tasdiq, shuningdek, sinxron mashina rotorini nisbiy harakatining oldingi paragrafda kiritilgan differensial tenglamasidan ham hosil bo'ladi:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\Delta P}{T_j} = \frac{1}{T_j} (P_T - P_G) \quad (2.2)$$

Agar $P_G = P_T$, $\delta = 0^\circ$ zgarimas bo'ladi va bu shart turg'unlikni ta'minlaydi. 2.2-rasmdagi grafikdan ko'rinadiki, $P_G = P_T$ shart δ_1 va δ_2 burchaklar mos keluvchi ikkita 1 va 2 nuqtalarda bajariladi. Bu nuqtalarning qaysi birida generator turg'un ishlashini aniqlash lozim.

Faraz qilaylik, qandaydir ta'sir natijasida 1 nuqtada burchak kichik miqdor $\Delta\delta$ ga og'di. Bunda generatorning elektromagnit quvvati va elektr uzatish liniyasi orqali uzatiluvchi quvvat ΔP_1 ga ortib, turbinaning mexanik quvvati inersiya tufayli o'zgarishsiz qoldi. $P_{G1} + \Delta P_1 > P_T$ bo'lib qolganligi sababli valda quvvatlar (momentlar) balansi buzildi. Bunda tormozlovchi moment katta bo'lganligi sababli generatorning rotor tormozlanadi. Natijada burchak kamayib boradi, ya'ni $\Delta\delta \rightarrow 0$, va rotor momentlar muvozanati ta'minlanuvchi 1 nuqtaga qaytadi. Bu nuqtada burchak $\Delta\delta$ ga kamaygan holda ham shu kabi jarayon – 1 nuqtaga qaytish yuz beradi.

Agar burchakning $\Delta\delta$ miqdorga ortishi 2 nuqtada yuz bersa, u holda $P_{G2} - \Delta P_2 < P_T$ bo'lganligi sababli valda ortiqcha tezlashtiruvchi lahza hosil bo'ladi. Natijada rotorning aylanish tezligi ortib, u burchakning yanada ortishiga olib keladi. Burchakning ortishi o'z navbatida valdagi ortiqcha tezlashtiruvchi momentni yanada oshiradi va x.k. Shunday qilib, rotor va mos ravishda holat 2 nuqtaga qaytmaydi. Burchak kamayganda ham shu kabi jarayon kuzatiladi va u rotorning 1 nuqtaga qaytishi bilan tugaydi.

Yuqoridagiga mos ravishda 1 nuqtadagi holat turg'un hisoblanadi, chunki kichik og'ishlar sodir bo'lganda rotor dastlabki nuqtaga qaytadi. Boshlang'ich yoki unga yaqin bo'lgan holatning qayta tiklanishi sinxron generator va mos ravishda elektr sistemasini turg'un ishlashining asosiy ko'rsatkichi ekanligini yodda tutish lozim.

Turbina quvvati va mos ravishda liniya orqali uzatiluvchi quvvatning grafikka muvofiq ortib borishi bilan δ burchak ham ortib, holat 3 nuqtaga yaqinlashib boradi. Bu nuqta, bir tomondan, generatorning $\delta_m = 90^\circ$ bo'lgan holda berishi mumkin bo'lgan maksimal aktiv quvvatni ko'rsatadi:

$$P_g = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta, \quad (2.3)$$

bu yerda $P_m = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}}$ - maksimal quvvat. Boshqa tomondan 3 nuqta generatorning turg'un va noturg'un ish sohalarini ajratuvchi chegara hisoblanadi.

Burchakning

- $\delta = 0^\circ$ oralig'i sinxron generatorning turg'un ishlash sohasi;
- $\delta > 90^\circ$ bo'lgan qiymatlari generatorning noturg'un ishlash sohasi ekanligini yodda tutish lozim.

$P_m = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}}$ maksimal quvvat U kuchlanishning o'zgarimas qiymatiga mos kelib, uzatiluvchi quvvatning ideal statik chegarasi deb yuritiladi.

Amaliy hisoblashlarda statik turg'unlik darajasini (kichik og'ishlardagi turg'unlikni) miqdoriy jihatdan baholash maqsadida quyidagi munosabat bo'yicha aniqlanuvchi statik turg'unlikning zahira koeffitsiyenti tushunchasi kiritiladi:

$$K_s = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100\% . \quad (2.4)$$

K_s ning qiymati

- normal holatlarda 20%;
- avariya dan keyingi holatlarda 8% belgilanadi.

Yuqorida sinxron generatorning turg'un ishlashi burchak va quvvat orttirma $\Delta\delta$ va $\Delta P = P_T \pm P_G$ larning ishoralari bir xil bo'lgan holdagina ta'minlanishi ko'rsatilgan edi. Bunday holda og'ishlar uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$\frac{\Delta P}{\Delta\delta} > 0 \quad \text{yoki hosilalarga o'tsak,}$$

$$\frac{d\Delta P}{d\delta} = \frac{d(P_T - P_G)}{d\delta} = \frac{dP}{d\delta} > 0, \quad \text{chunki } P_T = \text{o'zgarmas.}$$

Shunday qilib, statik turg'unlik

$$\frac{dP}{d\delta} > 0. \quad (2.5)$$

shart bajarilgan holda ta'minlanadi.

Bu shart sinxron mashina statik turg'unligining matematik mezoni hisoblanadi. Kichik turtkilarda turg'unlik muammosi va ma'nosi ushbu shartni bajarish uchun choralar ko'rishga keltiriladi. Ular keyinroq ko'rib o'tiladi.

Yana bir bor ta'kidlab o'tish lozimki, elektr uzatish liniyasi orqali aktiv quvvatni uzatish imkoniyati aynan e.yu.k. E_q va qabul qiluvchi sistema kuchlanishi vektorlari orasida δ burchak, boshqacha aytganimizda, uzatmaning chekkalaridagi kuchlanish vektorlari orasida burchak mavjud bo'lishi bilan bog'liqdir. Shunday qilib, turbinaga kiritiluvchi energiya tashuvchining (bug' yoki suv) miqdori va ularning mexanik quvvatlarini o'zgarishi uzatmaning elektr holatlarida uning turg'unligi va chegara-viy holatini xarakterlovchi miqdor hisoblanuvchi δ burchakning o'zgarishi orqali aks etadi.

Sinov savollari

1. Tizim parametrlarni aytib bering.
2. Elektr energetikani asosiy maqsadi nimada?
3. Sinxron generatorning burchak xarakteristikasini aniqlash.
4. Sinxron mashinaning rotorini nisbiy harakat tenglamasi.
5. Elektr sistemaning turg'unligi bo'yicha tushuncha.
6. Uzatiluvchi quvvatning ideal statik chegarasi.

3- Ma'ruza. Sinxron generatorlarning qo'zg'atish sistemalari

Sinxron mashinalarning qo'zg'atish va rostlash sistemasi – bu qo'zg'atish tokini hosil qiluvchi va ularni boshqaruvchi mashina va apparatlardir. Sinxron mashinalarning qo'zg'atish sistemasi generator yoki motor rotorining chulg'ami, rotor

chulg'amiga beriluvchi o'zgarmas tok kuchlanish manbasi va kommutatsion apparaturalardan iboratdir. Qo'zg'atish sistemasini o'rnatishdan asosiy maqsad – mashinada magnit maydoni tashkil qilishdir.

Qo'zg'atish sistemasining o'tkinchi jarayon xarakteriga ta'siri juda katta. Shu sababli generatorlarning qo'zg'atkichlari quyidagilarni ta'minlashi shart:

- normal va avariya holatlarida lozim bo'lgan qo'zg'atish quvvatini ta'minlash;
- qo'zg'atishni avtomatik yoki rostlashda rotor tokini berilgan qonun bo'yicha o'zgartirish;
- imkoni boricha yuqori qo'zg'atishning darajasini ta'minlash;
- ulkan generatorlar uchun muhim hisoblangan rotor tokini ortib borish tezligining imkoni boricha maksimal bo'lishi.

Biroq holat parametrlari tez o'zgarganda (masalan, qisqa tutashuv paytida U ning tushib ketishi) qo'zg'atish sistemasining ishlashi kechikadi, chunki qo'zg'atkich va generatorning qo'zg'atish chulg'amlari induksiyaga – elektromagnit inersiyaga ega bo'lib, buning ta'sirida ulardagi tok eksponensial qonun bo'yicha o'zgaradi (3.1-rasm).

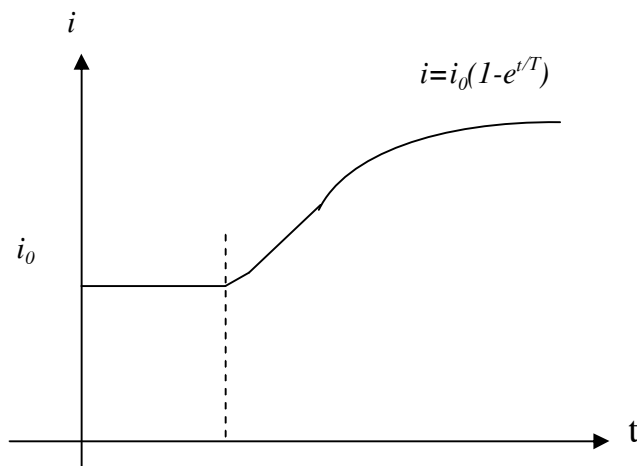
Qo'zg'atish sistemalari konstruktiv yasalishi bo'yicha turlarga bo'linadi:

- 1) elektr mashinali ($N=5\div 100$ MVt nominal quvvatli agregatlar uchun);
- 2) statik tiristorli sistemalar ($N=200\div 500$ MVt va undan yuqori nominal quvvatli agregatlar uchun) va qo'zg'atkichning turi bo'yicha:

- 1) o'z-o'zini qo'zg'atishli;
- 2) mustaqil qo'zg'atishli.

Sinxron generatorining qo'zg'atish toki eksponensial tarzda o'zgaradi (3.1-rasm).

Bu yerda $T=L/R$ bo'lib, chulg'amning induktivligi va aktiv qarshiligi uni inersionligini xarakterlaydi va vaqt doimiysi deb ataladi. Hozirgi paytda ushbu kamchiliklardan holi bo'lgan to'g'rilovchi sxemali qo'zg'atish sistemalari qo'llaniladi.



3.1- rasm. Sinxron generatorning qo'zg'atish tokining o'zgarishi xarakteristikasi.

Bunday qo'zg'atish sistemalarini qisqacha ko'rib o'tamiz.

O'z-o'zini qo'zg'atishli qo'zg'atkich.



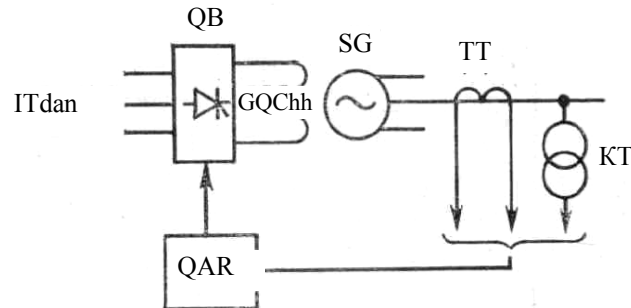
Mustaqil qo‘zg‘atishli qo‘zg‘atkich.



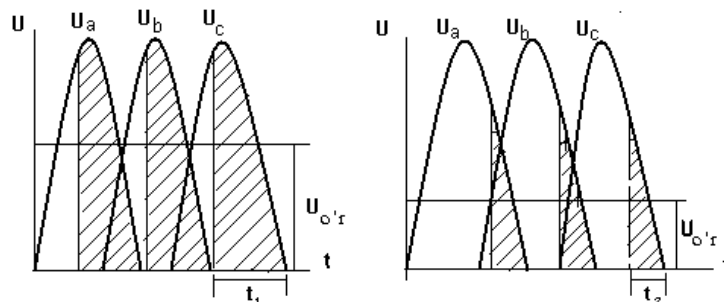
Statik tiristorli qo'zg'atish sistemalari

Hozirgi davrda 200 MVt va undan yuqori quvvatli generatorlar qoʻzgʻatish sistemalarining asosi boʻlib boshqarilmaydigan toʻgʻrilagichli oʻzgaruvchan tok mashinalari yoki yuqori chastotali, schotkasiz va tiristorli boshqariluvchi toʻgʻrilagichlar hisoblanadi.

To'g'rilangan kuchlanishni o'zgartirish ventillarning yonish vaqtini rostlash orqali amalga oshirilishi mumkin. Ventillarning to'riga ma'lum miqdordagi yopuvchi manfiy kuchlanish beriladi. Lozim bo'lgan lahzada bu kuchlanishga maxsus pik-generator yordamida hosil qilinadigan ochuvchi musbat impuls qo'shiladi. Bu jarayon (3.7-rasm)da keltirilgan.



3.6- rasm. Tiristorli qo'zg'atish sistemasining sxemasi.



3.7- rasm. Ventillarning yonish vaqti bo'yicha kuchlanishning o'zgarishi.

Bu diagrammalardan ko'rinadiki, ventillarning ochilish vaqti qanchalik katta bo'lsa, to'g'rilangan kuchlanishning qiymati shunchalik katta bo'ladi. Bunday sistemalarda vaqt doimiysi elektr mashinali qo'zg'atish sistemalaridagiga nisbatan ancha kam bo'ladi.

Qo'zg'atish sistemalari quyidagi ko'rsatkichlar bilan xarakterlanadi:

- qo'zg'atishning nominal kuchlanishi. Odatda uning qiymati $U_{nq}=200-400 \text{ V}$ oralig'ida bo'ladi;
- qo'zg'atishning nominal toki (i_{nq});
- salt ishlash holatidagi vaqt doimiysi T_{d0} ;
- qo'zg'atkich chulg'aming vaqt doimiysi T_e ;
- qo'zg'atish sistemasining quvvati. U odatda agregat umumiy quvvatining 0,2-0,8% ni tashkil etadi.

Tok va kuchlanishning uzoq vaqt oshgan miqdorda bo'lishi mos chulg'amlarning qizishiga, ularning izolyasiyasini ishdan chiqishiga, chulg'amlarning shikastlanish ehtimolini oshishi orqali ishonchliligini pasayishiga olib keladi. Shu sababli, qo'zg'atish sxemalari qo'zg'atkich toki va kuchlanishining eng yuqori chegaralari bilan xarakterlanadi.

Kuchlanish bo'yicha eng yuqori chegara yuqori chegara kuchlanishi U_{chyu} ning qo'zg'atkichning nominal kuchlanishi U_{nq} ga nisbati sifatida aniqlanadi. Ushbu nisbat:

turbogeneratorlar uchun ≥ 2 ;

gidrogeneratorlar uchun (1,8÷4).

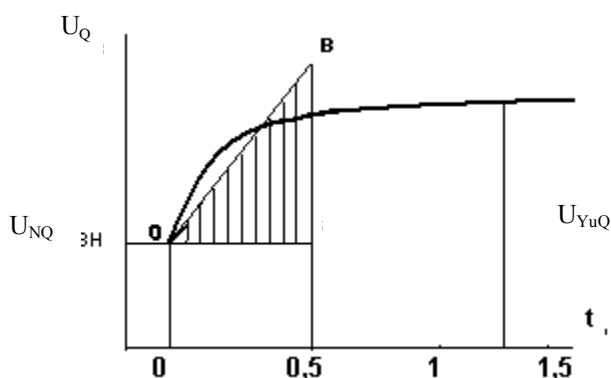
Kuchlanishning yuqori qiymati kuchlanishni eng yuqori belgilangan miqdordan kichik qo'zg'atgichning quvvati va uning to'yinishiga bog'liq holda osha olmasligi bilan aniqlanadi. Bundan tashqari, kuchlanishni juda katta oshishi kollektorni ishdan chiqishiga olib keladi.

Tokning yuqori qiymati ostki qo'zg'atkich va qo'zg'atkich chulg'amlaridan uzoq ruxsat etilgan tok oqishiga bog'liq.

Qo'zg'atkich sanab o'tilgan xarakteristikalar bilan birga kuchlanish oshishining tezligi bilan ham xarakterlanadi (3.8 rasm).

Turtkilarda sinxron generatorlarning turg'unligini taminlash uchun qo'zg'atish sistemasi kuchlanish oshishini ta'minlashi shart.

Qo'zg'atish kuchlanishining oshish tezligi qo'zg'atkichning karrali qo'zg'atishiga bog'liq.



3.8 rasm. Qo'zg'atkich kuchlanishi o'zgarishining xarakteristikasi.

U_Q kuchlanishning o'rtacha ko'tarilish vaqti 0.5 sekund bilan chegaralangan to'g'ri chiziqning tangens burchagi 0ab yuzaga mos va kuchlanishning haqiqiy o'rtish egri chizig'i bilan aniqlanadi;

$$\left(\frac{dU_K}{dt} \right)_{o'r} = \frac{B - a}{0,5 \cdot U_{nk}} = (2000 \div 3000) \frac{V}{s}. \quad (3.1)$$

Qo'zg'atish sistemasi shikastlanish holatlarida, maydonni o'chirish lozim bo'lganda tezlik bilan qo'zg'atishni to'xtatish va kamaytirish xususiyatiga ega bo'lishi shart. Qo'zg'atish sistemasi barcha tur rostlagichlar bilan ishlay olishi, ishlatishda ishonchli bo'lishi, xizmat ko'rsatishda sodda bo'lishi va to'la avtomatlashtirish imkoniga ega bo'lishi kerak. Ushbu talablar uzun EULga quvvat berayotgan katta generatorli elektr stansiyalar uchun muhim talablardan biridir.

Sinov savollari

1. Sinxron mashinalarda qo'zg'atish tizimi nima uchun kerak?
2. Qo'zg'atish tizimlarga taqdim qilinadigan talablar.
3. Qo'zg'atish tizimlarni turlarini aytib chiqing.

4. Elektr mashinali qo'zg'atish tizimi.
5. Mustaqil qo'zg'atishli qo'zg'atish tizimi.
6. Statik tiristorli qo'zg'atish tizimi.

4- Ma'ruza. Sinxron generatorlarning qo'zg'atishni avtomatik rostlash sistemalari

Qo'zg'atishni avtomatik rostlagichlar (QAR) generator kuchlanish miqdorini yuklamaning turli tebranish o'zgarishlariga qaramasdan imkon qadar o'zgartirmasliklari va elektr sistemalarini va alohida generatorlarni turli tebranishlar va sakrashlarda turg'un ish holatlarini ishonchli ta'minlashlari lozim.

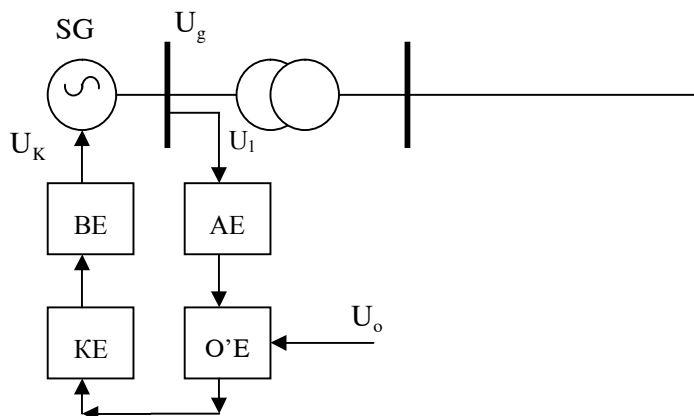
QARning strukturaviy sxemasi bilan tanishamiz (4.1 rasm).

Faraz qilaylik, biror sababga ko'ra generatorning kuchlanishi U_G kamaydi. Ushbu o'zgarish aylantirish elementiga (AE) uzatiladi. Uzatilgan kuchlanish o'zgarmas kattalikka aylantiriladi va o'lchov elementiga (O'E) uzatilib, real kuchlanish U_0 , etalon yoki nominal kuchlanish bilan solishtiriladi va $\Delta U = U_G - U_0$, ya'ni kuchlanishlar farqi topiladi. ΔU ning kattaligi va ishorasiga bog'liq ravishda kuchaytirish elementi (KE) bilan qayta ishlanuvchi signal ishlab chiqariladi, keyin esa ta'sir bajaruvchi elementga (BE) uzatiladi. Generatorning qo'zg'atish toki kuchlanishini rostlash $\Delta U = 0$ shart bajarilguncha davom etadi, yani generator kuchlanishi nominal (etalon) yoki boshlang'ich holatga qaytguncha davom etadi. E'tiborga olish kerakki, rostlash sistemasining turidan qat'iy nazar kuchaytirish elementi – ostki qo'zg'atkich, bajaruvchi element esa qo'zg'atkichdir.

Agar o'lchov elementi U_G kuchlanishning har qanday kichik o'zgarishini sezsa, yani yuqori sezgirlikka ega bo'lsa, bu QAR sezmaslik zonasi mavjud bo'lmagan sistema deb yuritiladi.

Agar o'lchov elementi mexanik qurilmalarni o'z ichiga olsa va inersionligi hisobiga U_G ning kichik o'zgarishlarini sezmasa, u holda ushbu QAR sezmaslik zonasiga ega sistema deb yuritiladi.

Ko'rsatib o'tish kerakki, mexanik harakatlanuvchi qismli rostlagichlar albatta sezmaslik zonasiga ega bo'ladi.



4.1 rasm. Sinxron generator qo'zg'atishini avtomatik rostlashning strukturaviy sxemasi.

Holatning rostdanayotgan parametrining ishorasi va kattaligini sezuvchi avtomatik qo'zg'atishli rostlagichlar (QAR-P) proporsional turdagi rostlagichlar deyiladi.

Energetika sistemalari bilan uzun EUL orqali bog'langan zamonoviy katta elektr stansiyalari generatorlarida ancha murakkab QAR, yani (QAR-K) kuchli ta'sir etuvchi rostlagichlar qo'llaniladi. Ushbu QAR generatorning qo'zg'atish toki va kuchlanishini murakkab qonun bo'yicha rostlaydi. Ular U_G va I ning nafaqat ishorasi va kattaligi, balki ularning o'zgarish tezligini va tezlanishini ham sezadi.

Yana bir qurilma borki, u stator tokining belgilangan miqdordan chetga o'g'ishini sezadi. Bu qurilma qo'zg'atishni kompaundlash qurilmasi deyiladi. Kompaundlashning prinsipi qo'zg'atkichning qo'zg'atish chulg'amini qo'shimcha tok bilan ta'minlash asosida izohlanadi. Umumiy tok kompaundlash va qo'zg'atkichning qo'zg'atish chulg'ami tokidan iborat bo'ladi.

QARni elektr sistemasining turg'unligiga va holatiga ta'sirini kursning keyingi qismlarida o'rganamiz.

Qo'zg'atishning avtomatik rostlagichlari qo'zg'atish holatini va elektr sistemasining turg'unlikni ta'minlaydigan holatini boshqarishning talab etilgan qonunini tanlash imkonini beradi. Ayrim xollarda hisoblash uchun QARni qandaydir qarshilik ortidagi turlicha o'zgarmas e.yu.k. ko'rinishida ifodalash mumkin. Yuqorida biz QAR sistemasini umumiy jihatdan ko'rib chiqqan edik. Biroq, ularning xususiyatlari va elektr sistemasi holatiga ta'sirining tahlili ancha qat'iy ifodani talab etadi. Ularni xulosalarini maksimal qisqartirib, biroq jarayonning fizik jihatlarini aniqlashga zarar bermasdan ko'rib o'tamiz va matematik ifodalaymiz.

a) Proporsional tipdagi qo'zg'atishni rostlash (QAR-P).

Ushbu toifaga mansub qo'zg'atishning avtomatik rostlagichlari holat parametrlarining o'zgarishiga muvofiq ishlaydi va shu sababli «proporsional tipdagi qo'zg'atishni rostlash» deb yuritiladi (4.1-rasm). Fizik jihatdan bu generatorning, ortidagi e.yu.k.ni o'zgarmas deb hisoblash mumkin bo'lgan, reaktiv qarshiligini kompensatsiyalashni bildiradi.

Ushbu holatda bu o'tkinchi qarshilik ortidagi o'tkinchi e.yu.k.dir. Hisoblarda bu hol quyidagicha yoziladi: $E' = const, X_d'$

QAR sxemasidagi har bir element rostlagichning dinamik xossasini xarakterlovchi xususiy vaqt doimiysi va kuchaytirish koeffitsiyentiga ega.

O'tish holatlarida e.yu.k.ni ikkita tashkil etuvchidan iborat qilib tasvirlash mumkin:

$$\Delta E_q = \Delta E_{qsv} + \Delta E_{qe} . \quad (4.1)$$

Bu yerda: $\Delta E_{qsv} = T_{dc} \cdot p \Delta E_q'$ – erkin toklar hosil qiluvchi e.yu.k.; ΔE_{qe} – qo'zg'atkichning qo'zg'atish chulg'amiga qo'yilgan e.yu.k.

Quyidagini yozish mumkin:

$$\Delta E_{qe} = E_{qo} - E_{qe} = -\Delta U_v = K_v \Delta i_{qq} \quad (4.2)$$

Bu qo'zg'atkichning qo'zg'atish chulg'amiga qo'yilgan e.yu.k. va bu chulg'amdagi tok i_{qq} ning o'zgarishi natijasida generatorning qo'zg'atish tokini o'zgarishini hisobga oladi. i_{qq} va e.yu.k.ning o'zgarishi quyidagi munosabatga muvofiq amalga oshadi:

$$\Delta e = R_e \Delta i_{qq} + L \cdot \frac{d(\Delta i_{qq})}{dt} = \Delta i_{qq} (R_e + L_e p).$$

Bu yerda R_e , L_e – qo‘zg‘atish chulg‘amining parametrlari (bajaruvchi element). Yuqoridagidan:

$$\Delta i_{qq} = \frac{\Delta e}{(R_e + L_e \cdot p)} = \frac{\Delta e}{R_e (1 + T_e \cdot p)}. \quad (4.3)$$

Bu yerda $T_e = \frac{L_e}{R_e}$ – qo‘zg‘atkich qo‘zg‘atish chulg‘amining ekvivalent vaqt doimiysi.

(4.3) ni (4.2) ga qo‘yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\Delta E_{qe} = \frac{k_b \cdot \Delta e}{R_e (1 + T_e \cdot p)} = \frac{k_e \cdot \Delta e}{(1 + T_e \cdot p)}. \quad (4.3a)$$

Bu yerda $k_e = \frac{k_b}{R_e}$ – bajaruvchi elementning kuchaytirish koeffitsiyenti.

Kuchaytirgich shuningdek, vaqt doimiysi T_u va kuchaytirish koeffitsiyenti K_u parametrlariga ega bo‘lgan inersion elementdir. Bunga mos ravishda

$$\Delta e = \frac{K_u \cdot \Delta U}{1 + T_u \cdot p}. \quad (4.4)$$

Bundan keyin o‘lchash, almashtirish va o‘zgartirish elementlarini mos kuchaytirish koeffitsiyenti K_n va vaqt doimiysi T_u bilan bir butun va

$$\Delta U = \frac{K_n \cdot (-\Delta U_g)}{1 + T_u \cdot p} \quad (4.5)$$

deb qarash mumkin.

(4.5) va (4.4) ni (4.3a) ga qo‘yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\Delta E_{qe} = \frac{K_u \cdot (-\Delta U_g) \cdot K_n \cdot K_e}{(1 + T_u \cdot p) \cdot (1 + T_n \cdot p) \cdot (1 + T_e \cdot p)} = \frac{K_{ou} (-\Delta U_g)}{(1 + T_u \cdot p) \cdot (1 + T_n \cdot p) \cdot (1 + T_e \cdot p)} ;$$

$$\Delta E_{qe} = \gamma(p) \cdot \Delta U_g. \quad (4.6)$$

Bu yerda: $\gamma(p) = \frac{-K_{ou}}{(1 + T_u \cdot p) \cdot (1 + T_n \cdot p) \cdot (1 + T_e \cdot p)}$ – roslash sistemasi

parametrlariga bog‘liq bo‘lgan funksiya.

$K_{ou} = K_u \cdot K_n \cdot K_e$ – sistemaning kuchaytirish koeffitsiyenti.

Barqaror holatda holat parametrlarining, roslash sistemasini ishga tushiruvchi, og‘ishlari mavjud emas ($r=0$). Shu sababli

$$\Delta E_{qe} = -K_{ou} \cdot \Delta U_g ; \quad \Delta U_g = U_g - U_{go}.$$

$\Delta E_{qe} = E_{qo} - E_{qe}$ bo‘lganligi sababli kuchaytirish koeffitsiyentini quyidagicha topish mumkin:

$$K_{ou} = \frac{-\Delta E_{qe}}{\Delta U_g} = \frac{E_{qe} - E_{qo}}{\Delta U_g}. \quad (4.7)$$

$E_{qe} = E_{qo} - \frac{\partial E_q}{\partial U_g} \cdot \Delta U_g$ bo'lganligi sababli sistemaning kuchaytirish koeffitsiyenti

$$K_{ou} = -\frac{\partial E_q}{\partial U_g}$$

Bunday K_{ou} ga ega bo'lgan rostlagichli sistema turg'un ishlay olishi mumkinligini tekshirish uchun rostlanuvchi sistema ishini ifodalovchi tenglamalarni turg'unlik bo'yicha tahlil qilish lozim.

$$\Delta E_q = \Delta E_{q_{cs}} + \Delta E_{qe} = T_{do} p \cdot \Delta E'_q + \gamma(p) \cdot \Delta U_g$$

$$T_j p^2 \Delta \delta = -\Delta P;$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E_q} \cdot \Delta E_q = c_1 \cdot \Delta \delta + b_1 \cdot \Delta E_q. \quad (4.8)$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E'_q} \cdot \Delta E'_q = c_2 \cdot \Delta \delta + b_2 \cdot \Delta E'_q$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{Ug}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{Ug}}{\partial U_g} \cdot \Delta U_g = c_3 \cdot \Delta \delta + b_3 \cdot \Delta U_g$$

Bu yerda:

$$c_1 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}; \quad b_1 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E_q}; \quad c_2 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}; \quad b_2 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E'_q}; \quad c_3 = \frac{\partial P_{Ug}}{\partial \delta}; \quad b_3 = \frac{\partial P_{Ug}}{\partial U_g} \quad -$$

generatorning salt ishlash e.yu.k., o'tkinchi e.yu.k. va kuchlanish orqali ifodalangan quvvatining hosilalari.

Bu yerda tenglamalar beshta bo'lib, noma'lumlar ham beshta: $\Delta \delta$, ΔE_q , $\Delta E'_q$, ΔU_g , ΔP . Bunga mos holda tenglamalar sistemasi yechiladi. $T_u=0$ va $T_n=0$ deb hisoblaymiz, ya'ni o'lchagich va rostlagichlarning inersionligini hisobga olmaymiz. Bunday holda soddalashtirilgan xarakteristik tenglama quyidagi to'rtinchi tartibli ko'rinishda bo'ladi:

$$\begin{aligned} T_e T_d' T_j \cdot p^4 + T_j \cdot (T_d' + T_e) \cdot p^3 + (T_j + T_d' \cdot T_e \cdot c_2 + K_{ou} \cdot T_j \cdot \frac{B_1}{B_2}) p^2 + \\ + (T_d' c_2 + T_e \cdot c_1) p + (c_1 + K_{ou} \cdot c_3 \cdot \frac{B_1}{B_3}) = 0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

yoki

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0 \quad (4.10)$$

Bu yerda $a_0 = T_e T'_d T_j$, $a_1 = T_j (T'_d + T_e)$, $a_2 = T_j + T'_d T_e s_2 + K_{ou} \frac{b_1}{b_3} T_j$,

$$a_3 = T'_d c_2 + T_e c_1, \quad a_4 = c_1 + K_{ou} c_3 \frac{b_1}{b_3},$$

Ushbu tenglamani Gurvits mezonini bo'yicha tadqiq qilamiz. Agar $T'_d > 0$ bo'lsa a_0 va a_1 doimo musbat bo'ladi. $s_2 > 0$ va $K_{ou} > 0$ bo'lganda $a_2 > 0$ shart doimo bajariladi. $a_3 = T'_d c_2 + T_e c_1 > 0$ bo'lishi uchun $c_2 > -c_1 \cdot \frac{T_e}{T'_d}$ bo'lishi zarur. s_1 manfiy bo'lganda (chegaraviy holatlarda) $s_2 > 0$ bo'ladi.

$$a_4 = c_1 + K_{ou} c_3 \frac{B_1}{B_3} > 0 \text{ shart } K_{ou \min} = \frac{(-c_1) B_3}{c_3 B_1} \text{ bo'lishini talab etadi, ya'ni qiymati}$$

qandaydir minimal ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lgan kuchaytirish koeffitsiyenti o'rnatilgan bo'lishi talab etiladi.

U_g ni tutib turish uchun katta qiymatga ega bo'lgan kuchaytirish koeffitsiyenti $K_{ou \max}$ kerak bo'ladi, biroq K_{ou} ning haddan tashqari ortib ketishi Δ_{gur} ning kamayishiga olib keladi. Shu sababli qo'zg'atishni kuchaytirish koeffitsiyentini

$$K_{ou \min} \leq K_{ou} \leq K_{ou \max} \quad (4.11)$$

oraliqda bo'lishi lozim.

$$\text{Bu yerda: } K_{ou \min} = \frac{|-c_1|}{c_3} \cdot \frac{b_3}{b_1},$$

$$K_{ou \max} = \left[\frac{(c_2 - c_1)}{(c_3 - c_2)} \cdot \frac{b_3}{b_1} \left(1 + \frac{T_e^2}{T_j} \cdot \frac{(T'_d c_2 + T_e c_1)}{(T'_d + T_e)} \right) \right] / \left(1 + \frac{T_e}{T'_d} \cdot \frac{(c_3 - c_1)}{(c_3 - c_2)} \right). \quad (4.12)$$

Agar kuchlanishning og'ishiga bog'liq holda ishlovchi QAR mavjud bo'lganda $K_{ou} < K_{ou \min}$ bo'lsa, u holda burchakning monoton oshib borishi bilan xarakterlanuvchi turg'unlikning elektromexanik buzilishi, ya'ni turg'unlikning aperiodik buzilishi sodir bo'ladi.

$K_{ou} > K_{ou \max}$ bo'lganda ham statik turg'unlikning elektromexanik buzilishi sodir bo'lib, u **tebranuvchan xarakterda** bo'ladi, ya'ni sistema o'z-o'zidan chayqaladi.

Belgilash lozimki, proporsional tipdagi QARni ishlatish tajribalari asosida bu koeffitsientning, generatorni har xil holatlarida kuchlanishni tutib turishning katta aniqligi va uzatiluvchi quvvat chegarasining ortishi ta'minlanadigan qiymatlari $K_{ou} \geq 25-50$ (qo'zg'atish birligi/kuchlanish birligi) oraliqda aniqlangan.

Kuchlanishning birligi sifatida generatorning nominal kuchlanishi, qo'zg'atish birligi sifatida, salt ishlash holatida kuchlanishning nominal qiymati U_g ni ta'minlovchi, generator qo'zg'atishining stator chulg'amiga keltirilgan qiymati qabul qilinadi.

Elektr sistemalarining holatlarini, xususan og'ir holatlarini, tadqiq qilishda proporsional tipdagi QARning mavjudligi, soddalashtirish maqsadida, o'tkinchi qarshilik ortidagi o'zgarma o'tkinchi e.yu.k. orqali tasvirlanadi. Bunday QARning mavjudligi

generatorning ichki qarshiligini qisman kompensatsiyalashga ekvivalent bo'lib, u sinxron generatorning burchak xarakteristikasi maksimumini ortishida ifodalanadi.

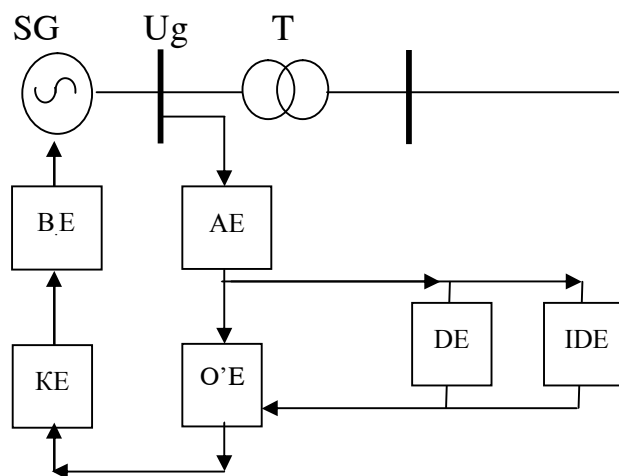
Shunday qilib, proporsional tipdagi QARga ega bo'lgan generatorning turg'un ishlashi uchun holat parametrlarining og'ishi bo'yicha rostlash kanallaridagi kuchaytirish koeffitsientlari

$$K_{op\ min} < K_{op} < K_{op\ max}$$

shart bo'yicha tanlanishi lozim.

Bu shartning buzilishi turg'unlikning aperiodik ($K_{op} < K_{op\ min}$) yoki tebranma ($K_{op} > K_{op\ max}$) buzilishiga olib keladi.

b) Kuchli ta'sir etuvchi qo'zg'atishli avtomatik rostlagich QAR-K ($U_G = o'zgarmas$).



4.2- rasm. Kuchli ta'sir etuvchi qo'zg'atishni avtomatik rostlagichning strukturaviy sxemasi (QAR-K).

Holat parametrlarining nafaqat og'ishi, balki ularning o'zgarish tezligi, ya'ni ularning birinchi va ikkinchi tartibli hosilalari bo'yicha ishlovchi qo'zg'atishning avtomatik rostlagichlari kuchli ta'sir etuvchi qo'zg'atishni avtomatik rostlagichlar deb yuritiladi (QAR-K) (4.2- rasm). Bunday QARni «kuchli» deb yuritilishiga sabab shundan iboratki, ular berilgan holat parametrini, masalan generator kuchlanishini, generatorning ichki qarshiligini to'liq kompensatsiyalab o'zgarmas tutib tura oladi. Shu sababli hisoblashlarda QAR-K generator kuchlanishining o'zgarmasligi bilan tasvirlanadi.

QAR-K elektr sistemasining statik turg'unligini katta miqdorga yaxshilash imkonini beradi. QAR-P va QAR-K larning strukturaviy sxemalarini solishtirib, kuchli ta'sir etuvchi rostlagichlarda holat parametrlarining ($\Delta U'$, $\Delta I'$, $\Delta f'$, $\Delta U''$, $\Delta I''$, $\Delta f''$) birinchi (DE) va ikkinchi (IDE) hosilalariga mos signallar ishlab chiqaruvchi qo'shimcha kanallar mavjudligini ko'ramiz.

Albatta, yangi kanallarning paydo bo'lishi va QAR sistemasining qo'shimcha elementlarini Hisobga olish tenglamalar tuzishdagi mexnat xajmini, ularning tartibini

oshiradi va, eng asosiysi, ularni analitik tadqiq qilish, xattoki bitta sinxron generator mavjud bo'lganda ham, imkonini yo'qotadi.

Masalan, generator kuchlanishi va tokining og'ishi (ΔU , ΔI), ularning birinchi va ikkinchi tartibli hosilalari bo'yicha ishlovchi QAR-k, rostlagichning differensiallovchi va ikki marta differensiallovchi vaqt doimiylari teng bo'lgan taqdirda $T_1=T_2=T_p$, ettinchi darajali xarakteristik tenglamaga ega bo'ladi. Agar o'lchash va kuchaytirish elementlarining inersionligini hisobga olmasak $T_n=T_u=0$, u holda xarakteristik tenglama beshinchi darajali bo'ladi:

$$a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5 = 0 \quad (4.13)$$

Bu yerda:

$$a_0 = T_j T_d T_e T_p ;$$

$$a_1 = T_j (T_d T_e + T_d T_p + T_e T_p) + k_{2i} h_1 ;$$

$$a_2 = T_j (T_d + T_e + T_p) + T_d T_e T_p c_2 k_{li} h_1 ;$$

$$a_3 = T_j + T_e T_p c_1 + T_d (T_e + T_p) c_2 + k_{ou} T_j \frac{b_1}{b_3} + k_{oi} h_1 + k_{2i} h_2 ;$$

$$a_4 = (T_e + T_p) c_1 + T_d c_2 + k_{li} h_2 ;$$

$$a_5 = c_1 + k_{ou} c_3 + k_{oi} h_2 ;$$

$$h_1 = -T_j \frac{(E_q - U \cdot \cos \delta)}{I \cdot X_{d\Sigma}^2}$$

$$h_2 = b_1 \frac{U}{X_{d\Sigma}} (I_q \cdot \cos \delta + I_d \cdot \sin \delta)$$

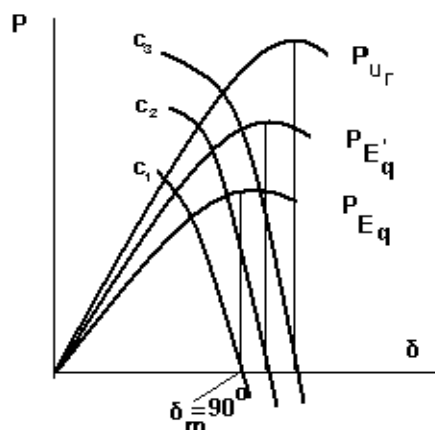
$$I_d = \frac{E_q - U \cos \delta}{X_{d\Sigma}} ; \quad I_q = \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta$$

(I , I_d , I_q) koeffitsiyentlarga kiruvchi holat parametrlari sinxron generatorning vektor diagrammasidan aniqlanadi. Bu yerda k_{oi} – generator statori tokining og'ish kanali bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti [qo'zg'.birl./nom.tok birl.], k_{li} – stator tokining birinchi hosilasi kanali bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti [qo'zg'.birl./nom.tok birl./sek.], k_{2i} – stator tokining ikkinchi hosilasi kanali bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti [qo'zg'.birl./nom.tok birl./sek²]. Belgilab qo'yish lozimki, QAR-k da kuchlanish og'ishi bo'yicha kuchaytiruvchi koeffitsiyentlar qiymati $k_{ou}=(100-200)$ [qo'zg'. birl./kuchlanish birl.] oraliq'ida joylashgan.

Ko'rinib turibdiki, xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari holat, sistema parametrlari va QAR kanallari bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlariga bog'liq.

Keltirilgan munosabatlardan ko'rinadiki, qabul qilingan soddalashtirishlarda xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari, xatto bitta generator mavjud bo'lganda, murakkablashadi va natijada ularni analitik tadqiq qilish mumkin bo'lmay qoladi.

Shu sababli, xususan qo'zg'atish tokini bir nechta holat parametrlari bo'yicha rostlash vaziyatlarida QARning optimal kuchaytirish koeffitsiyentlarini aniqlashda sonli usullar qo'llaniladi.



4.3-rasm. QAR turlicha bo'lganda burchak va sinxronlovchi quvvatlarni solishtirish xarakteristikalarini.

Mexanik elementlarda lyuftning mavjudligi ta'sirida va inersionlik ta'sirida paydo bo'luvchi sezmaslik sohasini hisobga olish, tenglamalarni tuzish va tahlil qilishni yanada murakkablashtiradi. Biroq, bu faktorlar generatorning turg'un ishlash shartlariga kuchli ta'sir etishi mumkin. Ularni noto'g'ri hisobga olish QARning noto'g'ri ishlashi natijasida sinxron generator turg'unligining buzilishiga sabab bo'lishi mumkin.

QAR-K ning mavjud bo'lishi burchak xarakteristikasining maksimumini oshiradi, chunki u $U_g = \text{const}$ va $X_G = 0$ sharti bilan ifodalanadi (4.3- rasm).

Sinov savollari

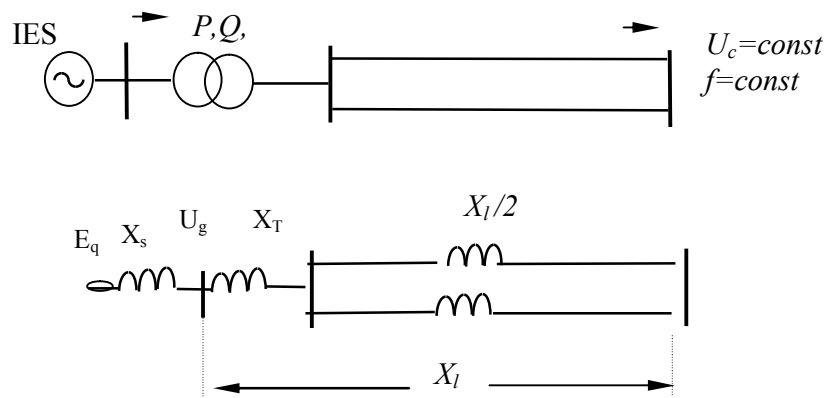
1. Qo'zg'atishni avtomatik rostlagichlarga ko'rsatilgan talablar.
2. Proporsional ta'sirli qo'zg'atishni avtomatik rostlagichlarni strukturaviy sxemasi.
3. Kuchli ta'sirli qo'zg'atishni avtomatik rostlagichlarni strukturaviy sxemasi.
4. SGning qo'zg'atishni avtomatik rostlagichlar tizimning qaysi parametrlariga ta'sir qiladi?
5. Qo'zg'atishni kuchaytirish koeffitsiyent bo'yicha tushuncha.
6. Har xil turdagi QARlar o'rnatilgan holda sinxron generatorning burchak xarakteristikalarini solishtirib tahlil qiling.

5- Ma'ruza. Ayon va noayon qutbli generatorlarning vektor diagrammalari va quvvat xarakteristikalarini

Bo'lim materiallarining boshlanishida noayon qutbli generatorlarning vektor diagrammalarini tahlil qilamiz.

Sodda sxemani qabul qilamiz (5.1- rasm).

Generator X_s qarshilik orqali cheksiz quvvatli sistema ($U = \text{const}$, $f = \text{const}$) - shinasiga ishlaydi, ya'ni unga energiya uzatadi.



5.1 rasm. Sodda elektr sistemaning berilgan va almashtirish sxemalari.

Ulangan generatorlarning holatlarini turli o'zgarishlarida kuchlanish va chastotasini doimiy deb hisoblash mumkin bo'lgan tarmoq shinasini cheksiz quvvat shinasini deb hisoblanadi. Amaliy jihatdan ushbu holat quyidagini anglatadi: tarmoqning umumiy quvvati ulangan generatorning quvvatidan shunchalar kattaki, mashinaning ish holatini o'zgarishi tarmoq kuchlanishi va chastotasiga ta'sir qilmaydi.

Jarayonlarni o'rganishda, ayniqsa turli turg'un holatlarning elektromagnit va mexanik parametrlarini o'zaro bog'lashda vektor diagrammalar kuchli qurol hisoblanadi. Vektor diagrammalarini qurish sistemaning berilgan uzatiluvchi aktiv va reaktiv quvvatlari, kuchlanish kattaligi va chastotasi asosida amalga oshiriladi.

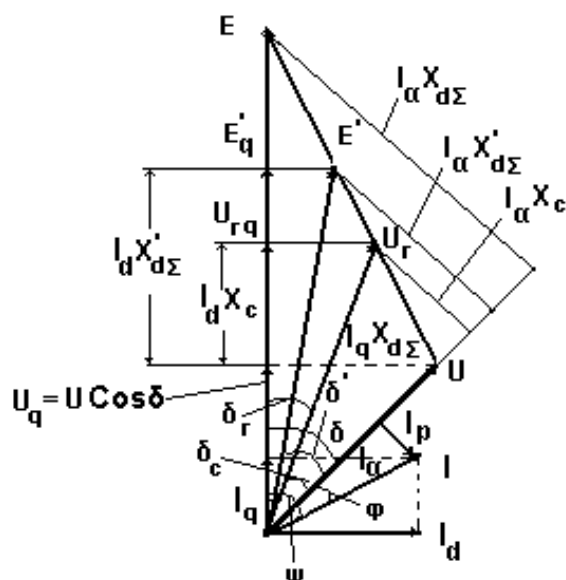
Generator kuchlanishi U_g qo'zg'atish toki induksiya qilgan e.yu.k.dan X_{ad} , X_{aq} o'zaro induksiya qarshiliklaridagi, mashina induktiv sochilish qarshiligidagi kuchlanish tushuvlarini ayirmasiga teng. Agar bu erga $X_s = X_l + X_T$ va $r_e = r_T + r_l$ ni hisobga olib, sistemaning aktiv va induktiv qarshiliklaridagi kuchlanish tushuvlarini qo'shsak, u holda EUL oxiridagi U kuchlanishni topamiz. Quyida vektor diagramma qurishni soddalashtirish uchun aktiv qarshilikni hisobga olmaymiz.

Ushbu munosabat to'g'ri hisoblanadi:

$$U = E_q - jX_{d\Sigma} I_a - jX_{d\Sigma} I_p. \quad (5.1)$$

Berilgan P , Q , U lar asosida faza burchagi φ ni aniqlab, so'ngra sistema kuchlanishi qiymatini mos masshtabda qo'yamiz va uni aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarga ajratib, E_q , E' , U_G va boshqa vektorlarni topamiz.

Shuni nazarda tutish kerakki, U va E_q vektorlari orasidagi burchak δ ($\delta = \angle(U \wedge E_q)$) sakrab o'zgara olmaydi, chunki u rotor bilan bog'langan va shuning uchun sistemaning elektromexanik holatini xarakterlovchi asosiy parametr hisob bo'lanadi, yani sistemaning va generatorning turg'unligini belgilaydi, $\delta_s = \angle(U_g \wedge U)$, $\delta_g = \angle(U_g \wedge E_q)$, $\delta' = \angle(U \wedge E')$, - burchaklar esa sakrab o'zgarishlari mumkin va ular faqat mashinaning elektromagnit holatini belgilaydi.



5.2 rasm. Noayon qutbli generatorning vektor diagrammasi.

Bu yerda:

$$X_{d\Sigma} = X_d + X_c;$$

$$X'_{d\Sigma} = X'_d + X_c;$$

E_q – salt ishlash e.yu.k.

Ushbu diagramma asosida ma’lum munosabatlarni keltirib chiqarish mumkin
 $P = f(E_q, \delta)$, $P = f(E', \delta')$, $P = (U \cdot \delta)$ va xokazo.

Aktiv quvvat tenglamasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$P = UI_a = E_q I_q. \quad (5.2)$$

Vektor diagrammadan yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \frac{I_a \cdot X_{d\Sigma}}{E_q}; \rightarrow I_a = \frac{E_q}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \\ \sin \delta' &= \frac{I_a \cdot X'_{d\Sigma}}{E'}; \rightarrow I_a = \frac{E'}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta' \\ \sin \delta_c &= \frac{I_a \cdot X_s}{U_g}; \rightarrow I_a = \frac{U_g}{X_c} \cdot \sin \delta_s \end{aligned} \quad (5.3)$$

Bu yerda $I_a = I \cdot \cos \varphi$ - generator stator tokining aktiv tashkil etuvchisi.
 Quvvatni turli e.yu.k.lar bilan ifodalaymiz:

$$\begin{aligned}
P_{Eq} &= U \cdot I_a = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \\
P_{E'q} &= \frac{U \cdot E'_q}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \\
P_{U_G} &= \frac{U \cdot U_g}{X_s} \cdot \sin \delta_c
\end{aligned} \tag{5.4}$$

δ' , δ_s burchaklarni formulalar yordamida δ burchak bilan ifodalaymiz. Unda ushbu munosabat to'g'ri bo'ladi:

$$\begin{aligned}
P &= U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos(\Psi - \delta) = \\
&= UI \cos \Psi \cdot \cos \delta + U \cdot I \cdot \sin \Psi \cdot \sin \delta = \\
&= U \cdot I_q \cdot \cos \delta + U \cdot I_d \cdot \sin \delta
\end{aligned} \tag{5.5}$$

Bu yerda $I_q = I \cdot \cos \varphi$ $I_d = I \cdot \sin \varphi$.

Vektor diagrammadan quyidagilarni yozishimiz mumkin:

$$I_q \cdot X_{d\Sigma} = U \cdot \sin \delta; \quad I_q = \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta; \tag{5.6}$$

$$I_d \cdot X_s = E_q - U \cdot \cos \delta; \quad I_d = \frac{E_q - U \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}}; \tag{5.7}$$

Ushbu toklarning tenglamasini (5.5) tenglamaga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}
P &= U \cdot \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta + U \cdot \frac{E_q - U \cdot \cos \delta}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta = \\
&= \frac{U^2}{2 \cdot X_{d\Sigma}} \sin 2\delta + \frac{U \cdot E'_q}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta - \frac{U^2}{2 \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta \cdot \sin \delta = \\
&= \frac{U \cdot E'_q}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{(X_d - X'_d)}{X_{d\Sigma} \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot \sin 2\delta
\end{aligned} \tag{5.8}$$

ya'ni quvvat formulasi E'_q orqali ifodalanadi.

Vektor diagrammadan:

$$I_d \cdot X_s = U_{Gq} - U \cdot \cos \delta; \quad I_d = \frac{U_{Gq} - U \cdot \cos \delta}{X_s};$$

$$I_q \cdot X_{d\Sigma} = U \cdot \sin \delta; \quad I_q = \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta;$$

Ushbu tenglamalarni (5.5) tenglamaga qo'yamiz

$$\begin{aligned}
P &= U \cdot I_q \cdot \cos \delta + U \cdot I_d \cdot \sin \delta = \\
&= U \cdot \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta + U \cdot \frac{U_{Gq} - U \cdot \cos \delta}{X_s} \cdot \sin \delta = \\
&= \frac{U^2}{X_{d\Sigma}} \cdot \frac{\sin 2\delta}{2} + \frac{U \cdot U_{Gq}}{X_s} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{X_s} \cdot \frac{\sin 2\delta}{2}
\end{aligned} \tag{5.9}$$

va natijada

$$P_{U_{Gq}} = \frac{U \cdot U_{Gq}}{X_s} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_d}{X_{d\Sigma} \cdot X_s} \cdot \sin 2\delta;$$

Quvvat formulasi generator kuchlanishining bo'ylama tashkil etuvchisi $U_q = U \cdot \cos \delta$ bilan ifodalanadi.

Endi sinxron generatorning reaktiv quvvati uchun tenglamani hosil qilamiz. Ichki reaktiv quvvat quyidagi tenglamadan olinadi:

$$Q_{E_q} = E_q \cdot I_d \tag{5.10}$$

Vektor diagrammadan:

$$\begin{aligned}
I_d \cdot X_{d\Sigma} &= E_q - U_c \cdot \cos \delta \quad I_d = \frac{E_q - U \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}} \\
Q_{E_q} &= \frac{E_q^2}{X_{d\Sigma}} - \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta
\end{aligned} \tag{5.11}$$

Generatorning ichki reaktiv quvvati.

Generator ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvat:

$$Q_G = U_G \cdot I_{pG}; \quad (5.3 \text{ rasm})$$

bu yerda $I_{pG} \cdot X_s = U_G - U \cdot \cos \delta_s$

$$\begin{aligned}
I_{pG} &= \frac{U_G - U \cdot \cos \delta_s}{X_s}; \\
Q_G &= \frac{U_G^2}{X_s} - \frac{U_G \cdot U}{X_s} \cdot \cos \delta_s
\end{aligned} \tag{5.12}$$

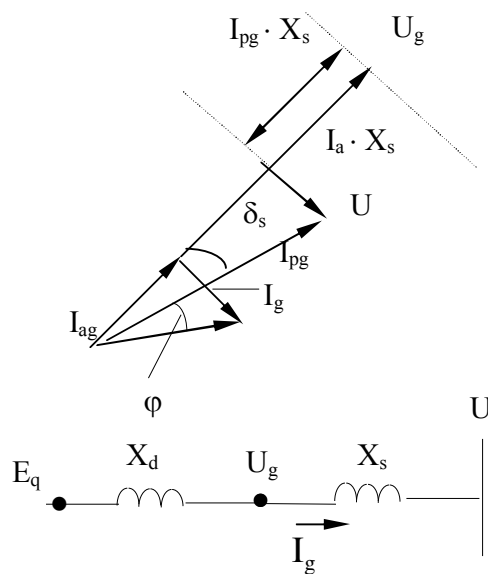
Vektor diagrammadan E_q generator salt ishlash e.yu.k.ning analitik tenglamasini ham topish mumkin:

$$E_q^2 = (U_g + I_p \cdot X_d)^2 + (I_a \cdot X_d)^2$$

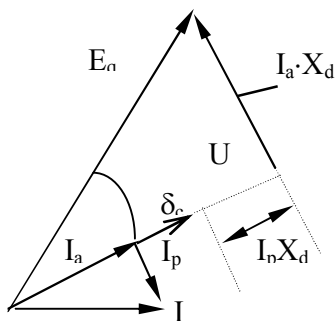
chunki $Q_G = U_G \cdot I_p$, $P_G = I_a \cdot U_g$

Shakl almashtirishlardan so'ng quyidagini hosil qilamiz:

$$E_q = \sqrt{\left(U_G + \frac{Q_G \cdot X_d}{U_G}\right)^2 + \left(\frac{P_G \cdot X_d}{U_G}\right)^2}$$



5.3-rasm Sinxron generatorning vektor diagrammasi va almashtirish sxemasi.



5.4- rasm Sinxron generatorning vektor diagrammasi.

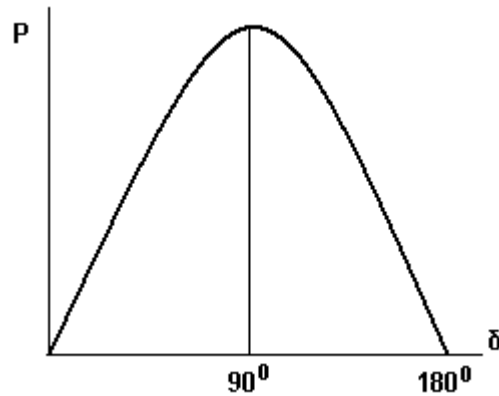
Generatorning ichki burchagini aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \delta_G = \frac{P_G \cdot X_d}{U_G^2 + Q_G \cdot X_d}$$

$$\text{va } \delta_G = \arctg \frac{P_G \cdot X_d}{U_G^2 + Q_G \cdot X_d};$$

$$P_{Eq} = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta - \text{ tenglama generator va holat parametr } (E_q, U, X_{d\Sigma}) \text{ larining}$$

o'zgarmas qiymatlarida sinxron mashinaning asosiy xarakteristikasi bo'lib, u burchak xarakteristikasi deyiladi va u faqat δ burchakka bog'liq bo'lib, sinusoidal xarakteristikani namoyon qiladi.



5.5- rasm. Noayon qutbli generatorning burchak xarakteristikasi.

Ushbu xarakteristikaning maksimumi $\delta=90^\circ$ burchakda ta'minlanadi va quyidagiga teng:

$$P_m = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \quad P_{Eq} = P_m \cdot \sin \delta \quad (5.13)$$

Ushbu ifodadan maksimum sistema va holatning qaysi parametrlariga bog'liq ekanligi ko'rinib turibdi. E_q yoki qo'zg'atish toki qanchalik katta, shuningdek, induktiv qarshilik kichik bo'lsa uning qiymati shunchalik katta bo'ladi.

Endi ayon qutbli sinxron generatorning vektor diagrammasini ko'rib chiqamiz:

$$X_{d\Sigma} = X_d + X_s$$

$$X_{q\Sigma} = X_q + X_s$$

$$X'_{d\Sigma} = X'_d + X_s$$

E_Q – hisobiy e.yu.k.

Vektor diagramma xuddi yuqoridagidek P , Q , U larning berilgan qiymatlarida quriladi.

Holatlarni, xususan, turg'unlikni hisoblashda ayon qutbli generator hisobiy e.yu.k. E_Q li fiktiv noayon qutbli generator bilan almashtiriladi, bunda energetik jarayonlar real mashinaning jarayonlari bilan bir xil bo'ladi. Bunda $X_{d\text{ fik.}} = X_{q\text{ fik.}} = X_q$

^{xak} Fiktiv mashinaning P , Q , δ kattaliklari real mashinaning kattaliklari bilan bir xil bo'ladi (5.5-rasm).

Hisobiy e.yu.k. orqali belgilangan generator quvvatini topamiz:

$$P = E_Q I_q = \frac{E_Q U_c}{X_{q\Sigma}} \cdot \sin \delta. \quad (5.14)$$

Generator berayotgan aktiv quvvat

$$P = U_c \cdot I_a = U_c \cdot I_q \cdot \cos \delta + U_c \cdot I_d \cdot \sin \delta;$$

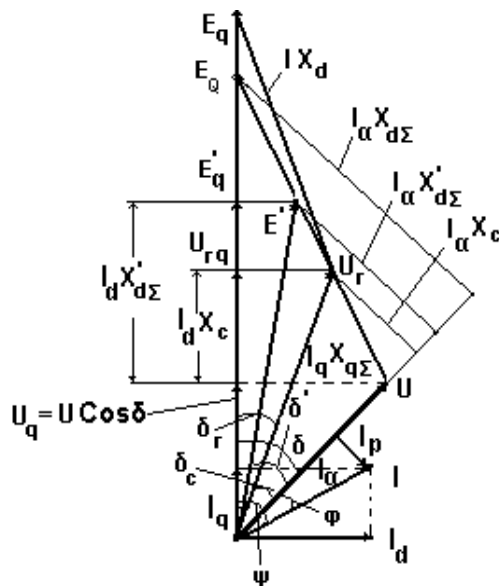
$$I_q \cdot X_{q\Sigma} = U_c \cdot \sin \delta; \quad I_q = \frac{U_c}{X_{q\Sigma}} \cdot \sin \delta;$$

$$I_d \cdot X_{d\Sigma} = E_q - U_c \cdot \cos \delta; \quad I_d = \frac{E_q - U_c \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}};$$

$$P = U_c \cdot \frac{U_c}{X_{q\Sigma}} \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta + U_c \cdot \sin \delta \cdot \frac{E_q - U_c \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}} =$$

$$= \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{1}{X_{q\Sigma}} \sin 2\delta + \frac{U_c \cdot E_q}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{\sin 2\delta}{X_{d\Sigma}} =$$

$$P_{E_q} = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta + \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_{d\Sigma} \cdot X_{q\Sigma}} \cdot \sin 2\delta.$$

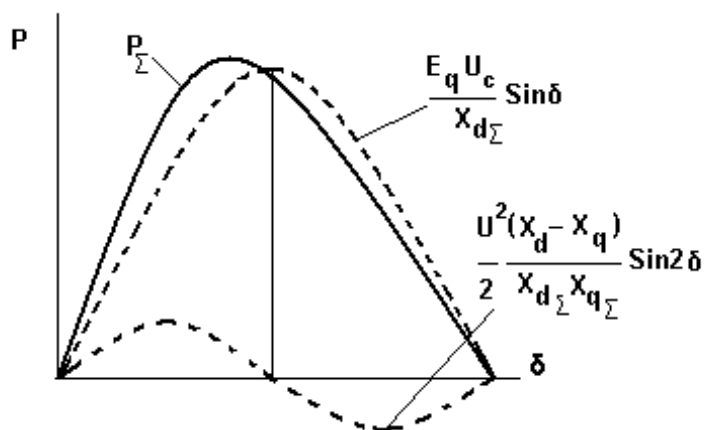


5.6- rasm. Ayon qutbli generatorning vektor diagrammasi.

Demak, real E_q bilan ifodalangan ayon qutbli mashinaning burchak xarakteristikasi ikkita sinusoidaning yig'indisi shaklida bo'ladi, va xolanki $X_d = X_q$ bo'lganda, ikkinchi qo'shiluvchi nolga teng bo'ladi, yani ayon qutblilik ikkinchi qo'shiluvchi bilan hisobga olinadi (5.7 rasm).

Ayon qutbli mashinaning quvvat formulasini E'_q orqali ifodalaymiz:

$$P_{E_q} = \frac{E'_q \cdot U}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_q - X'_d}{X_{q\Sigma} \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot \sin 2\delta$$



5.7- rasm. Ayon qutbli generatorning burchak xarakteristikasi.

Ayon qutbli generatorning shinasidagi reaktiv quvvat:

$$Q_{E_q} = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_{d\Sigma} + X_{q\Sigma}}{X_{d\Sigma} \cdot X_{q\Sigma}} + \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_{d\Sigma} \cdot X_{q\Sigma}} \cdot \cos 2\delta$$

Endi barcha e.yu.k.larni bog'lovchi tenglamani tuzamiz. Vektor diagrammadan quyidagilarni yozish mumkin:

$$E_q = E_Q + I_d (X_{\Sigma} - X_{\Phi})$$

$$E_Q = E'_q + I_d (X_{\Phi} - X'_{\Sigma}).$$

$$I_d = \frac{E_Q}{X_q - X'_d} - \frac{E'_q}{X_q - X'_d}$$

$$E_q = E_Q \cdot \frac{X_d - X'_d}{X_q - X'_d} - E'_q \cdot \frac{X_d - X'_q}{X_q - X'_d};$$

Shunday qilib, vektor diagrammadan barcha zarur holat parametrlarini olish mumkin.

Sinxron generatorning hosil qilingan elektromagnit quvvatini va uning boshqa holat parametrlarini aniqlashning analitik ko'rinishi nafaqat elektr parametrlar, balki mexanik parametr – yuklama burchagi deb nomlanuvchi burchak δ bilan ham amalga oshirilgan. Ushbu hol mashinadagi elektromexanik o'tkinchi jarayonlarni – mashinaning turg'unligini sistemada turli ta'sirlar bo'lganda ham tadqiq etish imkonini beradi.

E'tiborga olish kerakki, sinxron generatorlar rotor magnit oqimi vektorining fazoviy holati an'anaviy tuzilishlarda bo'ylama o'qda qo'zg'atish chulg'ami joylashishi bilan qattiq bog'langan. Buning natijasida, ushbu holatni xarakterlovchi salt ishlash e.yu.k. E_q va sistema kuchlanishi U_s orasidagi burchak δ rotorning mexanik inersionligi tufayli sakrab o'zgara olmaydi, shuning uchun ushbu burchak generator rotorining aylanuvchi o'q bilan sinxron harakatini va uning turg'unligini aniqlovchi holatning asosiy parametridir.

Bu yerda quyidagilar kelib chiqadi:

- agar $\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{d(\omega_p - \omega_0)}{dt} = 0$ bo'lsa, $\delta = \text{const}$ bo'lib, bu yerda ω_p –

rotorning aylanish tezligi turg'un holatda u sinxron tezlikka teng, ya'ni $\omega_p = \omega_0$.

- agar $\frac{d^2\delta}{dt^2} \neq 0$ bo'lsa, u holda $\omega_p \neq \omega_0$, $\delta \neq \text{const}$ bo'lib, u generator sinxron

ishining buzilishi natijasida o'tkinchi jarayonlarning paydo bo'lishini bildiradi. Holatni tadqiq etib, natijada quyidagi bog'liqliklarni aniqlash mumkin:

$\delta = f(t)$, $P = f(\delta, t)$, $U = f(t)$ va xokazo.

Shu bilan bir vaqtda boshqa burchaklar δ_s , δ_G , φ va xokazolar sakrab o'zgarishi mumkin, chunki ular mashinaning elektromagnit holatini belgilaydilar.

Salt ishlash e.yu.k. E_q mashina rotorining qo'zg'atish toki bilan bog'liq bo'lib, o'tkinchi holatda sakrab o'zgarishi mumkin, shuning sababli birlamchi yaqinlashishda e.yu.k. birdan o'zgaradi deb qabul qilish mumkin o'tkinchi e.yu.k. E' qo'zg'atish chulg'amining ψ_{nat} natijaviy to'la oqim ilashishiga bog'liq. ψ_{nat} oqim ilashishining doimiyliqi nazariyasiga bog'liq holda aytish mumkinki, o'tkinchi jarayonning boshlang'ich paytidagi e.yu.k. $E'_q = \text{const}$ o'zgarmasdan qoladi. Ushbu tasdiq juda muhimdir, chunki u jarayonlarning holatni buzilishigacha va buzilishidan keyingi holatlarini bog'laydi.

Ayon qutbli generatorlarda E_Q hisoblashlarni soddalashtiruvchi hisobiy kattalik bo'lib, ayon qutbli generatorning hisobiy sxemasiga kiritiladi. Bunda sodir bo'layotgan energetik jarayonlar real jarayonni ko'rsatadi.

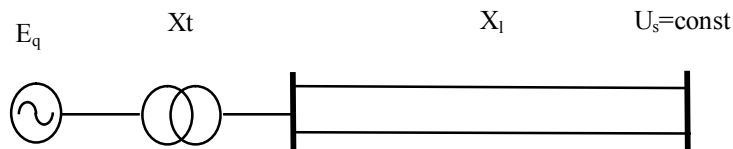
Kursning boshqa materiallari bilan tanishishda ushbu bobning materiallariga bir necha bor murojaat qilamiz, chunki ular bazaviy materiallardir. o'quvchi – talabgor jarayonlarni fizikasini tushinishda ba'zi aniqliklari muhim bo'lgan bo'limlarni chuqur, mustaqil, qayta - qayta katta e'tibor bilan o'rganib chiqishi zarur deb hisoblaymiz.

Sinov savollari

1. Cheksiz quvvatli elektr tizim nimaligini tushuntiring.
2. Sinxron generatorlarning vektor diagrammalarini qurishdan maqsad.
3. Noayon qutubli generatorning vektor diagrammasi.
4. Noayon qutubli generator vektor diagrammasidan kelib chiqilayotgan asosiy tenglamalar.
5. Ayon qutubli generatorning vektor diagrammasi.
6. Ayon qutubli generator vektor diagrammasidan kelib chiqilayotgan asosiy tenglamalar.
7. Ayon va noayon sinxron generatorlarni burchak xarakteristikalarida farqi.

6- Ma'ruza. Oddiy elektr tizimining statik turg'unlik zaxirasi, va uni oshirish choralari. Statik turg'unligining mezoni

Elektr energetikasining asosiy vazifasi istemolchilarni elektr energiya bilan uzluksiz va turg'un ta'minlashdan iborat. Qanday sharoitlarda generatorlarning turg'un ishlashini ta'minlash mumkinligini, elektr uzatish liniyasi orqali qanday miqdordagi quvvatni uzatish mumkinligini, turg'unlikni ta'minlash qanday faktorlarga bog'liqligini, normal ishlayotgan sinxron generatorlarning turg'un, parallel ishlashi nima sababdan buzilishini aniqlash lozim. Bu masalalarni ko'rib chiqishga kirishamiz.

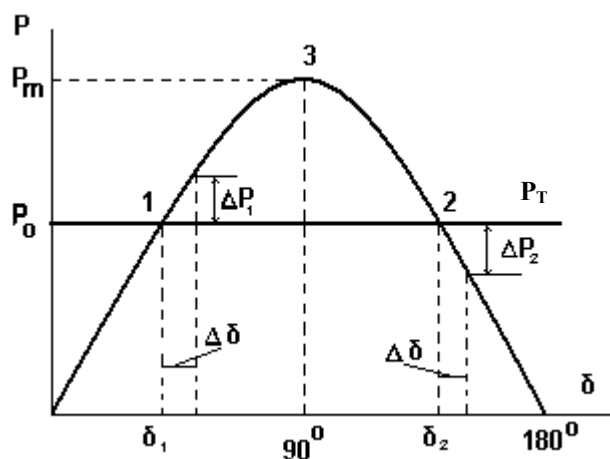


6.1- rasm Oddiy elektr sistemaning prinsipial sxemasi.

Bundan oldingi bo'limda 6.1-rasmda tasvirlangan elektr uzatish sxemasi uchun burchak xarakteristikasi deb yuritiluvchi elektr quvvatining e.yu.k. E_q va qabul qiluvchi shinalar kuchlanishi U vektorlari orasidagi burchakka bog'liq ifodasi keltirib chiqarilgan edi:

$$P_G = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \quad (6.1)$$

E_q , U , $X_{d\Sigma}$ larning qiymatlari berilgan holda generatorning quvvati burchakning funksiyasi bo'lib, bu bog'lanish egri chiziqli – sinusoidaldir. To'liq bo'lishi uchun ushbu grafikning o'zida turbin quvvati P_T ning xarakteristikasi qurilib, u δ burchakka bog'liq bo'lmaganligi sababli to'g'ri chiziq ko'rinishida tasvirlanadi (6.2-rasm).



6.2- rasm. Oddiy elektr sistemaning burchak xarakteristikasi.

Generatorning valida quvvatlar balansi $P_G = P_T$ saqlanganda, ya'ni turbinaning aylantiruvchi mexanik quvvati (momenti) va generatorning tormozlovchi elektromagnit

quvvati (momenti) teng bo'lganda sinxron ishlash ta'minlanadi. Ushbu tasdiq, shuningdek, sinxron mashina rotori nisbiy harakatining oldingi paragrafda ko'rib o'tilgan differensial tenglamasidan ham hosil bo'ladi:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta P}{T_j} = \frac{1}{T_j}(P_T - P_G) \quad (6.2)$$

Agar $P_G = P_T$, $\delta = \text{o'zgarmas}$ bo'ladi va bu shart turg'unlikni ta'minlaydi. 6.2-rasmdagi grafikdan ko'rinadiki, $P_G = P_T$ shart δ_1 va δ_2 burchaklar mos keluvchi ikkita 1 va 2 nuqtalarda bajariladi. Bu nuqtalarning qaysi birida generator turg'un ishlashini aniqlash lozim.

Faraz qilaylik, qandaydir ta'sir natijasida 1 nuqtada burchak kichik miqdor $\Delta\delta$ ga og'di. Bunda generatorning elektromagnit quvvati va elektr uzatish liniyasi orqali uzatiluvchi quvvat ΔP_1 ga ortib, turbinaning mexanik quvvati inersiya tufayli o'zgarishsiz qoldi. $P_{G1} + \Delta P_1 > P_T$ bo'lib qolganligi sababli valda quvvatlar (momentlar) balansi buzildi. Bunda tormozlovchi moment katta bo'lganligi sababli generatorning rotori tormozlanadi. Natijada burchak kamayib boradi, ya'ni $\Delta\delta \rightarrow 0$, va rotor momentlar muvozanati ta'minlanuvchi 1 nuqtaga qaytadi. Bu nuqtada burchak $\Delta\delta$ ga kamaygan holda ham shu kabi jarayon – 1 nuqtaga qaytish yuz beradi.

Agar burchakning $\Delta\delta$ miqdorga ortishi 2 nuqtada yuz bersa, u holda $P_{G2} - \Delta P_2 < P_T$ bo'lganligi sababli valda ortiqcha tezlashtiruvchi moment hosil bo'ladi. Natijada rotorning aylanish tezligi ortib, u burchakning yanada ortishiga olib keladi. Burchakning ortishi z navbatida valdagi ortiqcha tezlashtiruvchi momentni yanada oshiradi va x.k. Shunday qilib, rotor va mos ravishda holat 2 nuqtaga qaytmaydi. Burchak kamayganda ham shu kabi jarayon kuzatiladi va u rotorning 1 nuqtaga qaytishi bilan tugaydi.

Yuqoridagiga mos ravishda 1 nuqtadagi holat turg'un hisoblanadi, chunki kichik og'ishlar sodir bo'lganda rotor dastlabki nuqtaga qaytadi. Boshlang'ich yoki unga yaqin bo'lgan holatning qayta tiklanishi sinxron generator va mos ravishda elektr sistemasini turg'un ishlashining asosiy ko'rsatkichi ekanligini yodda tutish lozim.

Turbina quvvati va mos ravishda liniya orqali uzatiluvchi quvvatning grafikka muvofiq ortib borishi bilan δ burchak ham ortib, holat 3 nuqtaga yaqinlashib boradi. Bu nuqta, bir tomondan, generatorning $\delta_m = 90^\circ$ bo'lgan holda berishi mumkin bo'lgan maksimal aktiv quvvatni ko'rsatadi:

$$P_G = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta, \quad (6.3)$$

bu yerda $P_m = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}}$ - maksimal quvvat. Boshqa tomondan 3 nuqta generatorning

turg'un va noturg'un ish sohalarini ajratuvchi chegara hisoblanadi.

Burchakning

- $\delta = 0 \div 90^\circ$ oralig'i sinxron generatorning turg'un ishlash sohasi;
- $\delta > 90^\circ$ bo'lgan qiymatlari generatorning noturg'un ishlash sohasi ekanligini yodda tutish lozim.

$P_m = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}}$ maksimal quvvat U kuchlanishning o'zgarmas qiymatiga mos kelib,

uzatiluvchi quvvatning ideal statik chegarasi deb yuritiladi.

Amaliy hisoblashlarda statik turg'unlik darajasini (kichik og'ishlardagi turg'unlikni) miqdoriy jihatdan baholash maqsadida quyidagi munosabat bo'yicha aniqlanuvchi statik turg'unlikning zaxira koeffitsiyenti tushunchasi kiritiladi:

$$K_s = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100\% \quad (6.4)$$

K_s ning qiymati

- normal holatlarda 20%;
- avariya dan keyingi holatlarda 8% belgilanadi.

Yuqorida sinxron generatorning turg'un ishlashi burchak va quvvat orttirma $\Delta\delta$ va $\Delta P = P_T \pm P_g$ larning ishoralari bir xil bo'lgan holdagina ta'minlanishi ko'rsatilgan edi. Bunday holda og'ishlar uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$\frac{\Delta P}{\Delta\delta} > 0 \text{ yoki hosilalarga o'tsak,}$$

$$\frac{d\Delta P}{d\delta} = \frac{d(P_T - P_G)}{d\delta} = \frac{dP}{d\delta} > 0, \text{ chunki } P_T = \text{o'zgarmas.}$$

Shunday qilib, statik turg'unlik

$$\frac{dP}{d\delta} > 0. \quad (6.5)$$

shart bajarilgan holda ta'minlanadi.

Bu shart sinxron mashina statik turg'unligining matematik mezoni hisoblanadi. Kichik turtkilarda turg'unlik muammosi va ma'nosi ushbu shartni bajarish uchun choralar ko'rishga keltiriladi. Ular keyinroq ko'rib o'tiladi.

Yana bir bor ta'kidlab o'tish lozimki, elektr uzatish liniyasi orqali aktiv quvvatni uzatish imkoniyati aynan e.yu.k. E_q va qabul qiluvchi sistema kuchlanishi vektorlari orasida δ burchak, boshqacha aytganimizda, uzatmaning chekkalaridagi kuchlanish vektorlari orasida burchak mavjud bo'lishi bilan bog'liqdir. Shunday qilib, turbinaga kiritiluvchi energiya tashuvchining (bug' yoki suv) miqdori va ularning mexanik quvvatlarini o'zgarishi uzatmaning elektr holatlarida uning turg'unligi va chegara-viy holatini xarakterlovchi miqdor hisoblanuvchi δ burchakning o'zgarishi orqali aks etadi.

Elektr sistemasining statik turg'unligi zaxirasini ta'minlash choralari

Elektr sistemasining statik turg'unligi – bu sistemaning holat parametrlarini kichik turtkildan so'ng, iste'molchilarni lozim bo'lgan aktiv va reaktiv quvvatlar bilan ta'minlagan holda, dastlabki holatiga qaytish imkoniyatidir.

Elektr sistemasi statik turg'unligining buzilishini oldini olish maqsadida quyidagi shartlarning bajarilishi lozim:

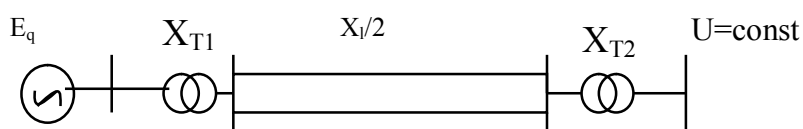
- elektr uzatish liniyalari orqali uzatiluvchi eng katta quvvatlar ularning ruxsat etilgan qiymatlaridan oshmasligi shart. Bu generator rotorlarining chegaraviy siljish burchaklarini o'rnatishga teng kuchlidir;

- kuchlanish darajalari, xususan yuklama tugunlarida, ruxsat etilganidan kam bo'lmasligi shart.

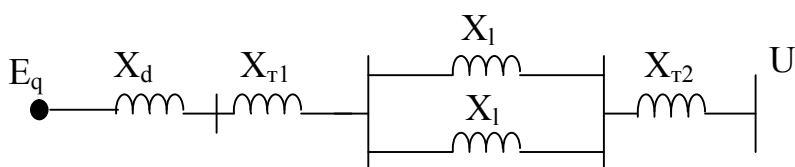
Bu shartlarning ta'minlanishi elektr sistemasini ishlatish va loyixalash jarayonlarida mos jihozlarni tanlab amalga oshiriladi, chunki ularning parametrlari bu shartlardan kelib chiqib tanlanishi lozim.

Yuqoridagi shartlardan kelib chiqib, statik turg'unlik zaxirasi qiymati salmoqli amaliy ahamiyatga ega, uni ta'minlash va oshirish esa ko'plab faktorlarga bog'liq.

Ulardan eng muhimlarini ko'rib o'tamiz. Elektr sistemasining sodda sxemasi berilgan bo'lsin (6.3- rasm).



6.3- rasm Oddiy elektr sistemaning prinsipial sxemasi.



6.4- rasm Oddiy elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

Generatordan uzatiluvchi quvvat quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_1 = \frac{E_q^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_q \cdot U}{Z_{12}} \sin(\delta - \alpha_{12}) \quad (6.6)$$

Elektr tarmoq elementlarining aktiv qarshiliklari hisobga olinmaganda ($r_i=0$) bu formula soddalashadi:

$$P_G = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta \quad (6.7)$$

Bu yerda: $P_m = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}}$, $X_{d\Sigma} = X_d + X_{T1} + \frac{X_l}{2} + X_{T2}$.

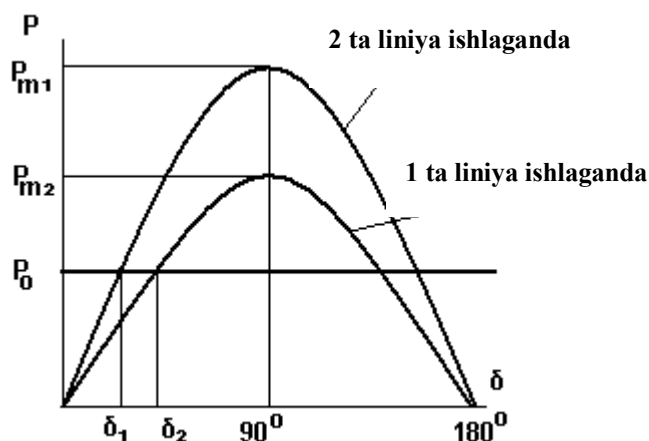
Formulaning tuzilishidan ko‘rinadiki, P_m ning ifodasiga kiruvchi miqdorlarga ta’sir etish yoki ularni o‘zgartirish orqali xarakteristikaning maksimumini oshirish, ya’ni uzatilishi mumkin bo‘lgan eng katta quvvatni oshirish va shu orqali quyidagi munosabatdan aniqlanuvchi statik turg‘unlik zaxirasini oshirish mumkin:

$$K_s = \frac{P_m - P_o}{P_o} 100\%. \quad (6.8)$$

Ularni alohida ko‘rib o‘tamiz va ularning o‘zgarish imkoniyatlarini aniqlaymiz. Induktiv qarshiliklardan boshlaymiz.

Qarshiliklar. Transformatorlarning qarshiliklari va ularning o‘zgarishi apparatning konstruktiv xususiyatlari bilan belgilanadi, shu sababli ishlatish davrida transformator statik turg‘unlikni hisoblashda nominal ma’lumotlar – quvvat, darajalarning qisqa tutashuv kuchlanishlari bilan aniqlanuvchi berilgan qarshilik ko‘rinishida ifodalanadi. Elektr uzatish liniyalarining formulaga kiruvchi qarshiliklari zanjirlardan biri. X_l quvvat ifodasining mahrajiga kirganligi sababli mos holda burchak xarakteristikasining maksimumi o‘zgaradi: zanjirlardan biri uzilganda uning qiymati P_{m1} dan R_{m2} gacha kamayadi, normal holatga mos keluvchi burchakning qiymati esa, δ_1 dan δ_2 gacha oshadi. P_m ni oshirish maqsadida yangi zanjir qshiladi.

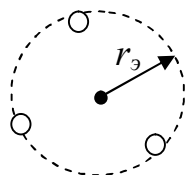
E’tiborga olish lozimki, uzatilishi mumkin bo‘lgan eng katta quvvat va statik turg‘unlik zaxirasini oshirish maqsadida elektr uzatish liniyalarining parallel zanjirlari sonini oshirish qimmat turuvchi tadbir hisoblanadi.



6.5- rasm. Uzatmaning bitta zanjiri uzilgan holda (6.3- rasm) quvvatning burchak xarakteristikasi.

Shu sababli uzun liniyalarda faza o‘tkazgichlarini parchalash tadbiri qo‘llaniladi (kuchlanishning yuqoriroq sinfiga o‘tishdan tashqari). Ma’lumki, liniyaning 1 km uzunligiga keltirilgan solishtirma induktiv qarshilik quyidagicha aniqlanadi:

$$X_o = 0.144 \lg \frac{D_{o'r}}{r_e},$$



Bu yerda $D_{o'r}$ – faza o'tkazgichlari oralaridagi o'rtacha geometrik masofa; r_e – ekvivalent radius.

Faza o'tkazgichlari parchalanganda induktiv qarshilikning kamayishi o'tkazgichlarning magnit maydonlarini qayta taqsimlanishi bilan tushuntiriladi: parchalangan o'tkazgichlar oralaridagi maydon zaiflashadi va go'yo material sarfi o'zgarmagan holda o'tkazgich kesim yuzasini oshirib, tashqariga siqib chiqariladi. Belgilash lozimki, o'tkazgichni parchalashda har bir qo'shimcha o'tkazgich yanada kamroq va kamroq samara beradi. Masalan, fazada ikkita o'tkazgich bo'lganda induktiv qarshilik 19% ga kamayadi, uchta bo'lganda – 28% ga, to'rtta bo'lganda – 32% ga va x.k.

Parchalash natijasida solishtirma induktiv qarshilik qiymatlari $0,41 \div 0,42$ om/km dan $0,26 \div 0,29$ om/km gacha o'zgaradi. Faza o'tkazgichi ikkita, uchta, to'rtta va undan ko'p parallel ulangan o'tkazgichlarga parchalanadi. Masalan, fazada liniya kuchlanishi 330 kV bo'lganda – 2 ta, 500 kV da – 3 ta, 750 kV da – 5 ta va 1150 kV da – 8 ta o'tkazgich mavjud bo'ladi. Shu sababli bunday chora o'tkazgich materiali sarfini oshirmasdan (chunki, uning umumiy kesim yuzasi oshmaydi) uzatiluvchi maksimal chegaraviy quvvatni oshishiga olib keladi..

Yuklamani o'zgaras qarshilik bilan hisobga olish umumiy qarshilikni oshiradi va shu sababli xarakteristikaning maksimumini pasaytiradi.

Sinxron generatorlarning induktiv qarshiliklari ko'p faktorlarga bog'liq.

Mashina parametrlarining miqdorlari va ularning narxi o'rtasida ma'lum aloqa mavjud, chunki induktiv qarshiliklar elektromagnit yuklamalar miqdori bilan aniqlanadi. Sinxron generatorning induktiv qarshiliklarini, xususan X_d ni kamaytirish mashina gabaritlarini oshirish va foydali ish koeffitsiyentini kamaytirish bilan bog'liq bo'lgan qiyin va qimmat yo'ldir. Bu masalani to'liqroq ko'rib o'tamiz.

Ma'lumki, sinxron induktiv qarshiliklarning qiymatlari mashinaning stator va rotor havo oralig'i miqdoriga teskari proporsionaldir:

$$X_d \equiv \frac{1}{\varepsilon} \quad X_q \equiv \frac{1}{\varepsilon}.$$

Bu yerda ε - stator va rotor orasidagi havo oralig'i.

Shu bilan bir vaqtda X_d ham qo'zg'atish tokiga teskari proporsional:

$$X_d \equiv \frac{1}{i_f}.$$

Bu munosabatlardan ko'rinib turibdiki, sinxron induktiv qarshilikni kamaytirish uchun xavo oralig'i va qo'zg'atish tokini oshirish lozim. Bu oshib boruvchi energetik jarayonlarni ta'minlovchi qo'shimcha magnit oqimini vujudga keltirish uchun zarur. Mos holda, bunda qo'zg'atish quvvatini oshirish, quzg'atish va boshqa

chulgʻamlarni kuchaytirish (u material sarfining ortishi bilan bogʻliq) zarurati paydo boʻladi. Qoʻzgʻatish chulgʻamini joylashtirishning qiyinligi munosabati bilan bu generatorning gabaritlarini oshishiga olib keladi. Shu sababli X_d va X_q larning kamayishi mashinaning qimmatlashishiga olib keladi.

Sinxron generatorning oʻtish induktivliklari X_d' , X_q' larning kamayishi chulgʻamdagi tokning zichligini oshirish hisobiga boʻlishi mumkin. Bu oʻz navbatida isroflarning oshishi, foydali ish koʻffitsiyentining kamayishi, generatorning ogʻirligiga va mos holda narxini ortishiga olib keladi.

Belgilangan muammolar zamonaviy, quvvati 200-1200 MVt boʻlgan generatorlarni qurishda oʻta muhim hisoblanadi. Ularda turli turdagi QARlarni qoʻllash samaraliroq hisoblanib, amalda ular yordamida generatorlarning sinxron va oʻtish induktivliklarini kompensatsiyalash amalga oshadi.

E.yu.k. va kuchlanish. Generatorning e.yu.k.ni oʻzgarishi (koʻrilayotgan holatda E_q) ikkita muhim parametrlar – quvvat koʻffitsiyenti va mashina shinalaridagi kuchlanishning oʻzgarishiga olib keladi. Zamonaviy yuqori darajada foydalaniluvchi sinxron generatorlar nominal quvvat koʻffitsiyentlarining yuqori qiymatlari $\cos\varphi=0,9-1$ bilan quriladi.

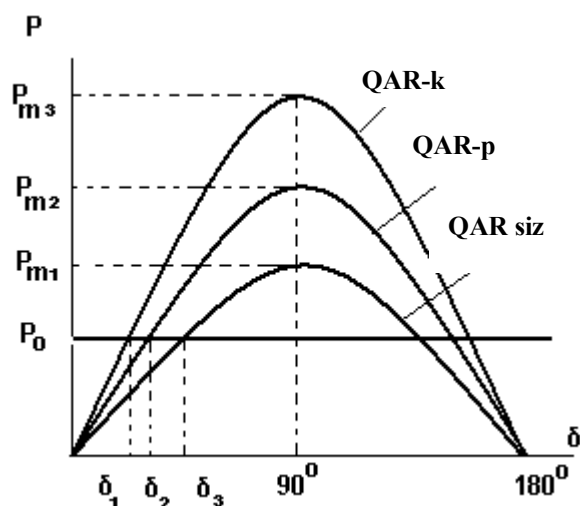
Berilgan aktiv quvvatda nominal quvvat koʻffitsiyentining oshishi nominal reaktiv quvvatning kamayishiga, generatorning gabaritlari va narxini kamayishiga olib keladi, chunki, bunda mashinaning toʻla quvvati kamayadi ($\cos\varphi_n = \frac{P_{GN}}{S_{GN}}$) va mos hol-

da aktiv va konstruktiv material sarfi kam boʻladi. Boshqa tomondan $\cos\varphi$ ning ortishi e.yu.k. E_q ning kamayishiga olib kelib, bu statik turgʻunlik zaxirasini kamaytiradi. Bundan tashqari, generatorda ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvatni uzatishning iqtisodiy jihatdan optimal uzunligi 25-70 km masofa bilan cheklanadi. Yuklama uchun zarur boʻlgan reaktiv quvvat isteʼmol qilish joyida ishlab chiqarilishi shart.

Masalan QAR-k mavjud boʻlganda sinxron generatorning ichki qarshiligi, transformatorning qarshiligi X_T , generatorning kuchlanishini oʻzgarmasligini ($U_G=const$) taʼminlaydigan qoʻzgʻatishini mos holda rostlash hisobiga kompensatsiyalanishi mumkin. Bu holatda burchak xarakteristikasining maksimumi quyidagi munosabatlardan aniqlanishi mumkin:

$$P_{m1} = \frac{U_G \cdot U_S}{X_1 + X_{T2}}. \quad (6.9)$$

Solishtirish uchun 6.6-rasmda turli tipdagi QAR mavjud boʻlganda burchak xarakteristikalarini keltirilgan.



6.6- rasm. Turli tipdagi QAR mavjud bo'lganda soddalashtirilgan burchak xarakteristikalar.

Aktiv quvvat formulasi (6.9) dan ko'rinadiki, uning qiymati generator e.yu.k.si va sistemaning kuchlanishi ko'paytmasi bilan belgilanadi, yoki, umumiy ko'rinishda, kuchlanishning kvadratiga bog'liqdir. Shu sababli birinchi yaqinlashishda liniya kuchlanishining ikki marta ortishi uzatish zanjirlari sonini to'rt marta ortishiga teng kuchli deb hisoblash mumkin. Bundan uzatish mumkin bo'lgan eng katta quvvatni oshirish uchun uzatma kuchlanishini oshirish uzatma zanjirlari sonini oshirishga nisbatan yanada iqtisodiy hisoblanishi ayon bo'ladi.

Liniya parametrlarini kamaytirish. Elektr uzatish liniyalari parametrlarining bo'ylama va ko'ndalang kompensatsiyalash ham uzatish mumkin bo'lgan eng katta quvvatni va statik turg'unlik zaxirasini oshirish chorasini hisoblanadi.

Bo'ylama kompensatsiya kondensatorlarni liniyaga ketma-ket ulashni bildirib, bunda qarshilik miqdori X_l dan $X_l - X_s$ gacha kamayadi (bu yerda X_s – kondensatorning sig'im qarshiligi). Bu chora, xususan, uzun elektr uzatish liniyalari bo'lganda samaralidir.

Ko'ndalang kompensatsiya sida uzatish liniyasiga transformator orqali ulangan sinxron kompensator (SK)ni ifodalaydi. SK ulanish nuqtasida kuchlanishni tutib turib, liniya uzunligi va mos holda uning qarshiligini kamaytirish effektini beradi.

Hozirgi davrda reaktiv quvvatning o'ta samarali, tez ishlovchi, ishlash vaqti 0,02-0,06 sek bo'lgan, statik manbalari (reaktiv quvvatning statik manbasi - RQSM) qo'llaniladi. Bu qurilmalar rostlanuvchi reaktor va rostlanmaydigan kondensator hamda boshqarish sistemasiga ega. Ular quvvatni oshirishdan tashqari, keng doiradagi vazifalarni bajaradi: holat parametrlarini fazalar bo'yicha rostlashni amalga oshiradi, o'ta kuchlanishlarni bartaraf etadi, kuchlanishni keng diapazonda rostlaydi, statik va dinamik turg'unlik zaxirasini oshiradi.

Kompensatorlar oilasiga, shuningdek, elektr uzatish liniyalarining sig'imlarini kompensatsiyalovchi va ulanish nuqtasida kuchlanishni, zakning to'yinish xarakteristikasini egri chiziqliligi hisobiga, tutib turuvchi rostlanuvchi va rostlanmaydigan reaktorlar ham kiradi.

Sinxron generatorning statik turg'unlik mezoni bo'lib $\frac{dP}{d\delta} > 0$ shart hisoblanishi

va uzatiluvchi maksimal quvvat R_m da sinxronlovchi quvvat nolga teng bo'lib qolishini yana bir bor eslatib o'tish lozim.

Shu sababli amaliy sharoitlarda bu quvvatni uzatish mumkin emas, chunki yuklamaning kichik miqdorga turtulishi generatorning sinxronizmdan chiqib ketishiga olib keladi, shuning uchun normal uzatiluvchi P_0 quvvat P_{max} ga nisbatan kichik bo'lishi shart. Uning miqdori sistemaning statik turg'unligi zaxira koeffitsiyentidan kelib chiqib aniqlanadi.

Yuqorida bayon etilganlardan quyidagi xulosani hosil qilish mumkin:

1. Uzatiluvchi quvvatning ideal chegarasi deb qabul qiluvchi shinalardagi kuchlanishlar o'zgarmas deb qaralganda sistemaga uzatiluvchi maksimal quvvatga aytiladi.

2. Sodda sistemaning statik turg'unligi mezoni bo'lib uzatiluvchi quvvatning generator e.yu.k. uzatmaning qabul qiluvchi chekkasidagi kuchlanish o'rtasidagi burchak bo'yicha hosilaning musbatligi hisoblanadi, $\frac{dP}{d\delta} > 0$.

3. Statik turg'unlikning zaxira koeffitsiyenti elektr sistemasi turg'unligining buzilishini oldini olish uchun stansiyadan tarmoqqa uzatiluvchi quvvatni qancha miqdorga oshirish mumkinligini ko'rsatadi.

4. Qo'zg'atishning zamonaviy avtomatik rostlagichlari (QAR-k, QAR-p) elementlarning induktiv qarshiliklarini, sinxron generatorning induktiv qarshiligini ham qo'shib hisoblaganda, qo'zg'atish sistemasini elektr sistemasi parametrlariga bog'liq holda samarali rostlash hisobiga kompensatsiyalashi mumkin.

Quvvatning statik chegarasini oshirishning keltirilgan barcha choralarini baholab, eng iqtisodiy choralar generator va yuklamalar shinalaridagi kuchlanishlarni o'zgarmas tutib turishga yo'naltirilgan choralar deb xulosa hosil qilish mumkin. Generatorlarda turli tipdagi QARlar va reaktiv quvvatning zamonaviy tez ishlovchi statik manbalarini qo'llash amalda, alohida uzatma va butun elektr sistemasida uzatiluvchi quvvat chegaralari va statik turg'unlik zaxirasini oshirishning eng ratsional va iqtisodiy chorasi hisoblanadi

Sinov savollari

1. Sinxron generatorni turg'un ishlash shartlarini burchak xarakteristikasida tushuntiring.

2. Sinxron mashinani turg'un va noturg'un ishlash zonasini burchak xarakteristikasida tushuntiring.

3. Sinxron generatorni quvvat formulasini keltiring.

4. Statik turg'unlikni zaxira koeffitsiyenti formulasini aniqlash.

5. Statik turg'unlikni matematik mezoni.

6. Elektr sistemasining statik turg'unligi zaxirasini ta'minlash choralari.

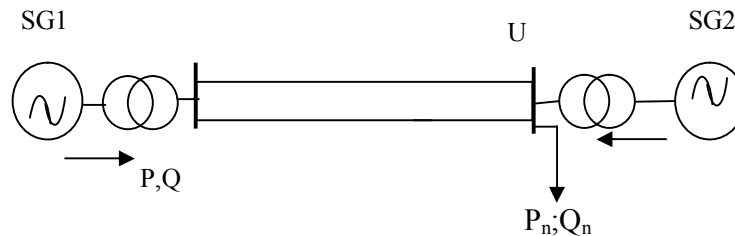
7. Uzatish liniyaning kesimini va sonini o'zgartirish yo'li bilan statik turg'unlik zaxirasini ko'paytirish.

8. Har xil turdagi qo'zg'atishni avtomatik rostlagichlari bilan foydalanib statik turg'unlik zaxirasini ko'paytirish.

7- Ma'ruza. Maksimal uzatilayotgan quvvatga kuchlanish pasayishi ta'siri

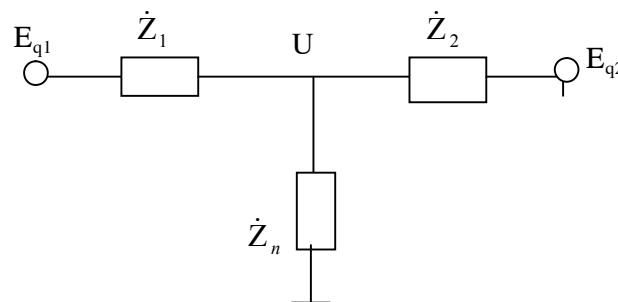
Ikkita stansiyadan tashkil topgan sistemaning sxemasini ko'rib o'tamiz.

Birinchi stansiyadan uzatilishi mumkin bo'lgan maksimal quvvatni aniqlash talab etiladi.



7.1- rasm. Oddiy elektr sistemaning prinsipial sxemasi.

Sxemani 7.2-rasmda tasvirlanganidek qulay ko'rinishga keltirish mumkin.



7.2- rasm. Oddiy elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

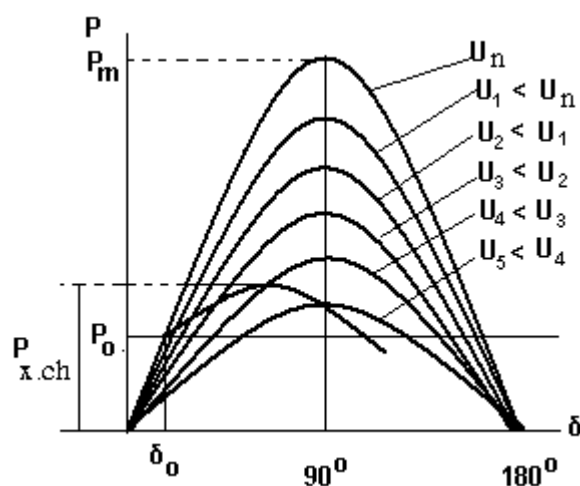
Kompleks qarshiliklarning aktiv tashkil etuvchilari reaktiv tashkil etuvchilariga nisbatan juda kichik deb hisoblaymiz. Bunday holda

$$Z_1 = X_{G_1} + X_{T_1} + \frac{X_1}{2} = X_1$$

$$Z_2 = X_{G_2} + X_{T_2} = X_2$$

$$Z_n = \frac{U^2}{S_n} (\cos \varphi_n + j \sin \varphi_n) = X_n$$

$$Z_{12} = X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_n}$$



7.3- rasm. Sinxron generatorni haqiqiy uzatilayotgan quvvat chegarasining xarakteristikasi.

Generatorning burchak xarakteristikasi $P=f(\delta)$ ni yuklama shinasida kuchlanish turlicha bo'lgan hollar uchun quyidagi formula asosida quramiz

$$P = \frac{E_q \cdot U}{X_1} \sin \delta. \quad (7.1)$$

Bu yerda: $U=U_N$ – yuklamadagi joriy kuchlanish (nominal holatda $U_N=U_{NO}$).

Uzatiluvchi quvvat qandaydir miqdorga oshganda yuklamadagi kuchlanish $U_1 < U_N$ gacha pasayadi va bu kuchlanishga mos keluvchi burchak xarakteristikasining maksimumi pastroq $P_{m1} < P_{m2}$ bo'ladi. Agar bu jarayonni davom ettirsak xarakteristikalar to'plami hosil bo'ladi (7.3-rasm).

Qurilgan xarakteristikalar har bir konkret holat uchun yuklama shinasidagi kuchlanish o'zgaras bo'lgan holat $U_i = o'zgaras$ uchun hosil qilingan. Bu sharoit ideallashtirilgan bo'lib, amalda uzatiluvchi quvvat oshganda generatorlar, transformatorlar va liniyalarning qarshiliklaridagi kuchlanish pasayishi oshadi va bunga mos ravishda yuklama shinasidagi kuchlanish U kamayadi. Biz xarakteristikani U ning kamayishini hisobga olib qurishimiz mumkin. Bu xarakteristikaning maksimumi $U = o'zgaras$ deb qabul qilingan holatdagiga nisbatan pastroqdan o'tadi.

Yuklama shinasidagi kuchlanish o'zgaras $U = o'zgaras$ bo'lgan sharoitda qurilgan xarakteristika ideal harakteristika deb yuritiladi. Bu xarakteristikaning maksimumi esa quvvatning ideal chegarasi deb yuritiladi.

Yuklama shinasidagi kuchlanishning o'zgarishi hisobga olinib qurilgan xarakteristika haqiqiy xarakteristika deb yuritiladi. Bu xarakteristikaning maksimumi esa quvvatning haqiqiy chegarasi deb yuritiladi Bu xarakteristikaning maksimumini (haqiqiy chegarasini) quyidagi formula bo'yicha topishimiz mumkin:

$$P_G = \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \sin \alpha_{11} + \frac{E_q \cdot U}{Z_{12}} \cdot \sin(\delta - \alpha_{12}). \quad (7.2)$$

$$\delta - \alpha_{12} = 90^\circ, \sin(\delta - \alpha_{12}) = 1; \text{ va } U_c = E_{q2} \text{ ekanligini hisobga olsak, } P_{x.ch.} = \frac{E_{q1} \cdot E_{q2}}{Z_{12}}$$

hosil bo'ladi.

Uzatiluvchi quvvatning haqiqiy chegarasi formulasi $Z_n = o'zgarmas$ bo'lgan holat uchun, ya'ni kuchlanish o'zgarganda yuklama qarshiliga o'zgarmas deb qaralib, hosil qilingan.

Amalda kuchlanishning o'zgarishi bilan yuklama qarshiligi ham o'zgaradi va bu yuklama va butun sistemaning turg'unlik shartlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Sinov savollari

1. Ideal va haqiqiy uzatilayotgan quvvatlar farqini tushuntiring.
2. Yuklamada kuchlanish o'zgarishi haqiqiy uzatilayotgan quvvatga qanday ta'sir etadi ?
3. Uzatilayotgan quvvat burchak xarakteristikasi haqiqiy chegarasini qurib bering.
4. Oddiy elektr tizim misolida tizim elementlarining parametrlarini aniqlash uchun tenglamalarni yozib bering.
5. Uzatilayotgan quvvat haqiqiy chegarasini aniqlash uchun formulasini ko'rsating.

8- Ma'ruza. Elekt tizimni statik turg'unligini xarakterlovchi tenglama orqali aniqlash

Rostlanmaydigan sistemaning qo'zg'atish chulg'amidagi o'tkinchi jarayonlarni hisobga olmagan holdagi statik turg'unligi

Elektr sistemalarini ishlatish tajribalari burchakning nazoratsiz ortishi (monoton yoki tebranuvchan) natijasida sinxron generator ayon bo'lmagan sabablarga ko'ra sinxronizmdan chiqib ketishi yoki sinxron tezlikda generatorning kuchlanishi xavfli qiymatlarga o'tib ketishi holatlarini ko'rsatadi. Bunday hodisalar elektr sistemalarining generatorlar quvvatlari katta bo'lmagan boshlang'ich bosqichida kuzatilar edi. Hosil qilingan tenglamalar asosida bunday hodisalarning sabablarini ko'rib o'tamiz. Jarayonlarning fizikasini aniqlash uchun avvalo rostlanmaydigan mashinani ko'rib chiqamiz.

Dempfer momentini hisobga oluvchi kichik tebranishlar tenglamasidan foylanamiz.

Differensiallash simvolini p operatori bilan almashtirib, ya'ni $\frac{d}{dt} = p$ belgilash kiritib, p ni algebraik miqdor sifatida qaraymiz. U holda

$$T_j \cdot p^2 \cdot \Delta\delta + P_d \cdot p \cdot \Delta\delta + c_1 \cdot \Delta\delta = 0. \quad (8.1)$$

o'rganilayotgan sistemaning quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan xarakteristik tenglamasini tuzamiz:

$$T_j \cdot p^2 + P_d \cdot p + c_1 = 0. \quad (8.2)$$

Uning ildizlari quyidagicha aniqlanadi:

$$p_{1,2} = \frac{-P_d \pm \sqrt{P_d^2 - 4T_j \cdot c_1}}{2 \cdot T_j} = \pm \sqrt{\frac{P_d^2}{4T_j^2} - \frac{c_1}{T_j}} - \frac{P_d}{2T_j} = \alpha \pm j \cdot \gamma_D$$

Bu yerda $\alpha = \frac{-P_d}{2T_j}$ - so'nish dekrementi, $\gamma_D = \sqrt{\frac{c_1}{T_j} - \alpha^2}$ - sinxron generator rotorining xususiy tebranishlar chastotasi.

Ma'lumki, (8.1) tenglamaning echimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\Delta\delta = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \quad (8.3)$$

A_1 va A_2 larni berilgan holat va sistemaning parametrlari orqali aniqlab, $\Delta\delta=f(t)$ bog'lanishni topish mumkin. Biroq, odatda, bu bog'lanishni sonli ko'rinishda hosil qilmasdan, uning xarakterini, ya'ni δ aperiodik monoton o'zgaruvchan yoki tebranuvchan bo'lishini, bunda so'nuvchan yoki ortib boruvchan bo'lishini aniqlashga harakat qilinadi.

Bu yerda quyidagilarni e'tiborga olish lozim. Xatto kompyutyerdan foydalanilganda ham o'ta yoki nisbatan kam murakkablikdagi elektr sxemasi uchun o'tkinchi jarayonlar tenglamalari sistemalarini tuzish va yechish juda ko'p mehnat talab qiluvchi masala hisoblanadi, chunki tenglamalar soni yuzlab va minglab bo'lishi mumkin. Shu sababli o'tkinchi jarayonlarning tenglamalarini echmasdan turib, elektr sistemasi turg'un yoki noturg'un ekanligini aniqlash imkonini beruvchi matematik usullar ishlab chiqilgan. Elektr sistemasining statik turg'un-ligini tadqiq qilishda chiziqlilashtirilgan tenglamalar asosida xarakteristik tenglama (yoki aniqlovchi) tuziladi va uning ildizlari ishoralari tahlil qilinib, qiziqtiruvchi ma'lumot olinadi.

Statik turg'unlikning zaruriy va yetarli sharti o'rganiluvchi sistema xarakteristik tenglamasi

$$D(p)=a_0 p^n+a_1 p^{n-1}+a_2 p^{n-2}+\dots+a_n=0 \quad (8.4)$$

ning barcha ildizlari manfiy haqiqiy qismga ega bo'lganda bajariladi. (8.2) yoki (8.4) larning koeffitsientlari elektr sistemasi uchun sistema parametrlari bilan belgilanganligi va doimo haqiqiy bo'lganligi sababli xarakteristik tenglamaning ildizlari haqiqiy yoki kompleks-qo'shma bo'lishi mumkin.

Ma'lumki, bir jinsli chiziqli differensial tenglamalar sistemasining yechimi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$X = A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t} \dots + A_n \cdot e^{p_n t} \quad (8.5)$$

Bu yerda $A_1, A_2, \dots$ - boshlang'ich shartlardan aniqlanuvchi o'zgarmaslar; $p_1, p_2, \dots, p_n$ - xarakteristik tenglamaning ildizlari. Ko'rinib turibdiki, agar (8.4) ning ildizlaridan birortasi haqiqiy musbat bo'lsa, u holda (8.5) ga muvofiq vaqt o'tishi bilan $X(t)$ monoton tarzda cheksiz ortib boradi. Bu o'rganilayotgan jarayonning turg'un emasligini bildiradi. Agar kompleks-qo'shma ildizlar musbat haqiqiy qismga ega bo'lsa, u holda $X(t)$ ning ortib borishi tebranishlar ko'rinishida bo'ladi. Bunga mos ravishda turg'unlikning ta'minlanishi uchun barcha ildizlar manfiy haqiqiy qismga ega bo'lishi shart. Shu sababli o'rganilayotgan sistemaning statik turg'unligini tadqiq qilish uchun qo'llaniluvchi barcha usullar xarakteristik tenglama ildizlari haqiqiy qismlarining ishoralarini tekshirishga keltiriladi. Xarakteristik tenglamaning koeffitsiyentlari holat parametrlari va sistema elementlaridan foydalanib tuzilgan, shu sababli, agar elektr sistemasida turg'unlikning buzilgan holati kuzatilsa, ularga ta'sir etish orqali elektr sistemasini turg'un holatga qaytarish mumkin.

Ildizlarning ishoralarini va xususan ularning manfiy haqiqiy qismlarga ega ekanligini tekshirish imkonini beruvchi qoida turg'unlik mezon deb yuritiladi.

Turg'unlik mezonlari ikki guruhga - algebraik va chastotali guruxlarga bo'linadi. Eng keng tarqalgan algebraik mezonlar - bu Gurvits va Rauss mezonlari, chastotali mezonlar esa - D - taqsimlash va Mixaylov mezonlaridir (bu mezonlarning ayrimlari kursni bayon etish davomida, qolganlari esa - tajriba ishlarini yoki nazorat topshiriqlarini bajarishda ko'rib chiqiladi).

Yana bir bor belgilaymizki, jarayonning xarakterini aniqlash va uning turg'unligini tekshirish quyidagicha amalga oshirilishi mumkin:

- a) xarakteristik tenglama ildizlarining son qiymatlarini topish orqali;
- b) turg'unlikning matematik mezonlaridan foydalanib, xarakteristik tenglama ildizlari haqiqiy qismlarining ishoralarini aniqlash orqali. Bu usul nisbatan ko'rgazmali hisoblanadi.

Tenglama ikkinchi darajaga ega bo'lgan (8.2) ko'rilyotgan holat uchun xarakteristik tenglama ildizlarining ishoralari va jarayonning dinamikasi o'rtasidagi bog'liqlik haqida har qanday darajali tenglama uchun o'rinli bo'lgan yorqin tasavvurni hosil qilish mumkin.

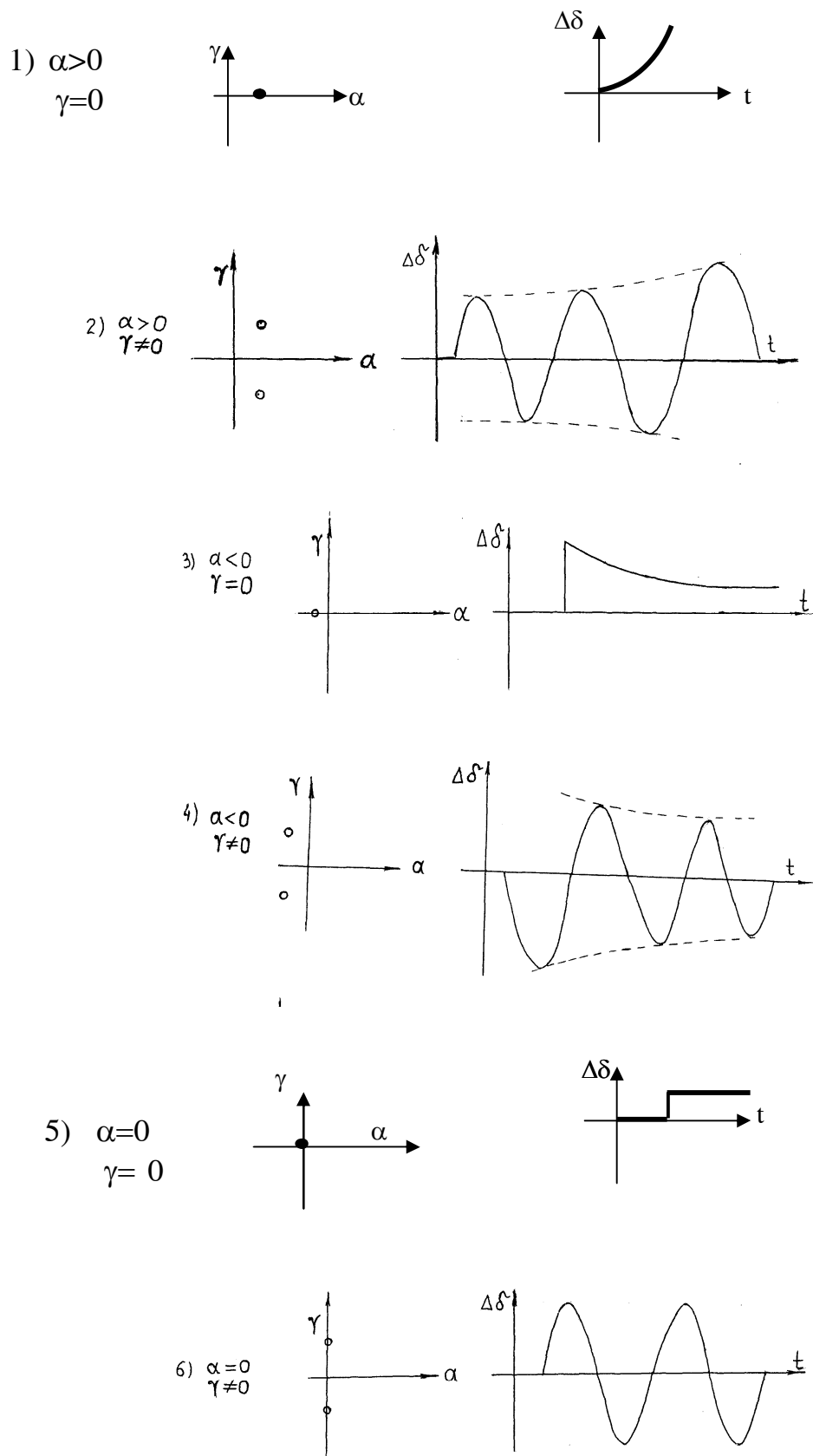
Eyler formulasi $e^{j\gamma} = \cos\gamma + j\sin\gamma$ dan foylanib, xarakteristik tenglama (8.4) ning echimini mos shakl almashtirishlardan so'ng quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta\delta = A_0 \cdot e^{\alpha t} \cdot \cos(\gamma \cdot t) \quad (8.6)$$

Bu yerda A_0 boshlang'ich shartlardan topiladi.

Ildizlarning haqiqiy qismlari va o'tkinchi jarayonning xarakterini belgilovchi $\Delta\delta = f(t)$ bog'lanish o'rtasida qanday bog'liqlik mavjudligini ko'rib o'tamiz. Buning uchun ildizlar tekisligini so'nish dekrementi va tebranishlar chastotasi $\gamma \rightarrow \alpha$ tekisligida quramiz. Ularning ishoralari turlicha bo'lgan xollarda bu tekislikda joylashuvini ko'rib o'tamiz (8.1-rasm).

Ildizlarning xarakteri. Jarayonning xarakteri



8.1- rasm. Xarakteristik tenglama ildizlarining ishoralari va jarayonning xarakteri o'rtasidagi bog'liqlik.

Keltirilgan grafiklarni ko'rib chiqib, elektr sistemasida kichik turtki sodir bo'lgan holatda o'tkinchi jarayonning xarakterini sifat jihatidan aniqlashimiz va uni xarakteristik tenglama ildizlari ishoralarining xarakteri bilan bog'lashimiz mumkin:

1. Agar ildizning haqiqiy qismi manfiy bo'lsa ($\alpha < 0$), sistema turg'un bo'ladi va holat doimo dastlabki vaziyatiga qaytadi ($\Delta\delta \rightarrow 0$). Bunda o'tkinchi jarayonning so'nishi monoton aperiodik ($\gamma = 0$) yoki tebranma ($\gamma \neq 0$) bo'lishi mumkin.

2. Agar ildizning haqiqiy qismi musbat bo'lsa ($\alpha > 0$), sistema noturg'un bo'ladi va $\Delta\delta(t)$ ning uzluksiz ortishi kuzatiladi, hamda holat dastlabki vaziyatiga qaytmaydi. Bunda turg'unlikning buzilishi monoton aperiodik ($\gamma = 0$) yoki tebranma ($\gamma \neq 0$) bo'lishi mumkin.

3. $\alpha = 0$ bo'lgan vaziyatlarda jarayon o'zgarmas so'nmaydigan ($\gamma = 0$) yoki o'zgarmas amplitudali tebranma bo'lishi mumkin ($\gamma \neq 0$).

4. Sinxron generatora dempfer sistemasining mavjud bo'lishi $P_d \neq 0$ tebranishlarni so'ndirishga yordam beradi, mashinaning turg'unligini oshiradi.

Hosil qilingan tasdiqlar umumiy bo'lib, ular elektr sistemasining murakkabligiga va mos holda uni ifodalovchi tenglamalarning darajasiga bog'liq emasligini e'tiborga olish lozim.

Rostlanmaydigan sistemaning qo'zg'atish chulg'amidagi o'tkinchi jarayonlarni hisobga olgan holdagi statik turg'unligi

Qo'zg'atish chulg'amidagi o'tkinchi jarayonlarni hisobga olish va uni elektr sistemasining turg'unligiga ta'sirini aniqlash maqsadida oldingi bo'limda hosil qilingan tenglamalarni to'ldiramiz.

Qo'zg'atish chulg'ami uchun

$$U_f = i_f r_f + \frac{d\psi_{ffd}}{dt}$$

yoki

(8.7)

$$i_{fe} = i_f + \frac{1}{r_f} \cdot \frac{d\psi_{ffd}}{dt}$$

tenglik o'rinlidir. Bu yerda $i_{fe} = \frac{U_f}{r_f}$ - qo'yilgan kuchlanish U_f ta'sirida

qo'zg'atish chulg'amida oquvchi barqaror majburiy tok; ψ_{ffd} - qo'zg'atish chulg'amining bo'ylama q bo'yicha kesib o'tuvchi natijaviy oqimi; i_f - rotorning ayni lahzadagi toki; r_f - qo'zg'atish chulg'amining aktiv qarshiligi.

Oxirgi ifodaning har ikkala tomonini bo'ylama q bo'yicha stator va rotor konturlari o'rtasidagi o'zaro induksiya induktiv qarshiligi X_{afd} ga ko'paytiramiz:

$$X_{afd}(i_{fe} - i_f) = \frac{X_{afd}}{r_f} \cdot \frac{d\psi_{ffd}}{dt} = \frac{X_{ffd}}{r_f} \cdot \frac{X_{afd}}{X_{ffd}} \cdot \frac{d\psi_{ffd}}{dt} \quad (8.8)$$

$$\text{yoki } E_{qe} - E_q = T_{do} \cdot \frac{dE'_q}{dt}$$

$$\text{va og'ishlarda } -\Delta E_q = T_{do} \cdot \frac{d(\Delta E'_q)}{dt}.$$

Bu yerda $E_{qe}=i_{fe} \cdot X_{afd}$, $E_q=i_f \cdot X_{afd}$, $T_{do}=\frac{X_{ffd}}{r_f}$ qo'zg'atish chulg'aming dempfer sistemasi hisobga olinmagan holdagi vaqt doimiysi. Stator chulg'ami ochiq bo'lganda uning qiymati generatorning turi va quvvatigi bog'liq ravishda 2-14 sekund oralig'ida bo'ladi; $E'_q = \psi_{ffd} \frac{X_{afd}}{X_{ffd}}$ - o'tkinchi e.yu.k.

Yana ikkita parametr uchun o'tkinchi jarayonni xarakterlovchi ifodani keltiramiz:
 $T'_d = T_{do} \cdot \frac{X'_d}{X_d}$ - stator chulg'ami yopiq bo'lganda qo'zg'atish chulg'aming vaqt doimiysi bo'lib, u 0,4-3 sekund oralig'ida o'zgaradi; T''_d - stator chulg'ami yopiq bo'lganda dempfer chulg'aming o'ta tez o'tkinchi vaqti doimiysi bo'lib, u 0,03-0,08 sekund oralig'ida o'zgaradi.

Rotorning nisbiy harakat tenglamasi

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_G \quad (8.9)$$

ni dempfer sistemasi va turbina quvvatining o'zgarmasligini hisobga olib og'ishlar orqali ifodalaymiz:

$$T_j \cdot p^2 \cdot \Delta\delta + \Delta P + P_d \cdot p \cdot \Delta\delta = 0. \quad (8.10)$$

$\Delta P_s = P_T - P_G = \Delta P_g$ miqdorni E_q yoki E'_q orqali ifodalash mumkin:

$$\Delta P_c = \frac{dP_{E_q}}{d\delta} \Delta\delta + \frac{dP_{E_q}}{dE_q} \cdot \Delta E_q = c_1 \cdot \Delta\delta + b_1 \cdot \Delta E_q \quad (8.11)$$

$$\Delta P_c = \frac{dP_{E'_q}}{d\delta} \Delta\delta + \frac{dP_{E'_q}}{dE'_q} \cdot \Delta E'_q = c_2 \cdot \Delta\delta + b_2 \cdot \Delta E'_q \quad (8.12)$$

c_1, c_2, b_1, b_2 koeffitsiyentlar holat parametrlarining o'zgarishlarini ketma-ket ko'rib o'tganimizda o'zgarishsiz qoladi.

Quyidagi munosabat (8.8) asosida o'rinlidir:

$$\Delta E_q = -T_{do} \cdot p \cdot \Delta E'_q \quad (8.13)$$

Tenglamalar sistemasini tuzamiz:

$$\begin{aligned}
& (T_j p^2 + P_d \cdot p) \cdot \Delta\delta + \Delta P_c + 0 + 0 = 0 \\
& c_1 \cdot \Delta\delta - \Delta P_c + b_1 \cdot \Delta E_q + 0 = 0 \\
& c_2 \cdot \Delta\delta - \Delta P_c + 0 + b_2 \cdot \Delta E'_q = 0 \\
& 0 + 0 + \Delta E_q + T_{do} p \cdot \Delta E'_q = 0
\end{aligned} \tag{8.14}$$

Bu tenglamalarda $\Delta\delta$, ΔP_c , ΔE_q , $\Delta E'_q$ lar noma'lumlar hisoblanadi. $\Delta\delta=f(t)$ va boshqa holat parametrlarining o'zgarish xarakterini aniqlash uchun (8.14) ni $\Delta\delta$ ga nisbatan yechamiz:

Ma'lumki, $\Delta\delta \rightarrow 0/D(p)$ bo'lib,

$$D(p) = \begin{vmatrix} T_j p^2 + P_d p & 1 & 0 & 0 \\ c_1 & -1 & b_1 & 0 \\ c_2 & -1 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 & T_{do} p \end{vmatrix}$$

$D(p)=0$ bo'lsa, (8.14) sistema yechimga ega bo'ladi.

$D(p)$ ni xarakteristik tenglama (yoki aniqlovchi) sifatida qarash, uning ildizlarini topish va ularning xarakteri bo'yicha sistemaning turg'unligi va turg'unmasligini baholash mumkin. p ni darajalar bo'yicha ochganimizdan so'ng quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$D(p) = T_j T_{do} b_1 p^3 + (T_j b_2 + P_d T_{do} b_1) p^2 + (c_2 T_{do} b_1 + P_d b_2) p + c_1 b_2 = 0. \tag{8.15}$$

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{X'_{d\Sigma}}{X_{d\Sigma}} = \frac{X'_d + X_d}{X_d + X_c} \text{ va } \frac{b}{b_2} \cdot T_{do} = T'_d$$

munosabatni hisobga olib,

$$T_j T'_d p^3 + (T_j + T'_d P_d) p^2 + (c_2 T'_d + P_d) p + c_1 = 0 \tag{8.16}$$

ni hosil qilamiz.

Ushbu tenglamaning ildizlari xarakterini tadqiq qilamiz. Buning uchun Gurvits qoidasi (turg'unlikning algebraik mezonidan) foydalanamiz. Unga muvofiq musbat ildizlarning mavjud bo'lmasligi uchun xarakteristik tenglamaning barcha koeffitsiyentlari va Gurvits aniqlovchilari Δ_{gur} ning musbat bo'lishi talab etiladi. Qanday hollarda Gurvits shartining buzilishi va musbat yoki haqiqiy qismlari musbat bo'lgan kompleks ildizlarning paydo bo'lishini aniqlash lozim. Eng avvalo, keltirilgan munosabatlarni shakllantirish kerak. Buning uchun xarakteristik tenglamani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0. \tag{8.17}$$

Bu yerda: $a_0 = T_j \cdot T_d'$, $a_1 = T_j + T_d' P_d$, $a_2 = P_d + c_2 T_d'$, $a_3 = c_1$.

Gurvits aniqlovchisi ma'lum qoida bo'yicha tuziladi: birinchi qator va ustunning kesishish joyiga ushbu tenglamadagi eng katta daraja ko'rsatkichiga nisbatan birga kichik bo'lgan tashkil etuvchi oldidagi koeffitsient yoziladi. Diagonal bo'yicha qolgan koeffitsiyentlar indekslarining ortib borishi tartibida yoziladi. Aniqlovchining diagonalidan yuqorida joylashgan elementlari bo'lib indeksleri birga katta, pastda esa, birga kichik bo'lgan koeffitsiyentlar hisoblanadi.

(8.4) tenglama uchun Gurvits aniqlovchisi va turg'unlik sharti quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Delta_{\text{GUR}} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & - & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & - & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & - & 0 \\ - & - & - & - & - & 0 \\ 0 & 0 & - & - & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & a_{n-2} & a_n \end{vmatrix}, \quad (8.18)$$

$$\Delta_1 = a_1 > 0, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0, \dots, \Delta_n > 0. \quad (8.19)$$

Oxirgi aniqlovchida butun Gurvits matritsasi mavjud bo'lib, agar uni oxirgi ustun elementlari bo'yicha ochsak, u holda quyidagini yozish mumkin:

$$\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1}.$$

Bu yerda: Δ_{n-1} - Gurvitsning oxiridan bitta oldingi aniqlovchisi.

Agar xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari turg'unlikning buzilishi tomoniga o'zgartirilganda, nol orqali birinchi bo'lib Δ_n ning o'tishi aniqlangan. Bunda agar $\Delta_{n-1} > 0$ bo'lsa, u holda nol orqali $a_n = 0$ o'tadi, ya'ni bu shart turg'unlik chegarasi hisoblanadi. Agar $a_n > 0$ bo'lganda $\Delta_{n-1} = 0$ bo'lsa, u holda bu turg'unlikning boshqa chegarasini ko'rsatadi.

Ifodalangan qoida bo'yicha (8.17) uchun Gurvits aniqlovchisini tuzamiz:

$$\Delta_G = \begin{vmatrix} a_1 & c_3 & 0 \\ a_0 & c_2 & 0 \\ 0 & c_1 & a_3 \end{vmatrix}$$

Biz ko'rib o'tayotgan uchinchi darajali tenglama (8.17) uchun turg'unlik shartini aniqlaymiz.

Turg'unlikning algebraik mezonlariga muvofiq xarakteristik tenglama ildizlarining haqiqiy qismlarini manfiyligini ta'minlovchi shart quyidagilar hisoblanadi:

1) koeffitsiyentlarning musbatligi, ya'ni

$$a_0 = T'_d T_j > 0, \quad a_1 = (T_j + T'_d P_d) > 0, \quad a_2 = (P_d + c_2 T'_d) > 0, \quad \text{va} \quad a_3 = s_1 > 0;$$

2) Gurvitsning oxiridan bitta oldingi aniqlovchisining musbatligi:

$$\Delta_{\text{GUR}} = \begin{vmatrix} T_j + P_d \cdot T'_d & c_1 \\ T_j \cdot T'_d & c_2 \cdot T'_d + P_d \end{vmatrix} > 0$$

Xarakteristik tenglama koeffitsiyentlari holat va sistema parametrlari bilan belgilanganligi uchun ularning o'zgarishi koeffitsiyentlarning musbatligini buzilishiga olib keluvchi shartlarini topamiz.

Sinov savollari

1. Sinxron mashinaning rotorning nisbiy harakat tenglamasidan xarakterlovchi tenglama ildizlarini chiqarib bering.
2. Statik turg'unlikni tahlil qilish uchun meyyorlarni aytib bering.
3. Xarakterlovchi tenglama ildizlari bo'yicha statik turg'unlikni tahlil qilish.
4. Xarakterlovchi tenglama ildizlarini aniqlaganda qiyinchiliklar.
5. Xarakterlovchi tenglama ildizlari xarakteri bo'yicha o'tkinchi jarayon o'zgarishini grafik usulida ko'rsating.
6. Qaysi holatlarda elektr tizimning statik turg'unligi ta'minlanadi ?
7. Statik turg'unlikni Gurvits usulida tekshirganda matritsa tuzulishini tushuntir-ing.

9- Ma'ruza. Dinamik turg'unlikni hisoblashda qabul qilinadigan asosiy farazlar. Qisqa tutashuv va noto'liq fazali holatlarida almashtirish sxemasi

Sistemaning dinamik turg'unligini o'rganishda differensial tenglamani echish orqali asosan generator e.yu.k. E_q bilan sistema kuchlanishi U_0 orasidagi burchak $\delta = f(t)$ va boshqa parametrlarning vaqt bo'yicha o'zgarishi aniqlanadi.

O'rganilayotgan jarayonning murakkabligini hisobga olib, dinamik turg'unlikni hisoblashni soddalashtirish maqsadida quyidagi farazlarni qabul qilamiz:

- o'tish jarayoni davrida energetika sistemasi sxemalarining o'zgarishi uning xususiy va o'zaro qarshiliqlarining o'zgarishi orqali hisobga olinadi;
- qisqa tutashuv davrida stator qisqa tutashuv tokining aperiodik tashkil etuvchisi va rotorning magnit maydoni hosil qiluvchi tormozlovchi moment generator shinasiga yaqin joyda sodir bo'ladigan 3- fazali qisqa tutashuvda mashinaning aylantiruvchi momentini taxminan 15%-ga kamaytirish orqali hisobga olinadi. Uch fazali qisqa tutashuv nuqtasi shinadan uzoqda bo'lganida bu tormozlovchi momentning qiymati kamligi sababli umuman hisobga olinmaydi. O'tish jarayoni davrida stator po'latidagi isrof o'ta magnitlanish hisobiga oshadi. Bu quvvat isrofining oshishi stator aktiv qarshiligini 1,2-2 baravarga oshirish bilan hisobga olinadi;

- nosimmetrik holatlar simmetrik tashkil etuvchilar usuli yordamida simmetrik holatlar bilan almashtiriladi;

- nosimmetrik qisqa tutashuvda paydo bo'luvchi tokning nolinchisi tashkil etuvchisi generator orqali oqmagani sababli tormozlovchi moment hosil qilmaydi;

- generatorlar va transformatorlarning to'yinishi ularning reaktiv qarshiliklarini taxminan 20-30% ga kamaytirish orqali hisobga olinadi. Barcha kataloglarda, odatda, generatorlar va transformatorlar qarshiliklarining to'yinmagan qiymatlari beriladi;

- taxminiy hisoblashlarda QARning ta'siri o'tkinchi X'_d qarshilikdan keyin qo'yiluvchi o'tkinchi e.yu.k. E' ni o'zgarmas deb qarash orqali hisobga olinadi;

- generatorning elektr quvvati oniy ravishda o'zgarsa, turbinaning quvvati o'tish jarayonining boshlang'ich laxzasida o'zgarmasdan qolib, faqat 0,2 – 0,3 sekunddan keyin tezlik rostlagich ta'sirida o'zgara boshlaydi;

- teskari ketma-ketlik toklari rotor aylanishiga teskari yo'lanishda aylanuvchi magnit maydonini hosil qiladi va bu maydonning ikkilangan chastota bilan aylanishi natijasida ikkilangan chastota bilan o'zgaruvchi moment hosil bo'ladi. Rotorning mexanik inersiyasi katta bo'lganligi sababli rotorning tezligi teskari ketma-ketlik toki hosil qiluvchi momentning o'zgarishiga ergasha olmaydi. Shu sababli natijaviy quvvat nolga teng bo'ladi. Teskari ketma-ketlik toki hosil qiluvchi quvvat isrofi almashtirish sxemasiga tegishli qarshilikni kiritish orqali hisobga olinadi.

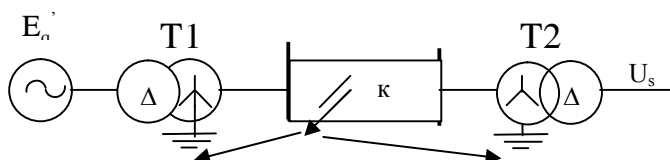
9.1- rasmda keltirilgan sxemani ko'rib o'tamiz. Bunda generatorda proporsional ta'sir etuvchi QAR o'rnatilgan, ya'ni X'_d qarshilik ortidagi o'tkinchi e.yu.k. E'_q o'zgarmas deb hisoblaymiz.

Burchak xarakteristikasi va holat parametrlarini shartli ravishda quyidagicha belgilaymiz:

I – normal holat;

II – avariya dan keyingi holat;

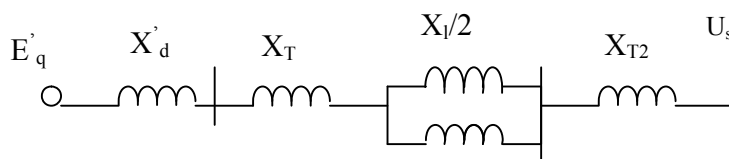
III - avariya holati.



9.1- rasm. Elektr sistemaning prinsipial sxemasi.

Normal holat.

Normal holat uchun sxema (9.2-rasm):



9.2- rasm Elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

Sistemaning summaviy qarshiligi:

$$X'_{d_{\Sigma 1}} = X'_d + X_{T_1} + X_{T_2} + \frac{X_1}{2} . \quad (9.1)$$

Normal holat burchak xarakteristikasining maksimumi:

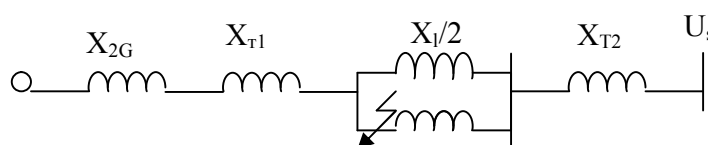
$$P_{m_1} = \frac{E'_q \cdot U_s}{X'_{Id_{\Sigma 1}}} . \quad (9.2)$$

Avariya holati.

Faraz qilamiz, havo elektr uzatish liniyasining boshlanishida nosimmetrik qisqa tutashuv sodir bo'ldi. Avariya holatining qarshiligini topish uchun simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalanamiz.

Ushbu usulga ko'ra, odatda, nosimmetrik qisqa tutashuvni «avariya shunti» deb ataluvchi qo'shimcha qarshiliq ortida sodir bo'lgan simmetrik qisqa tutashuv bilan almashtiriladi. Buning uchun tokning to'g'ri, teskari va nolinchi tashkil etuvchilari uchun almashtirish sxemasini tuzish zarur. To'g'ri ketma- ketlik toki uchun boshlang'ich sxemadan foydalaniladi.

Teskari ketma ketlik toki uchun sxema 9.3- rasmda tasvirlangan.

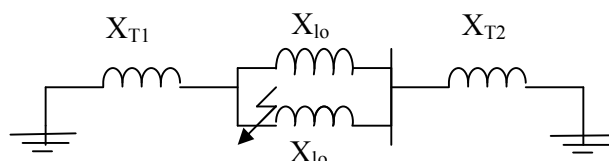


9.3- rasm Elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

Teskari ketma-ketlikning summaviy qarshiligi:

$$X_{2_{\Sigma}} = \frac{(X_{2G} + X_{T1}) \cdot \left(\frac{X_1}{2} + X_{T2} \right)}{X_{2G} + X_{T1} + \frac{X_1}{2} + X_{T2}} \quad (9.3)$$

Nolinchi ketma-ketlik toki uchun sxema 9.4- rasmda tasvirlangan.



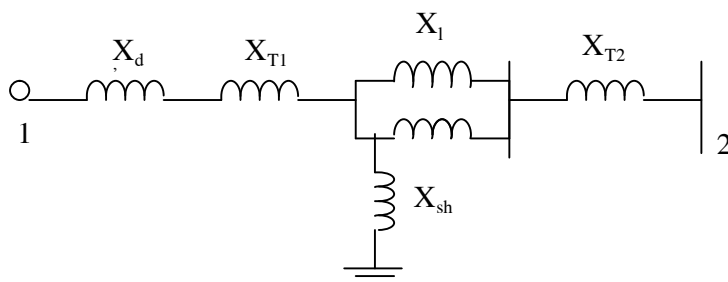
9.4- rasm Elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

Nolinchi ketma-ketlik toki uchun summaviy qarshilik:

$$X_{0_{\Sigma}} = \frac{X_{T1} \cdot \left(\frac{X_{l0}}{2} + X_{T2} \right)}{X_{T1} + \frac{X_{l0}}{2} + X_{T2}} . \quad (9.4)$$

Liniyaning nolinchi ketma-ketlik qarshiligi: $X_{l0} = (2 \div 3)X_l$.

Avariya holati uchun kompleks sxema avariya shuntini hisobga olib tuziladi (9.5- rasm).



9.5- rasm Elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

Bu sxemani ekvivalent uchburchakka o'zgartirish orqali 1 va 2 nuqtalar orasidagi, avariya holati uchun summaviy qarshiliq hisoblanuvchi qarshilikni topamiz:

$$X_{\Sigma III} = (X_d' + X_{T1}) + \left(\frac{X_l}{2} + X_{T2} \right) + \frac{(X_d' + X_{T1}) \cdot \left(\frac{X_l}{2} + X_{T2} \right)}{X_{sh}}; \quad (9.5)$$

Avariya shuntining qiymati quyidagicha qabul qilinadi:

- bir fazali qisqa tutashuv uchun $X_{sh} = X_{2\Sigma} + X_{2o}$;
- ikki fazali qisqa tutashuv uchun $X_{sh} = X_{2\Sigma}$;
- yer orqali ikki fazali qisqa tutashuv uchun

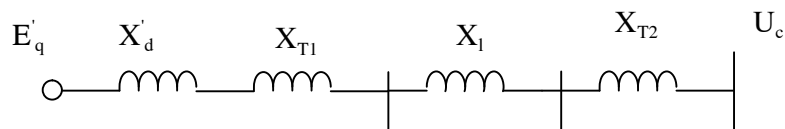
$$X_{sh} = \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{\Sigma o}}{X_{2\Sigma} + X_{\Sigma o}}. \quad (9.6)$$

Avariya holati uchun burchak xarakteristikasining maksimumi:

$$P_{m_{III}} = \frac{E_q' \cdot U_c}{X_{\Sigma III}} \quad (9.7)$$

Avariya dan keyingi holat. Liniyaning bitta zanjiri uzilgan avariya dan keyingi holatning summaviy qarshiligi:

$$X_{d\Sigma II} = X_d' + X_{T1} + X_l + X_{T2} \quad (9.8)$$

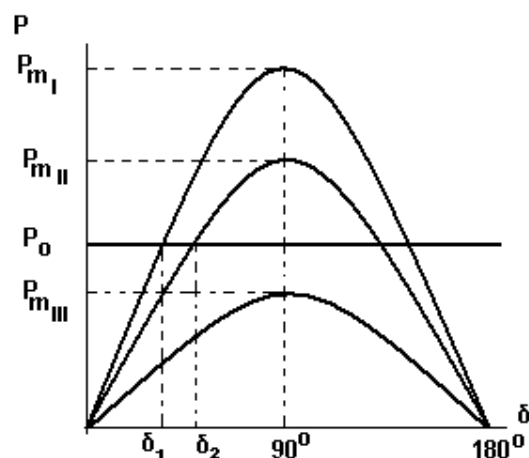


9.6- rasm Elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

Avariya dan keyingi holat uchun burchak xarakteristikasining maksimumi:

$$P_{mII} = \frac{E'_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma II}} \quad (9.9)$$

Shunday qilib, qabul qilingan shartlarga ko'ra oddiy elektr sistemasining dinamik turg'unligini hisoblash yuqorida ko'rilgan almashtirish sxemasidan kelib chiqib bajariladi. Agar qisqa tutashuv joyi, turi va avariya shuntining qiymati yetarlicha aniq topilgan bo'lsa, u holda olinuvchi natijalar elektromexanik o'tish jarayonlarini, asosan to'g'ri, ifodalaydi. Chunki elektr sistemasining aylanuvchi elementlari – generator, dvigatel, kompensator va x.k.larda jamlangan energiyaning qayta taqsimlanishi bunga bog'liqdir.



9.7- rasm. Normal (I), avariya dan keyingi (II) va avariya (III) holatlarining burchak xarakteristikalari.

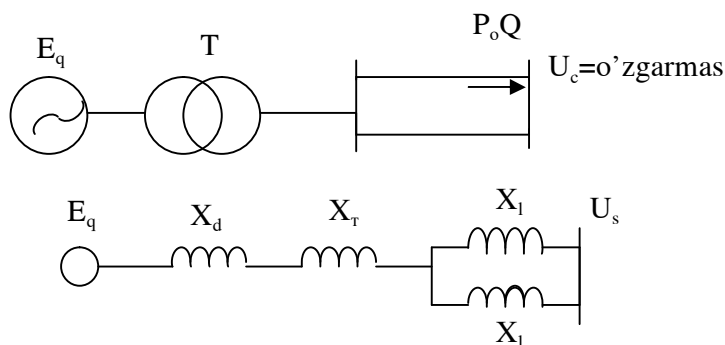
Sinov savollari

1. Elektr tizimni dinamik turg'unligini tushuntiring.
2. Dinamik turg'unlikni hisoblaganda qabul qilinadigan asosiy farazlar.
3. Noto'liq fazali qisqa tutashuvlarga tegishli almashtirish sxemalarni aytib ber-ing.
4. Avariya shunti ma'nosini tushuntiring.
5. Nolinchi ketma-ketlik uchun elektr tizimning almashtirish sxemasi.
6. Avariya dan keyingi holat uchun elektr tizimning almashtirish sxemasi.
7. Avariya dan keyingi, avariya va normal holatlari uchun sinxron generatorni g burchak xarakteristikalarni qurib bering.

10- Ma'ruza. Elektr tizim dinamik turg'unligiga qisqa tutashuv vaqti, qisqa tutashuv turi va uzatilayotgan aktiv quvvat ta'siri

Holatning keskin o'zgarishi yoki katta turtkilar sistema holatining salmoqli o'zgarishini, ya'ni uning elementlarida, sxemasida va holatida sistema, uning alohida elementlari orqali uzatilayotgan va istemolchilar olayotgan aktiv quvvatning tez va sezilarli o'zgarishiga olib keluvchi o'zgarishlar yuz berganligini bildiradi.

Parallel zanjirli elektr uzatmada liniyaning boshlanishida qisqa tutashuv sodir bo'lganda holatning dinamik buzilishi qanday sodir bo'lishini ko'rib o'tamiz. QAR mavjud bo'lmagan holatni olamiz (10.1- rasm).



10.1- rasm Elektr sistemaning prinsipial va almashtirish sxemalari.

Agar P_o , Q_o , U_s aniq bo'lsa, u holda:

$$E_q = \sqrt{\left(U + \frac{Q_o \cdot X_{d\Sigma}}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_o \cdot X_{d\Sigma}}{U}\right)^2}. \quad (10.1)$$

E_q bilan U_o orasidagi burchak:

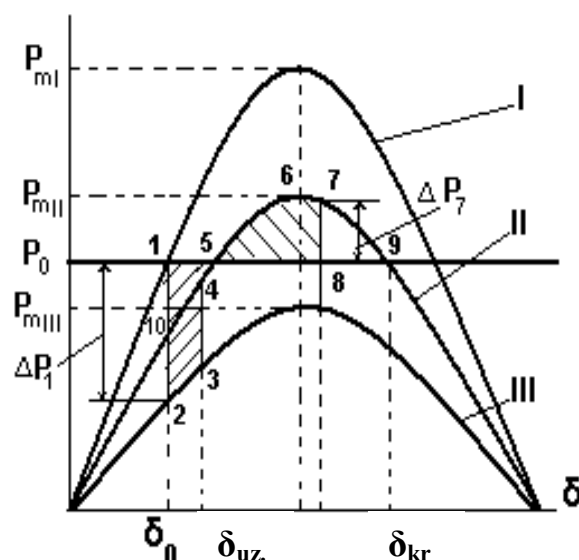
$$\delta_o = \arctg \frac{P_o \cdot X_{d\Sigma}}{U^2 + Q_o \cdot X_{d\Sigma}} \quad (10.2)$$

Sistemaning boshlang'ich holatiga mos keluvchi burchak xarakteristikasi quyidagi munosabat bo'yicha aniqlaniladi:

$$P = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma 1}} \sin \delta. \quad (10.3)$$

Xarakteristikaning maksimumi:

$$P_{m1} = \frac{E_q \cdot U_o}{X_{d\Sigma 1}} \quad (10.4)$$



10.2- rasm. Maydonlar usulini tushuntirishga doir sinxron generatorning burchak xarakteristiklari.

Bu yerda $X_{d\Sigma I} = X_d + X_T + X_l / 2$

Faraz qilamiz, elektr uzatish liniyasining bitta zanjiri qisqa tutashuvni uzish bilan bir paytda o'chirildi. Bu holatda quvvat formulasining maxraji quyidagiga teng bo'ladi:

$$X_{d\Sigma_u} = X_d + X_T + X_l \quad (10.5)$$

va avariya dan keyingi holat xarakteristikasining maksimumi

$$P_{mII} = \frac{E_q \cdot U_0}{X_{d\Sigma II}} \quad (10.6)$$

Normal holat xarakteristikasidan (I) avariya holat xarakteristikasiga (III) o'tish (10.2- rasm) burchakning normal holatdagi qiymati δ_0 da sodir bo'ladi (1 nuqtadan 2 nuqtaga).

Generatorning valida paydo bo'ladigan balanslashmagan moment $\Delta P_I = P_T - P_G$ tezlashtiruvchi bo'ladi, chunki bunda turbinaning quvvati inersionligi tufayli o'zgarmasdan qolib, generatorning tormozlovchi quvvati kamayadi. Natijada rotor tezlashadi va uning tezligi sinxron tezlikka nisbatan kattalashib boradi.

Burchak uzluksiz kattalashib boradi va 3 nuqtada qisqa tutashuv uzilib sistemaning holati avariya dan keyingi holat xarakteristikasidagi 4 nuqtaga o'tadi.

4 nuqtada $\Delta P > 0$, ya'ni $P_T > P_G$ bo'lganligi sababli rotorning tezlashishi davom etib, generatorning holati avariya dan keyingi holat xarakteristikasi bilan aniqlaniladi. Tezlashtiruvchi moment ta'sirida holat ketma-ket tarzda 5, 6, 7 nuqtalardan o'tib boradi.

5 nuqtadan boshlab generator o'qida ortiqcha tormozlovchi moment paydo bo'ladi, chunki bu nuqtadan keyin $\Delta P < 0$, ya'ni $P_T < P_G$ va 7 nuqtada rotorning nisbiy

harakati tugaydi va uning tezligi yana sinxron tezlikka tenglashadi. Bu nuqtada holat noturg'un, chunki $\Delta P < 0$ ($P_T < P_G$) bo'lganligi sababli generator valida tormozlovchi xarakterga ega bo'lgan ortiqcha quvvat ustunlik qiladi va uning ta'sirida burchak kamaya boshlaydi, generatorning holati ketma-ket tarzda 7, 6, 5, 4, 10, nuqtalar bilan aniqlanib, avariya dan keyingi xarakteristika II bo'ylab pastga yo'naladi.

Shunday qilib, jarayon tebranuvchan bo'ladi va doimo so'nib boradi. Rotor 2 nuqtadan 3 nuqttagacha bo'lgan oraliqda tezlashadi va 5 nuqtadan 7 nuqttagacha bo'lgan oraliqda tormozlanadi. Shuning uchun 1-2-3-4-5 maydon tezlanish maydoni, 5-6-7-8 maydon esa tormozlanish maydoni deyiladi. 5-6-7-9-8-5 maydon mumkin bo'lgan tormozlanish maydoni deyiladi. Rotor bir nechta tebranishlardan so'ng 5 nuqtaga qaytadi. Bunday holat dinamik turg'un holat deyiladi.

Agar 1-2-3-4-5 maydon chegarasida rotor olgan energiyasini 5-6-7-9-8-5 maydon chegarasida qisman sarflasa, qolgan energiya hisobiga u 9 nuqtadan o'tib ketadi va tezlanishini davom etiradi. Burchak hamma vaqt o'shib boradi. Bunday holat noturg'un holat deyiladi. Dinamik o'tish jarayoni turg'un bo'lishi uchun tezlanish maydoni mumkin bo'lgan tormozlanish maydondan kichik bo'lishi shart. Boshqa so'z bilan aytganda, rotorning tezlanishda olgan qo'shimcha kinetik energiyasi tormozlanish davrida to'laligicha sarflanishi lozim.

Shunday qilib, dinamik turg'unlik saqlanishi uchun qo'yidagi shart bajarilishi lozim

$$S_{TM} > S_{TEZ} \quad (10.7)$$

Bu yerda S_{TM} , S_{TEZ} - mumkin bo'lgan tormozlanish va tezlanish maydonlari.

Ko'rib chiqilgan jarayon energetik bo'lib, adabiyotlarda turg'unlikni aniqlashning bu usuli maydonlar usuli yoki maydonlar prinsipi deb yuritiladi.

Keyinchalik bu usul batafsilroq qarab chiqiladi.

Rotorning nisbiy harakat tenglamasi

$$T_j \cdot \frac{d^2 \delta}{dt} = P_o - P_m \cdot \sin \delta \quad (10.8)$$

egri chiziqli hisoblanadi va u umumiy yechimga ega emas. Shu sababli uni yechish uchun maydonlar usulini qo'llash mumkin.

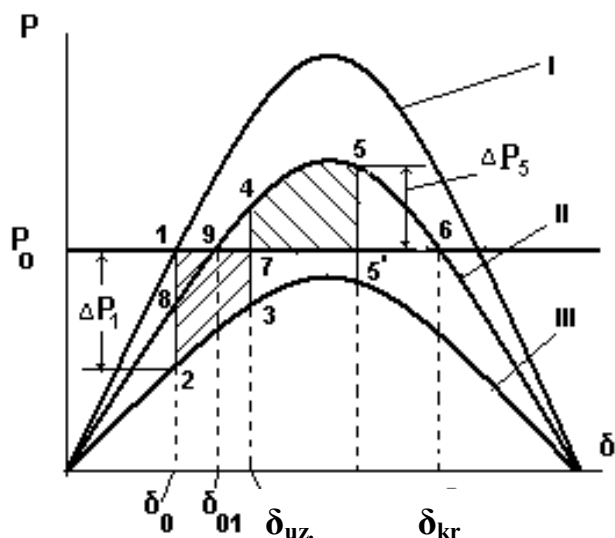
Bu holatda generator rotor harakatining xarakterini va $\delta=f(t)$ bog'lanishni rotorning nisbiy harakat differensial tenglamasini yechmasdan, uning mexanik energiyasi o'zgarishini ko'rib chiqish orqali aniqlash mumkin.

Nosimmetrik yoki uzoqlashgan qisqa tutashuv uchun dinamik turg'unlikning buzilish jarayonini yana bir bor ko'rib o'tamiz va shu misolda burchakning vaqt bo'yicha o'zgarish xarakteristikasi $\delta=f(t)$ ni quramiz.

Generator valida momentlar balansining buzilishi natijasida paydo bo'luvchi quvvat ortirmasi $\Delta P = P_T - P_G = P_o -$ burchak $\delta=f(t)$ ning o'zgarish xarakterini aniqlaydi va burchakning vaqt bo'yicha o'zgarishi o'z navbatida ΔP ning o'zgarishiga olib keladi.

Yuqoridagi 10.1-rasmda keltirilgan sxema sharoitida liniyaning boshlanishida nosimmetrik qisqa tutashuv sodir bo'ldi deb faraz qilaylik. Paydo bo'lgan $\Delta P_1 = P_T - P_G$ quvvat ortirmasi ta'sirida rotor tezlashadi (10.3-rasm). 3 nuqtada qisqa tutashuv uzilgandan keyin holat avariya dan keyingi 4 nuqtaga o'tadi va inersionlik tufayli ro-

tor tezligining ortib borishi olingan kinetik energiya tormozlanish hisobiga to'liq sarflanib bo'lgan 5 nuqttagacha davom etadi. Biroq 5 nuqtada $\Delta P_5 = P_T - P_G < 0$ va rotor validagi tormozlovchi moment ortiqcha bo'lganligi sababli holat noturg'un bo'ladi.



10.4- rasm Maydonlar usulini tushuntirishga doir sinxron generatorning burchak xarakteristikalari.

5 nuqtada rotorning nisbiy tezligi nolga teng, ya'ni uning absolyut tezligi yana sinxron tezlikga tenglashadi. Ortiqcha tormozlovchi moment ta'sirida burchak kamaya boshlaydi va generatorning holati avariya dan keyingi II holat xarakteristikasi bo'ylab ketma-ket 5-4-9-8 va undan pastki nuqtalarga mos keluvchi holatlar bilan aniqlanadi.

Agar rotorning 1-2-3-7-1 nuqtalar bilan chegaralangan maydon bilan belgilanuvchi tezlanishida olgan qo'shimcha energiyasi 7-4-5-6-7 maydonda tormozlanishga sarflanuvchi energiyadan kichik bo'lsa, dinamik jarayon turg'un bo'ladi. Aks holda generator turg'unligini yo'qotadi. Bu tebranuvchan «tezlanish – tormozlanish» jarayoni davom etadi va turg'unlik saqlangan holatda burchakning vaqt bo'yicha o'zgarish amplitudasi davrdan-davrga kichiklashib borib, 9 nuqtada yangi normal holat o'rnatiladi. Bunda burchakning vaqtga bog'liq holda o'zgarish jarayoni $\delta = f(t)$ 10.4- rasmda tasvirlanganidek ko'rinishda bo'ladi. Bu rasmdagi 3-4, 5, 4, 9, 8 nuqtalar 10.3-rasmdagiga mos keladi.

Burchak δ_0 dan δ_{01} gacha ortganda rotorning tezlashishi natijasida unda jamlangan energiya quyidagicha aniqlanadi:

$$A_{\text{TEZ}} = \int_{\delta_0}^{\delta_{01}} \Delta P_1 d\delta = \text{maydon 123791} = S_{\text{TEZ}} \quad (10.9)$$

Shunday qilib rotorning tezlashishida unda jamlangan qo'shimcha kinetik energiya tezlanish maydoniga ekvivalentdir.

Tormozlanishda sarflanadigan energiya quyidagi ifoda orqali aniqlaniladi:

$$A_{\text{TOR}} = \int_{\delta_{01}}^{\delta_s} \Delta P_s d\delta = \text{maydon } 7455'7 = S_{\text{TOR}} \quad (10.10)$$

5 nuqtada rotorning tezlashish natijasida olgan kinetik energiyasi to'liq sarf etilib, uning nisbiy tezligi nolga teng, ya'ni $\Delta\omega = 0$ yoki $\omega_R = \omega_0$ bo'ladi

5 nuqtadan boshlab tormozlovchi moment ΔP_s ta'sirida rotorning tezligi sinxron tezlikka nisbatan kamayib boradi.

Maydonlar qoidasiga muvofiq turg'unlik sharti bo'lib quyidagilar hisoblanadi:

$$A_{\text{TEZ}} < A_{\text{TOR}} \quad (10.11)$$

Yoki

$$S_{\text{TEZ}} \leq S_{\text{TM}}. \quad (10.12)$$

Maydon 7 4 5 6 7 mumkin bo'lgan tormozlanish maydoni deyiladi, chunki bu maydon chegarasida ortiqcha energiya tormozlanishga sarflanadi.

6 nuqta – kritik nuqta. 6 nuqtaning noturg'unligi shu bilan aniqlanadiki, rotorning kichikkina og'ishi ham rotorning tormozlanishiga yoki δ burchakning uzluksiz o'shishiga olib keladi.

Shunday qilib, maydonlar usuli katta turtkilarda turg'unlikni aniqlaydigan energetik usul bo'lib, u rotorning tezlanishida to'plovchi va tormozlanishida sarflovchi energiyalarni aniqlashga asoslangan. Chunki burchak δ rotor bilan chambarchas bog'langan bo'lib, uning tebranishini burchak xarakteristikasidan aniqlash va $\delta = f(t)$ bog'lanishni o'rnatish mumkin, ya'ni dinamik turtki natijasida turg'unlikning saqlanishini yoki uning yo'qolishini aniqlash mumkin.

Sinov savollari

1. Holat keskin o'zgarishi elektr tizimga qanday ta'sir etadi ?
2. Dinamik turg'unlikni tahlil qilishda maydonlar usuli.
3. Tormozlanish va tezlanish maydonchalarni aniqlash.
4. Dinamik turg'unlikni maydonlar usulida tahlil qilishda burchak xarakteristikalarini qurish.
5. Holat keskin o'zgarishda burchak xarakteristikada o'zgarishlarni ko'rsating.
6. Burchak vaqt bo'yicha o'zgarishi $\delta = f(t)$ xarakteristikasini tushuntirib bering.

11-Ma'ruza. Elektr tizim dinamik turg'unligiga QAR va AQuning ta'siri

O'tkinchi jarayonning paydo bo'lishi va sinxron generator turg'un ishlashi buzilishining asosiy sababchisi mashinalar validagi momentlar balansining buzilishi hisoblanadi. $P_t = P_g$ muvozanatning buzilishi har xil sabablar, jumladan, qisqa tutashuvlar, yuklama va generatorlarning bir qismini uzish va hokazo, natijasida yuz berishi mumkin. Generatorlarning shinalariga yaqin bo'lgan joyda yuz beruvchi uch fazali

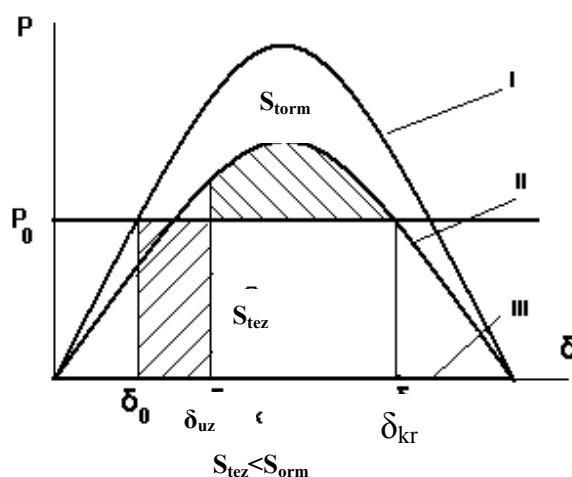
qisqa tutashuv eng og'ir oqibatlariga olib keladi. Shu sababli, generatorlar va mos holda elektr sistemasining turg'unligini saqlash uchun qo'llaniladigan tadbirlar ushbu balansni ta'minlashga yo'naltirilgan.

Elektr sistemasining statik turg'unligini ta'minlash uchun ko'rib o'tilgan tadbirlar dinamik turg'unlik zahirasini ham oshiradi. Shuningdek, dinamik turg'unlikni oshirishning boshqa usullari ham mavjud:

- tez ishlovchi uzgichlarni qo'llash;
- qo'zg'atishni tashkil etuvchi va tashkil etmaydigan QARni qo'llash;
- uzatish liniyalarining nominal kuchlanishlarini oshirish;
- turbinani rostlash;

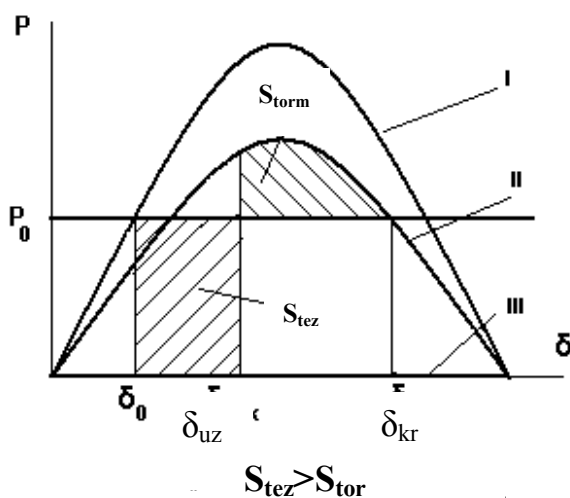
Tez ishlovchi uzgichlar. Dinamik turg'unlikni ta'minlash uchun qisqa tutashuvni imkoni boricha tez uzish lozim. U tadbir generatorlarning parallel ishlash turg'unligiga avariya holatining salbiy ta'sirini kamaytirish uchun eng belgilovchi vosita hisoblanadi. Agar avariya sodir bo'lgan ondayoq uzilganida edi, u sistemaning ish sharoitiga hech qanday buzilish kiritmagan bo'lar – holat to'g'ridan-to'g'ri avariya dan keyingi holat xarakteristikasiga o'tish bilan xarakterlanar edi.

a)



Turg'unlik saqlanadi

b)



Turg'unlik saqlanmaydi

11.1- rasm. Qisqa tutashuvni uzish vaqtining ($\delta_{uz.}$) dinamik turg'unlikka ta'sirini aniqlash uchun burchak xarakteristikalar:

- a) turg'unlik saqlandi, $t_{uz1}, S_{tez} < S_{tor}$;
 b) turg'unlik saqlanmadi, $t_{uz2} > t_{uz1}, S_{tez} > S_{tor}$.

11.1- rasmda keltirilgan grafiklardan ko'rinadiki, qisqa tutashuvning tez uzilishi tezlashish maydonini kamaytirish, mumkin bo'lgan tormozlovchi maydonni ko'paytiradi va shu sababli dinamik turg'unlikning zahira koeffitsiyenti

$K_d = S_{tor} / S_{tez}$ ni oshiradi.

6-20 kV kuchlanishga mo'ljallangan uzgichlarning uzish vaqti sanoat chastotasi bo'yicha tebranishning 5-10 ta (0,1-0,2 sek), 35 kV va undan yuqori kuchlanishga mo'ljallangan uzgichlarniki esa 2-5 ta (0,04-0,1 sek) davrini tashkil etadi. Bunda avariyaning moyli uzgichlar yordamida uzish tezligi 0,18-0,2 sek, havoli uzgichlar yordamida esa 0,08-0,1 sek oralig'ida bo'lishini nazarda tutish lozim. Hozirgi sharoitlarda o'ta tez ishlovchi sinxronlashgan uzgichlarni qo'llash kengayib bormoqda. Sinxronlashgan uzgich deb kontaktlari uziluvchi tokning nolga kelish vaqtini taxminan 1,5-2,5 ms ildamlab, qat'iy belgilangan vaqtda ajratuvchi uzgichga aytiladi. Qisqa tutashuv sodir bo'lgan zanjirni sinxronlashgan uzgich yordamida uzishning to'liq vaqti bir davr atrofida (0,02 sek) bo'ladi.

Mavjud talablarga muvofiq, qoidaga ko'ra, sinxron dinamik turg'unlik liniyaning eng noqulay nuqtasida quyidagi turdagi qisqa tutashuv sodir bo'lgan hollarda saqlanishi lozim:

- 35 kV kuchlanishli tarmoqlar uchun – yer orqali ikki fazali qisqa tutashuv sodir bo'lganda;

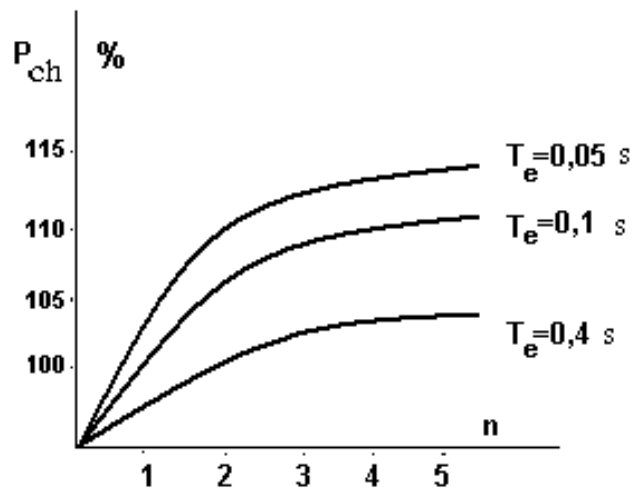
- 500 kV va undan yuqori kuchlanishli tarmoqlar uchun – yer orqali ikki fazali qisqa tutashuv sodir bo'lganda. Agar bu katta kapital mablag'larni talab etsa, u holda sinxron dinamik turg'unlikni faqat bir fazali qisqa tutashuvlar uchun avtomatik qayta ulash (AQU)ning muvaffaqiyatsiz ishlashini hisobga olib ta'minlashga ruxsat etiladi. AQU, xususan liniyadagi AQU, dinamik turg'unlikning saqlanishiga katta ta'sir ko'rsatishini nazarda tutish lozim.

Qo'zg'atishni kuchaytirishli va kuchsizlashtirishli QARlarning qo'llash.

Avtomatik rostlagichlar butun o'tkinchi jarayon davomida dinamik turg'unlikka sezilarli ta'sir etadi. Qisqa tutashuv davrida qo'zg'atish tokining ortishi xali sezilarli natijalarni berib ulgurmaydi. Shikastlangan joyni uzishdan bevosita keyingi, asinxron motorlarning sirpanishini tezda kamaytirish va generatorlarni tormozlash juda muhim bo'lgan davrda QARning qiymati juda yuqori bo'ladi. Agar chayqalishning birinchi siklida sistema turg'unligicha qolsa, u holda keyingi sikllarda, QAR mavjud bo'lgan taqdirda, turg'unlikning buzilishi amalda sodir bo'lmaydi.

O'tkinchi jarayonlarning xarakteriga eng yuqori kuchlanish (kuchaytirishning karraligi n) va qo'zg'atishning vaqt doimiysi T_e ta'sir etadi.

Dinamik turg'unlik shartlari bo'yicha uzatiluvchi eng katta quvvat chegarasining qo'zg'atishning ortib borishi bilan oshishi T_e qanchalik kichik bo'lsa, shunchalik sezilarlidir (11.2- rasm).



11.2- rasm. Eng katta qo'zg'atish n va qo'zg'atkichning vaqt doimiysi T_e ning chegaraviy quvvatga ta'siri xarakteristikasi.

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, qo'zg'atish parametrlarining eng yuqori qiymatlari qo'zg'atish sistemasining tuzilishi va quvvatiga bog'liqdir. Dinamik turg'unlikni oshirishda qo'zg'atish toki va kuchlanishining eng yuqori qiymatlari sezilarli ahamiyatga ega:

$$n_u = \frac{U_q}{U_{qn}}, \quad n_l = \frac{i_q}{i_{qn}}.$$

Shuni belgilash lozimki, tebranishlarni yo'qotish uchun nafaqat qo'zg'atishni kuchaytirish, balki o'z vaqtida qo'zg'atish kuchlanishini kamaytirish ham qo'llaniladi.

Qo'zg'atishni kuchlanish vektorlari orasidagi burchakning ikkinchi tartibli hosilasi bo'yicha rostlash juda effektiv hisoblanadi. Buning sababini quyidagicha xulosa-lash – ya'ni generatorlar rotorlari orasidagi siljish burchagi bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosila generator o'qidagi ortiqcha momentga proporsionalidir

$$\frac{d^2\delta}{dt} = \frac{\Delta P}{T_j}$$

Shuning uchun rostlashning ta'siri o'tkinchi jarayon va chayqalishni chiqiradigan sababga mos keladi. Qo'zg'atish tokini va mos ravishda elektromagnit momentni generator rotor tezlashganda ko'paytirib, u tormozlanganda kamaytirish kerak.

Liniyaning nominal kuchlanishini oshirish.

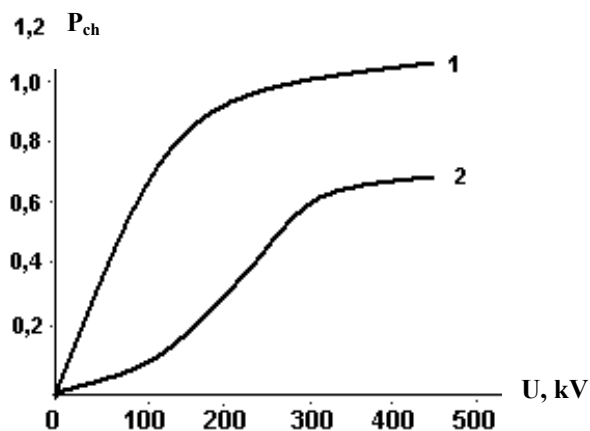
Uzatilayotgan quvvatning chegaraviy qiymati kuchlanishning kvadratiga to'g'ri proporsional va bu nuqtalarni bog'lovchi qarshilikka teskari proporsionaldir

$$P = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} = \frac{U^2}{X_{12}}$$

shuning uchun kuchlanishni nominal qiymatini oshirish dinamik turg'unlik zahirasini ko'paytirish uchun sezilarli. Bu 11.3 - rasmdagi grafikdan ko'rinadiki uzunligi

200 km bo'lgan liniyaning kuchlanishini 220 kV gacha oshirish uzatilayotgan quvvatning chegaraviy qiymatining sezilarli darajada oshishiga olib keladi.

Quvvat uzatilishining chegaraviy qiymati kuchlanish kattaligiga qanday bog'liq bo'lsa, liniya uzunligiga ham shunday bog'liq.

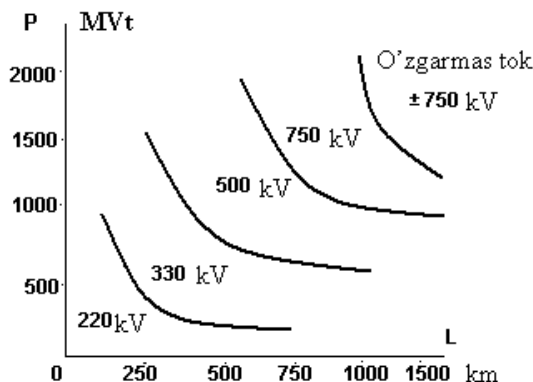


11.3 - rasm. Uzatilayotgan quvvatning kuchlanishga bog'liqligi xarakteristikasi: 1- liniyaning uzunligi 200 km;
2- liniyaning uzunligi 800 km.

Quyidagi 11.4-rasmda nominal kuchlanishning iqtisodiy qo'llash sohasining elektr uzatish liniyasi uzunligiga bog'liqligi keltirilgan.

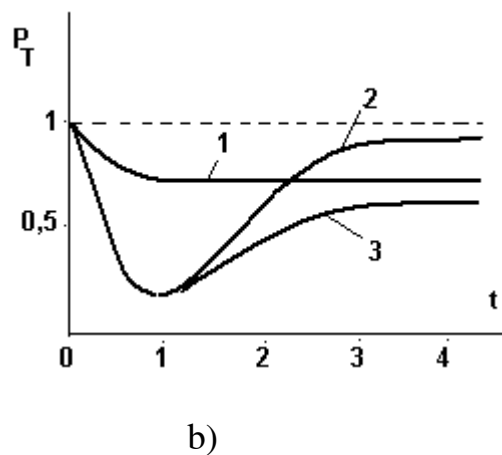
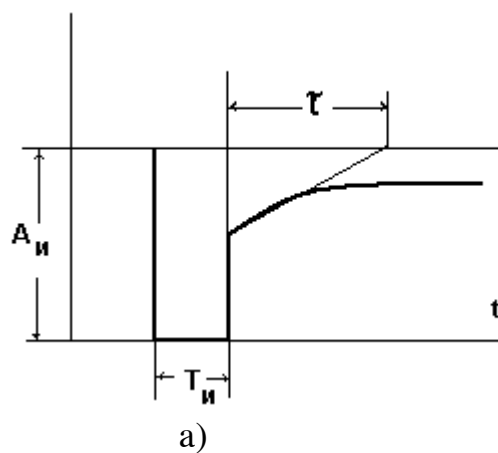
Kuchlanishni ikki marta ko'paytirish, qarshilikni to'rt marta kamaytirishga teng kuchli, bu zanjirlar sonini to'rt marta ko'paytirilganini bildiradi. Lekin, kuchlanishni ko'paytirish zanjirlar sonini oshirishga qaraganda iqtisodiy samaradorliroq. Har xil nominal kuchlanishni iqtisodiy qo'llash sohasi rasmda keltirilgan, undan ko'rinadiki o'zgaruvchan tok kuchlanishida quvvat uzatish o'zining imkoniyatini tamomlashga hali juda uzoq.

Bu yerda uzunligi 3000 km va undan ortiq – yarim to'lqin uzunligi deb ataluvchi yoki yarim to'lqin uzunligiga moslangan liniya o'rganilmagan. Ammo bunday liniya ajoyib holat xossasiga ega, bu esa maxsus kursning o'rganish sohasi hisoblanadi.



11.4- rasm. Har xil nominal kuchlanishni qo'llashning iqtisodiy sohasining xarakteristikasi.

Turbinani rostlash. Yuqorida ko'rsatilgandek, o'tkinchi jarayon turbinaning aylantiruvchi (mexanik) momenti va generatorning tormozlovchi (elektromagnit) momentlari orasidagi muvozanatning buzilishi hisobiga sodir bo'ladi. Tezlashish maydonini kichiklashtirish va tormozlash mumkin bo'lgan maydonni ko'paytirish maqsadida turbina quvvatini kamaytirish zarur, boshqacha so'z bilan aytganda avariya paytida elektr uzatishni yuksizlantirish zarur. Bu tadbir ko'pincha suv elektr stansiyalar (GES)lar uchun bir qism generatorlarni uzish orqali amalga oshiriladi, chunki bu texnologik jarayon uncha murakkab emas. Issiqlik va atom elektr stansiyalarida generatorlarni uzish va qo'shish texnologiyasi ancha murakkabroq, shu sababdan turbinalar quvvatini kamaytirishning boshqacharoq uslubi qo'llaniladi. Bu bug' turbinalarning quvvatini avariya holatida boshqarish deb nomlangan uslub (TQAB). TQAB bug' turbinalarining rostlash sistemasiga elektrogidravlik o'zgartirgich (EGo') va quvvatni boshqarish mexanizmi (QBM) orqali ta'sir ko'rsatadi.



11.5 - rasm. Turbinani avariya holatida boshqarish xarakteristikallari

- a) avariya holatida yuksizlantirish impulsining formasi;
- b) turbina xarakteristikasini o'zgartirishi.

Xarakteristika 2 dinamik turg'unlik shartidan kelib chiqib turbogeneratorni qisqa vaqtga yuksizlantirish va keyinchalik quvvatni avariya oldingi holatidagi qiymatigacha tiklash holiga mos keladi.

Statik turg'unlik shartiga ko'ra avariya keyingi holatda qisman yuksizlantirish talab etiladi (1,3 xarakteristika).

Bu ta'sir bilan sistemaning dinamik turg'unligini saqlash maqsadida agregatlar rotorlaridagi ortiqcha kinetik energiyani tezlikda so'ndirish turbinani qisqa muddatli impulsli yuksizlantirish tufayli ta'minlanadi. Keyinchalik turbinaning quvvati avariya-dan keyingi holat talab etayotgan qiymatgacha tiklanadi. Turbinaning quvvatini qisqa muddatga yuksizlantirish maqsadida boshqarishning dasturiy usuli qo'llaniladi: EGo'ga A_n amplitudali va davom etish vaqti T_n bo'lgan to'g'ri burchak ko'rinishdagi impuls eksponensial boshqarish signali beriladi va u τ doimiy vaqt bilan eksponensial sekin pasayib boradi. (11.5.-rasm). Odatda xarakteristikaning o'zgarish diapazoni: klapanlarning maksimal tezlikda yopilishini ta'minlovchi notekislik koeffitsiyenti $A_n=1\div 4$ va $T_n=0,1\div 0,5$ s, $\tau=2\div 5$ s. Impulsli ta'sir etishning tezkorligi tajribadan olingan qiymatlarni hisobga olgan holda o'tkinchi jarayonlarning tahlili natijasi bo'yicha darajalanadi.

Sistemaning dinamik turg'unligini saqlash maqsadida qayd etilganlardan tashqari holat xarakteridagi tadbirlar, sistemaning ulanish sxemasini o'zgartirish, elektr sistemani nosinxron ishlayotgan qismlarga bo'lish, shuntlovchi reaktorlarning ma'lum bir qismini uzish, avtomatik yuksizlantirish va xokazolar qo'llaniladi.

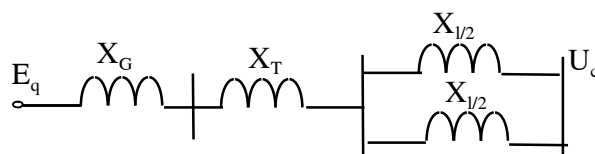
Odatda sanab o'tilgan tadbirlarning ko'pchiligi sistemaning nafaqat dinamik turg'unligini shu qatorda avariya-dan keyingi holatning statik turg'unligini saqlash uchun ham birgalikda (kompleks) qo'llaniladi.

Sinov savollari

1. Dinamik turg'unlik zahirasi oshirish uchun choralari.
2. Dinamik turg'unlikni oshirish uchun tez ishlovchi uzgichlarni qo'llash.
3. Qo'zg'atishni kuchaytirishli va kuchsizlashtirishli QARlarning qo'llash orqali dinamik turg'unlikni oshirish.
4. Uzatish liniyaning kuchlanishini oshirishi elektr tizim dinamik turg'unligiga ta'siri.
5. Dinamik turg'unlik zahirasi oshirish maqsadda avtomatik qayta ulashni (AQU) qo'llanilishi.

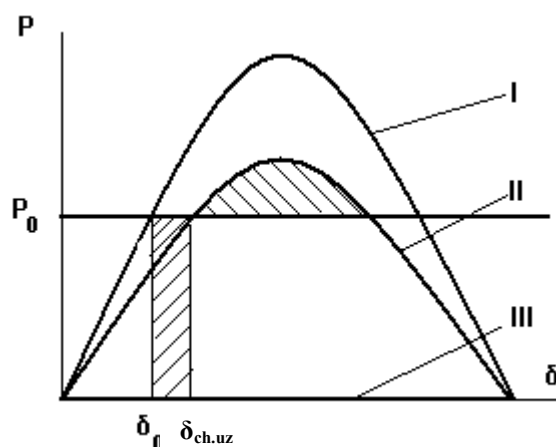
12-Ma'ruza. Uch fazali qisqa tutashuv holati uchun rotorning harakat tenglamasini echish

Faqat generator shinasida uch fazali qisqa tutashuv bo'lgan holat uchun qisqa tutashuv vaqtining chegaraviy qiymatini analitik usulda echish mumkin, chunki bunda sinxron generator rotorining nisbiy harakat tenglamasi chiziqli ko'rinishga keladi. Ushbu holatni ko'rib o'tamiz.



12.1 - rasm. Oddiy elektr sistemaning almashtirish sxemasi.

Faraz qilamiz, liniyaning boshlanishida uch fazali qisqa tutashuv sodir bo'ldi.



12.2-rasm. Uch fazali qisqa tutashuv holatida rotorning nisbiy harakat tenglamasini echishga doir burchak xarakteristikasi.

Mashina rotorining harakat tenglamasi:

$$T_j \frac{d\delta^2}{dt^2} = P_0 - P_{el.} \cdot \sin \delta. \quad (12.1)$$

Uch fazali qisqa tutashuvda quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi:

$$P_{III} = \frac{E_q \cdot U}{X_{\Sigma_{III}}} \cdot \sin \delta = 0$$

chunki $X_{sh} = 0$ va bu yerda: $X_{\Sigma_{III}} = \infty$

Bu holatda sinxron generator rotorining nisbiy harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$T_j \frac{d\delta^2}{dt^2} = P_0 \quad (12.2)$$

Paydo bo'lgan differensial tenglama chiziqli va uning yechimi quyidagi ifoda bilan aniqlaniladi:

$$\delta = \frac{P_0}{2T_j} \cdot t^2 + C_1 + C_2. \quad (12.3)$$

Bu yerda C_1 , C_2 lar boshlang'ich shartdan aniqlanilishi mumkin. Quyidagi munosabatni hisobga olamiz:

$$a = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\delta^2}{dt^2} = 18000 \cdot \frac{0,85 \cdot P_0}{T_j}.$$

Koeffitsient 0,85 generator shinasiga yaqin joyda sodir bo'lgan uch fazali qisqa tutashuvda turbinaning aylantiruvchi mexanik quvvatini qabul qilingan faraz asosida 15% ga kamaytirishni hisobga oladi.

Bu yerda: $d\omega = a dt$; $\int d\omega = \int a dt$; $\Delta\omega = at + C_1$ dan

$t = 0$, $\Delta\omega = 0$ bo'lgan holda $S_I = 0$ hosil bo'ladi.

$d\delta = \Delta\omega \cdot dt = a \cdot t \cdot dt$, $\int d\delta = \int a \cdot t \cdot dt$ munosabatlardan

$$\delta = a \frac{t^2}{2} + C_2 \quad (12.4)$$

hosil bo'ladi.

So'nggi ifodada $t=0$ boshlang'ich holat uchun

$\delta = \delta_0$, $C_2 = \delta_0$ bo'lib, undan quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\delta = \frac{at^2}{2} + \delta_0 \quad \text{yoki} \quad \delta - \delta_0 = \frac{at^2}{2} \quad \text{va}$$

$$t = \sqrt{\frac{2(\delta - \delta_0)}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_j(\delta - \delta_0)}{18000 \cdot 0,85 \cdot P_0}}. \quad (12.5)$$

Ma'lumki, qisqa tutashuvni uzishning chegaraviy vaqti $t_{ch.}$, qisqa tutashuvni uzish burchagining chegaraviy qiymati $\delta_{ch.uz.}$ ga mos keladi. Shu sababli uch fazali qisqa tutashuv uchun, qisqa tutashuvni uzish vaqtining chegaraviy qiymatini aniqlash formulasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$t_{ch.uz.} = \sqrt{\frac{T_j(\delta_{ch.uz.} - \delta_0)}{7650 \cdot P_0}}; \quad (12.6)$$

Sinov savollari

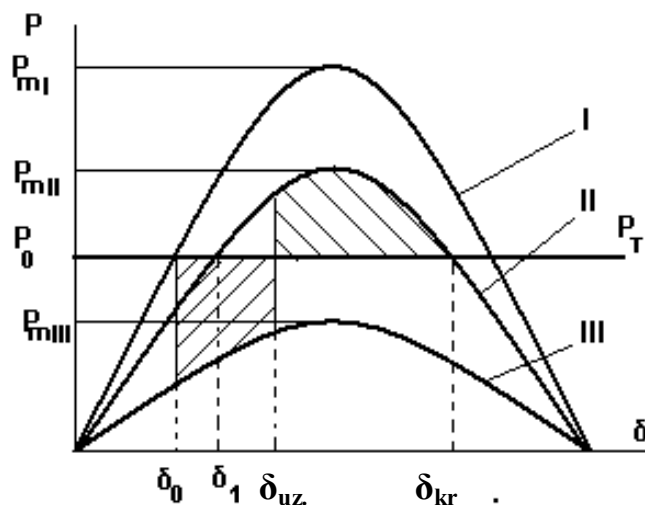
1. Dinamik turg'unlikni hisoblash uchun sinxron mashinaning rotorning nisbiy harakat tenglamasini yechish.
2. Rotorning nisbiy harakat tenglamasini echib uch fazali qisqa tutashuv sodir bo'lganda burchak xarakteristikani qurib bering.
3. Qisqa tutashuvni chegaraviy uzish vaqtini aniqlash.
4. Sinxron mashinani rotorning tezlanish formulasida 0,85 koeffitsiyentni paydo bo'lishini tushuntirib bering.

13-Ma'ruza. Qisqa tutashuvni uzish burchagining chegaraviy qiymatini aniqlash

Maydonlar qoidasi qisqa tutashuvni uzish burchagining chegaraviy qiymatini aniqlashga imkon beradi. Faraz qilamiz, qaralayotgan sxemada burchakning δ_0 qiymatida qisqa tutashuv sodir bo'ldi va ma'lum vaqtdan keyin u uzildi. Qisqa tuta-

shuvni uzish burchagining sistema turg'unligini saqlab qoladigan chegaraviy qiymati $\delta_{ch.uz}$ ni aniqlaymiz.

Hosil bo'lgan δ_0 dan $\delta_{ch.uz}$ gacha (S_{tez}) va $\delta_{ch.uz}$ dan δ_{kr} gacha (S_{tor}) chegaralangan tezlanish va tormozlanish maydonlarini tenglashtiramiz.



13.1- rasm. Qisqa tutashuvni uzish burchagining chegaraviy qiymatini aniqlashga doir burchak xarakteristikasi.

$$S_{tez}=S_{tor} \quad (13.1)$$

Quyidagini yozish mumkin:

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{ch.uz}} (P_0 - P_{mIII} \cdot \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_{ch.uz}}^{\delta_{kr}} (P_{mII} \cdot \sin \delta - P_0) d\delta. \quad (13.2)$$

(13.2) ni berilgan oraliqda integrallab, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$P_0(\delta_{uz} - \delta_0) - P_{mIII} \cdot (\cos \delta_{chuz} - \cos \delta_0) - P_{mII} (\cos \delta_{kr} - \cos \delta_{chuz}) + P_0(\delta_{kr} - \delta_{chuz}) = 0, \quad (13.3)$$

$$\cos \delta_{ch.uz} = \frac{P_0(\delta_{kr} - \delta_0) + P_{mII} \cdot \cos \delta_{kr} - P_{mIII} \cdot \cos \delta_0}{P_{mII} - P_{mIII}}. \quad (13.4)$$

Bu yerda δ_{kr} – burchakning kritik qiymati bo'lib, burchakning bundan katta qiymatlarida generator turg'un ishlay olmaydi:

$$\delta_{kr} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_0}{P_{mII}} \quad (13.5)$$

Kritik burchak δ_{kr} ning (13.5) formulasini (13.4) tenglamaga qo'yib, qisqa tutashuvni uzish burchagining sinxron generator va elektr sistemaning dinamik turg'unligi hali saqlanib qoluvchi chegaraviy qiymatini aniqlaymiz.

Amaliy maqsadlar uchun qisqa tutashuvni uzish burchagining chegaraviy qiymatini topish yetarli emas. Releli himoya qurilmalari yoki o'chirgichlar uchun qisqa tutashuvni uzish vaqti uzish burchagini chegaraviy qiymatiga mos holda berilgan bo'lishi shart. Maydonlar qoidasi yordamida qisqa tutashuvni uzish vaqtining chegaraviy qiymatini aniqlash mumkin emas. Buning uchun differentsial tenglamani echishning sonli usularidan foydalanish lozim. Faqat bitta holatda – uch fazali qisqa tutashuv uchun sinxron generatorning differensial tenglamasini analitik usulda yechib, burchakning vaqt buyicha o'zgarishi $\delta=f(t)$ ni aniqlash mumkin.

Sinov savollari

1. Qisqa tutashuvni chegaraviy uzish burchagini aniqlash.
2. Qisqa tutashuvni chegaraviy uzish burchagini aniqlash uchun burchak xarakteristikasini qurib bering.
3. δ_{kr} kritik burchak ma'nosini tushuntirib bering.
4. Nimaga maydonlar qoidasi yordamida qisqa tutashuvni uzish vaqtining chegaraviy qiymatini aniqlash mumkin emas?

14 - Ma'ruza. Iste'molchilarni statik va dinamik xarakteristikalarini va ularning rostdlash effekti. Asinxron dvigatelni turg'unlik mezoni

Elektr energiyasi iste'molchilari holat parametrlari – kuchlanish va chastotaning o'zgarishida o'zlarini turlicha tutadi. Ularning o'zgarishidagi yuklamaning holatini miqdoriy baxosini olish uchun iste'molchi xarakteristikasi degan tushuncha kiritilgan. Iste'molchining xarakteristikalarini deb ular iste'mol qiluvchi aktiv va reaktiv quvvatlarni, aylantiruvchi moment yoki tokni kuchlanish yoki chastotaga bog'liqligi tushuniladi:

$$P, Q, M = f(U) \text{ yoki } P, Q, M = \varphi(f) \quad (14.1)$$

Xarakteristikalar ikki turga - statik va dinamik xarakteristikalariga bo'linadi.

Statik xarakteristika deb quvvatni, momentni yoki tokni holatning har bir nuqtasi turg'un holatga tegishli deb hisoblasa bo'ladigan sekin o'zgarishlarida olingan kuchlanish yoki chastotaga bog'lanishga aytiladi.

Masalan: $P=f(U)$, $Q=f(U)$, $P=\varphi(f)$ $Q=\varphi(f)$ va x.k.

Dinamik xarakteristika deb xuddi shunday, faqat holatni tez o'zgarishlarda parametrlarni vaqt bo'yicha o'zgarish tezligini hisobga olgan holda olingan bog'lanishga aytiladi.

$$R = \varphi(U, f, \frac{dU}{dt}, \frac{df}{dt}, \frac{d^2U}{dt^2}, \dots) \text{ va x.k.} \quad (14.2)$$

Yuklama elementlarining ba'zi bir statik va dinamik xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

a) yoritish yuklamasi.

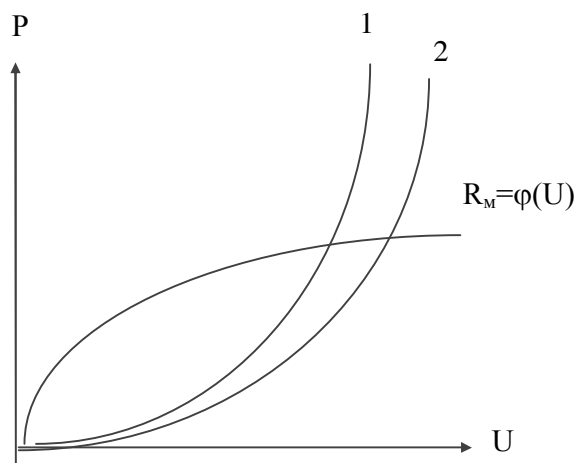
Tarkibida cho'g'lanma lampa mavjud bo'lgan yuklamaning iste'mol qiluvchi aktiv quvvati chastotaga bog'liq emas va u taxminan kuchlanishning kvadratiga proporsionaldir:

$$P = \frac{U^n}{R_H} = K \cdot U^n, . \quad (14.3)$$

Bu yerda $n = 1,6 \div 2$, $k = \frac{1}{R_H}$ - doimiy deb hisoblanuvchi, lekin amalda materialning haroratiga bog'liq bo'lgan qiymat.

Yoritish yuklamasi reaktiv quvvat iste'mol qilmaydi. Lyuminissent lampalar iste'mol qiladigan aktiv quvvat chastotaga bog'liqdir.

14.1.-rasmdagi grafikda cho'g'lanma lampalardan tashkil topgan yuklamaning $R=f(U)$ xarakteristikalarini keltirilgan.



14.1- rasm. Yoritish yuklamasining statik xarakteristikasi.

14.1- rasmda 1- yuklamaning qarshiligi o'zgarmas, ya'ni $R_n = \frac{U^2}{P} = o'zgarmas$ bo'lgan holatda iste'mol qilinuvchi aktiv quvvatning kuchlanishga bog'liqligi; 2 - sim materialining qizishi natijasida aktiv qarshilikning o'zgarishini $R = \varphi(U)$ hisobga olgan holatda, iste'mol qilinuvchi quvvatning kuchlanishga bog'liqligi.

Agar qizish natijasida qarshilikning ortishi hisobga olinsa, yuklama iste'mol qilayotgan quvvat kamayadi.

Yoritish uskunalarining dinamik xarakteristikalarini elektr mexanik o'tkinchi jarayonlarni tahlil qilishda ularning statik xarakteristikalariga mos keladi deb qabul qilinadi.

b) asinxron yuklama va uning turg'un ishlash me'zoni.

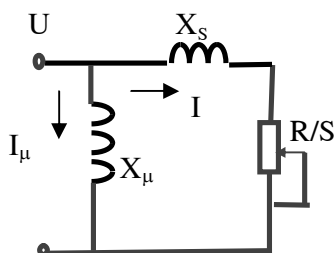
Asinxron motor yuklama sifatida aktiv va reaktiv quvvatlarni iste'mol qiladi. Shartli ravishda aktiv quvvat aylantiruvchi momentni hosil qilishga, reaktiv quvvat esa mashinaning magnit maydonini hosil qilishga sarf bo'ladi deb hisoblash mumkin. Aylanuvchan qism - rotorning mavjudligi motordagi elektr magnit va mexanik jarayonlarni birgalikda o'rganishni talab etadi. Shu sababli asinxron motorning sir-

panishi mashinaning kompleks parametri bo'lib, uni ham statik, ham dinamik holatlarda xarakterlaydi.

Asinxron yuklamaning statik va dinamik xarakteristikalarini turlicha. Bu farq motorning sirpanishi tez o'zgarganda erkin toklarning hosil bo'lishi bilan shartlanadi.

Ushbu bo'limda, avval, asinxron motorning statik xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

Asinxron motorning soddalashtirilgan G-simon almashtirish sxemasidan foydalanamiz (14.2- rasm). Bunda statordagi isroflarni tarmoqqa tegishli deb olamiz. Shuningdek, po'latning magnitlanishi bilan bog'liq aktiv quvvat isrofini ham e'tiborga olamiz.



14.2.-rasm. Asinxron motorning almashtirish sxemasi.

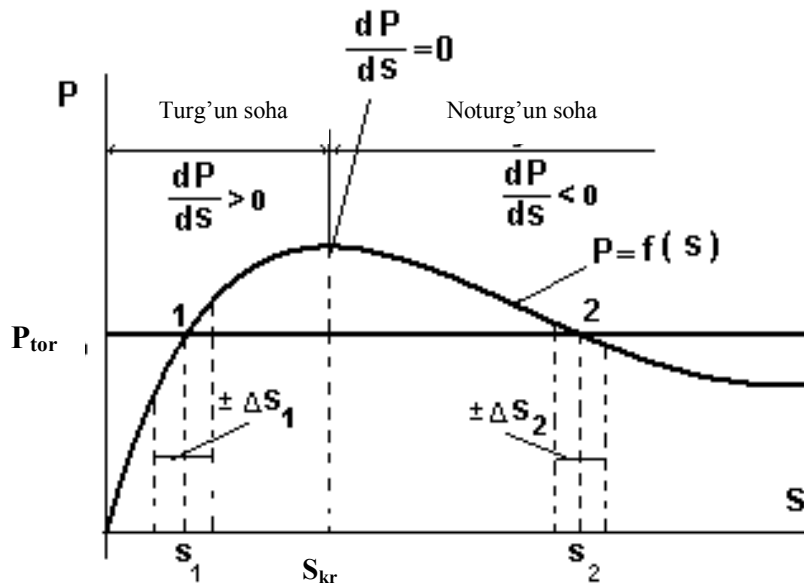
14.2- rasmda X_s – stator va rotorning sochilma qarshiligi; R/S - rotor chulg'aming keltirilgan aktiv qarshiligi; $S = \frac{\omega_o - \omega_p}{\omega_o}$ - sirpanish; ω_o, ω_R - rotorning

sinxron va ishchi burchak tezliklari; X_μ - magnitlanish tarmog'ining qarshiligi.

Odatda kichik va o'rta quvvatli asinxron motorlar uchun $S=0,03 \div 0,05$, katta quvvatli asinxron motorlar uchun $S=0,01$.

Motor iste'mol qiluvchi aktiv quvvatni almashtirish sxemasi bo'yicha aniqlash mumkin:

$$R = I^2 \cdot \frac{R}{S} = \frac{U^2}{\left(\sqrt{X_s^2 + \left(\frac{R}{S} \right)^2} \right)^2} \cdot \frac{R}{S} = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_s \cdot S)^2 + R^2} \quad (14.4)$$



14.3- rasm. Asinxron motorning elektr magnit aylantiruvchi momentining xarakteristikasi.

$P=f(S)$ xarakteristikasi 14.3-rasmda keltirilgan ko‘rinishda bo‘ladi. Odatda, bu xarakteristika ishchi mexanizmning tormozlash xarakteristikasi P_{tor} bilan to‘ldiriladi. Ma’lumki, asinxron motorning differensial tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$T_D \frac{dS}{dt} = P - P_T. \quad (14.5)$$

Bu yerda T_D - motorning ishchi mexanizm bilan birgalikdagi inersiya doimiysi, P , P_T - motorning aylantiruvchi va ishchi mexanizmning tormozlovchi momentlari. Asinxron motorning turg‘un ishlash shartlarini ko‘rib chiqamiz.

Turg‘un holatning asosiy sharti bo‘lib valdagi aylantiruvchi moment (motor) va tormozlovchi momentlarning (ishchi mexanizm) tengligi $P=P_T$ hisoblanadi.

U holda

$$\frac{dS}{dt} = \frac{P - P_T}{T_D} = 0. \quad (14.6)$$

$P=P_T$ bo‘lishi, $S=o'zgaras$, ya’ni sirpanish o‘zgaras bo‘lgan turg‘un ish holatini xarakterlaydi. Bu holat 1 va 2 nuqtalarda bo‘lishi mumkin.

Faraz qilaylik, 1-nuqtada sirpanish $\pm \Delta S_1$ (14.3-rasm). Sirpanishning musbat orttirmasi $+\Delta S$ da motorning aylantiruvchi momenti P ishchi mexanizmning tormozlovchi moment P_T dan katta, ya’ni $P > P_T$ va $\Delta P = P - P_T > 0$ bo‘lib, valdagi ortiqcha moment aylantiruvchi xarakterga ega bo‘ladi. Uning ta’sirida rotor tezlashadi, sirpanish kamayadi va holat 1-nuqtaga qaytadi. Agar ushbu nuqtada sirpanishning orttirmasi manfiy $-\Delta S_1$ bo‘lsa, u holda motorning aylantiruvchi momenti P ishchi mexanizmning tormozlovchi momenti P_T dan kichik, ya’ni $P < P_T$ va $\Delta P = P - P_T < 0$ bo‘lib, valdagi ortiqcha moment tormozlovchi xarakterga ega bo‘ladi. Uning ta’sirida rotor sekinlashadi, sirpanish o‘shib boradi va motorning holati 1-nuqtaga qaytadi.

Endi faraz qilaylik, dastlabki holat 2- nuqtada bo‘lib, sirpanish orttirma olsun. 14.3- rasmdan ko‘rinadiki, agar bu orttirma musbat bo‘lsa, motorning aylantiruvchi

momenti P ishchi mexanizmning tormozlovchi momenti P_T dan kichik, ya'ni $\Delta P = P - P_T < 0$ bo'lib qoladi va uning ta'sirida rotor tormozlanib, sirpanish ortib boradi. Bu esa, o'z navbatida, motorning aylantiruvchi momenti P ni yanada kamayishiga olib keladi va x.k. shu tariqa 2-nuqtadan uzluksiz uzoqlashish kuzatiladi. Agar orttirma manfiy bo'lsa, motorning aylantiruvchi momenti P tormozlovchi moment P_T dan katta, ya'ni $\Delta P = P - P_T > 0$ bo'lib qoladi va uning ta'sirida rotor tezlashib, sirpanish kamayib boradi. Bu esa, o'z navbatida, motorning elektr magnit quvvati P ni yanada ortishiga olib keladi va holat 1-nuqta tomon yo'nalishida ketadi. Boshqacha qilib aytganimizda, bu vaziyatda ham turg'un holat nuqtasidan uzoqlashish kuzatildi.

Shunday qilib, 1-nuqtadagi kichik orttirmada holat dastlabki nuqtaga qaytadi, 2-nuqtadagi xuddi shunday orttirma esa bu nuqtadan uzluksiz uzoqlashishga olib keladi. Demak, 1-nuqta motorning turg'un ishlash nuqtasi, 2-nuqta esa noturg'un ishlash nuqtasi bo'lib hisoblanadi.

Motor quvvatining (moment) maksimumini, quvvat xarakteristikasini sirpanish bo'yicha differensiallab, uni nolga tenglash orqali topish mumkin:

$$\frac{dP}{dS} = 0;$$

$$\frac{dP}{dS} = \frac{U^2 R (R^2 + X_s^2 \cdot S^2) - U^2 \cdot R \cdot S \cdot X_s^2 \cdot 2 \cdot S}{(R^2 + X_s^2 \cdot S^2)^2} = 0;$$

$$U^2 \cdot R [R^2 + X_s^2 \cdot S^2] - 2 \cdot S^2 \cdot X_s^2 = 0;$$

$$R^2 - S^2 \cdot X_s^2 = 0; \quad S = \frac{R}{X_s}. \quad (14.7)$$

$$S_{kr} = \frac{R}{X_s}$$

Sirpanishning quvvat maksimumiga mos keluvchi bu qiymati uning kritik qiymati deb ataladi va u S_{kr} ko'rinishida belgilanadi. Quvvat maksimumini (14.4) ga S_{kr} ni qo'yib topish mumkin:

$$P_m = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_s^2 \cdot S^2)^2 + R^2} = \frac{U^2 \cdot R \cdot \frac{R}{X_s}}{X_s^2 \cdot \frac{R^2}{X_s^2} + R^2} = \frac{U^2 \cdot R^2}{2R^2 \cdot X_s} = \frac{U^2}{2X_s}.$$

Shunday qilib, motor quvvatining maksimumi quyidagiga teng:

$$P_m = \frac{U^2}{2X_s} \quad (14.8)$$

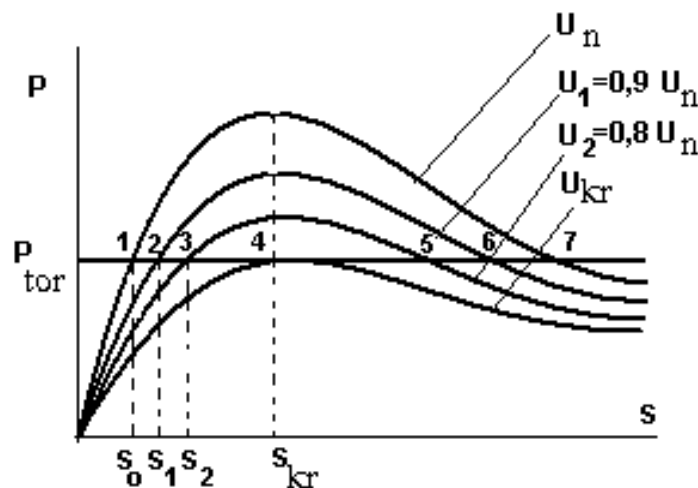
Sirpanishning noldan kritik qiymatgacha o'zgarish intervali $S = 0 \div S_{kr}$ turg'un ishlash intervali, $S > S_{kr}$ bo'lgan interval esa noturg'un ishlash intervali hisoblanadi. $P=f(S)$ xarakteristkaning maksimumi S_{kr} sirpanish bilan aniklanadi. Agar $\frac{dP}{ds} > 0$ shart bajarilsa, motor turg'un ishlaydi. Shunday qilib, asinxron motorning turg'un ishlash mezon

$$\frac{dP}{dS} > 0. \quad (14.9)$$

munosabat bilan belgilanadi.

Shuni qayd etish lozimki, kritik sirpanish kuchlanishga bog'liq bo'lmasdan, faqat mashinaning parametrlariga bog'liqdir.

Motorning $P=f(S)$ elektr magnit xarakteristikasiga asosan, kuchlanish pasayganda uning maksimumi kuchlanishning kvadratiga proporsional ravishda, bir xil kritik sirpanishda, kamayadi (14.4- rasm). Bunda motorning ishchi sirpanishi o'sib boradi va aylanish tezligi mos ravishda kamayadi.



14.4-rasm. Elektr mashina shinalarida kuchlanish o'zgarganda motorning aylantiruvchi momenti o'zgarishining xarakteristikasi.

Motor elektr magnit quvvatining maksimumi ishchi mexanizmning tormozlovchi quvvatiga teng bo'lish holatiga mos keluvchi kuchlanish U_k kritik kuchlanish deb ataladi. Ushbu nuqtaga $P=f(S)$ grafikda (14.4- rasm) 4-nuqta mos keladi va $S=f(U)$ bog'lanishda $U_4=U_{kr}$ (14.5.-rasm).

Kuchlanishni yanada pasayishi motorni to'xtab qolishiga olib keladi, chunki motor erishayotgan aylantiruvchi moment motorning tormozlovchi momentidan kichik bo'lib qoladi.

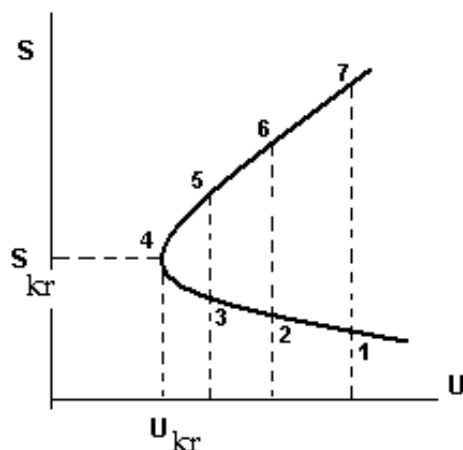
Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatni aniqlaymiz.

14.2- almashtirish sxemasidan ko'rinib turibdiki, reaktiv quvvat 2 ta tashkil etuvchidan iborat:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\mu} + Q_S. \quad (14.10)$$

Bu yerda: $Q_{\mu} = \frac{U^2}{X_{\mu}} = I_{\mu} \cdot U$ - magnetlovchi tokka bog'liq bo'lgan magnetlovchi

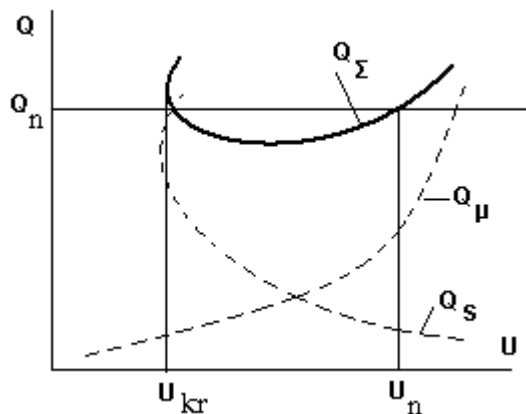
reaktiv quvvat bo'lib, $I_{\mu} = (0,2 \div 0,6)I_N$ - motorning quvvati va aylanish tezligiga bog'liq bo'lgan salt ishlash toki; I_N - motorning nominal toki; $Q_s = I^2 \cdot X_s$ - stator va rotorning sochilish maydonini hosil bo'lishi bilan bog'liq bo'lgan sochilish reaktiv quvvati.



14.5.-rasm. Asinxron motorning kritik sirpanishi va kuchlanishini aniqlashga doir xarakteristikasi.

Kuchlanishning ortib borishi bilan mashinaning to'yinishi o'shib boradi, bu motorning induktiv qarshiligi, jumladan, magnetlanish zanjiri qarshiligi X_{μ} ning kamayishiga olib keladi. Bunda reaktiv quvvat iste'moli ortib, $Q_{\mu} = f(U)$ bog'lanish kvadratik xarakteristikaga yaqinlashadi.

Yuqorida ko'rsatib utilganidek, valdagi o'zgarmas qarshilik momentida sirpanish tokning kvadratiga proporsional bo'ladi $S \approx I^2$. Xuddi shu singari, Q_s reaktiv quvvat tokning kvadratiga proporsional bo'lganligi sababli $Q_s = f(U)$ va $S = f(U)$ bog'liqliklar ham aynan shu ko'rinishda bo'lib, ular faqat masshtabi bilan farq qiladi deb hisoblashimiz mumkin. Bundan kelib chiqib, chastota o'zgarmas $f = o'zgarmas$ bo'lgan holat uchun (14.6.-rasm) $Q_{\Sigma} = f(U)$ bog'lanishni ko'rish mumkin.

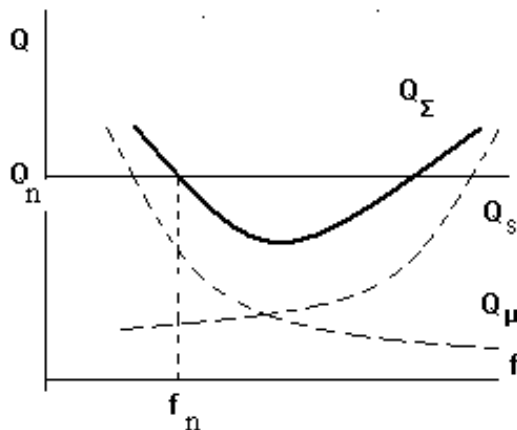


14.6.-rasm. Asinxron motorning kuchlanishga bog'liq holda iste'mol qiluvchi reaktiv quvvat xarakteristikasi.

Asinxron motorning kuchlanishi va ishchi mexanizmning momenti o'zgarmas bo'lgan holat uchun iste'mol qiluvchi reaktiv quvvatning chastota f ga bog'liq xarakteristikasini ko'rish mumkin. $S \equiv I^2$ bo'lganligidan iste'mol qilinuvchi reaktiv quvvat chastotaning kvadratiga to'g'ri proporsionalligi $Q_s \equiv f^2$, magnitlovchi quvvat esa chastotaning pasayishi bilan ortib borishi kelib chiqadi:

$$Q_\mu = \frac{U^2}{X_\mu} \equiv \frac{1}{f}.$$

Bu ifodalarning grafiklari 14.7-rasmda keltirilgan. Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvat chastotaning oshishi bilan oldin kamayadi va keyinchalik oshadi. Bunday holat asinxron motor uchun, elektr sistemasi uchun ham og'ir holat hisoblanadi, chunki isrofni oshishiga olib keladi va sistema tugunlarining kuchlanishini pasaytiradi.



14.7.-rasm. Asinxron motor iste'mol qiluvchi reaktiv quvvatning chastotaga bog'liq holda o'zgarish xarakteristikasi.

Yuklamaning chastota va kuchlanish bo'yicha rostdash effekti

Elektr sistemasida kuchlanish va chastota o'zgarganda yuklama iste'mol qilayotgan aktiv va reaktiv quvvat o'zgaradi.

Sistema tugunlarida kuchlanish bo'yicha holatning o'zgarishi aktiv va reaktiv quvvat oqimlarining o'zgarishi hamda elektr sistemasi elementlaridagi isroflar bilan bog'liq. Oqimlar turlicha bo'lganligi uchun elektr sistemasi tugunlarida kuchlanish darajalari ham bir-biridan farq qiladi.

Kuchlanishning o'zgarishi reaktiv quvvat balansi bilan bog'liq bo'lib, uning manbalari bo'lib sinxron generatorlar, turlicha tuzilishdagi reaktiv quvvat kompensatorlari, sinxron motorlar, yuklama tugunlarida va elektr uzatish liniyalari bo'ylab o'rnatiluvchi reaktiv quvvatning statik manbalari va x.k.lar hisoblanadi.

Chastotaning o'zgarishi elektr sistemasida aktiv quvvat balansining buzilishi bilan bog'liqdir. Bu balans sistemaga ulangan iste'molchilarning aktiv yuklamasi va elektr stansiyalarida ishlab chiqariluvchi umumiy aktiv quvvat mos bo'lmagan holatlarda buziladi. Bunda chastotaning o'zgarishi butun elektr sistemasida bir vaqtda va

bir xilda yuz beradi. Tezlik rostlagichlarining ta'siri natijasida aktiv quvvat ishlab chiqarish va iste'mol qilish o'rtasida yangi muvozanat (balans) yuzaga keladi.

Qayd etish kerak, chastotaning yangi qiymati dastlabkisidan farq qilsa, masalan kam bo'lsa, u kuchlanishning ham kamayishiga olib keladi, chunki sistemada reaktiv quvvat iste'moli o'sha boshlaydi.

Holat o'zgarganda, masalan, kuchlanish U yoki chastota f pasayganda ayrim iste'molchilarda iste'mol qilinayotgan quvvat ortadi, boshqalarida aksincha kamayadi.

Kuchlanish U yoki chastota f o'zgarganda yuklama iste'mol qilayotgan quvvatning o'zgarishi yuklamaning mos kuchlanish va chastota bo'yicha rostlovchi effekti deb ataladi va matematik ravishda quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f, \\ \Delta Q &= \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial Q}{\partial f} \Delta f,\end{aligned}\tag{14.11}$$

Bu yerda dP/dU , dP/df , dQ/dU , dQ/df – kuchlanish va chastota bo'yicha rostlovchi effektlar bo'lib, ular holat parametrlarini o'zgarishiga yuklamaning reaksiyasini xarakterlaydi (bu yerda hosilalar faqat bitta parametr uchun boshqalari o'zgarish bo'lgan holat uchun aniqlangan).

Bundan so'ng $\frac{\partial P}{\partial H} = \frac{dP}{dH}$ deb hisoblaymiz. Bu yerda H - holat parametri.

Hosilaning qiymati qanchalik katta bo'lsa, kuchlanish yoki chastota o'zgarganda yuklama iste'mol qilayotgan quvvat shuncha keskin o'zgaradi.

Agar U yoki f pasayganda P va Q ning iste'moli kamaysa, bunda rostlovchi effekt musbat, aks holda manfiy deb yuritiladi.

Sinov savollari

1. Iste'molchining statik xarakteristikasini tushuntirib bering.
2. Iste'molchining dinamik xarakteristikasini tushuntirib bering.
3. Yoritish yuklama uchun statik xarakteristikasini qurib bering.
4. Asinxron dvigatelning elektr magnit aylantiruvchi momenti xarakteristikasini qurib bering.
5. Dvigatel iste'mol qiladigan aktiv quvvat formulasini yozib bering.
6. Mashina shinalarida kuchlanish o'zgarganda motorning aylantiruvchi momenti o'zgarishi xarakteristikasini qurib bering.
7. Yuklama rostlash effektini tushuntirib bering.
8. Asinxron motorning kritik sirpanishi va kuchlanishini aniqlash uchun xarakteristikani qurib bering.

15- Ma'ruza. Kompleks yuklamali tugunning turg'unlik zahirasini hisoblash

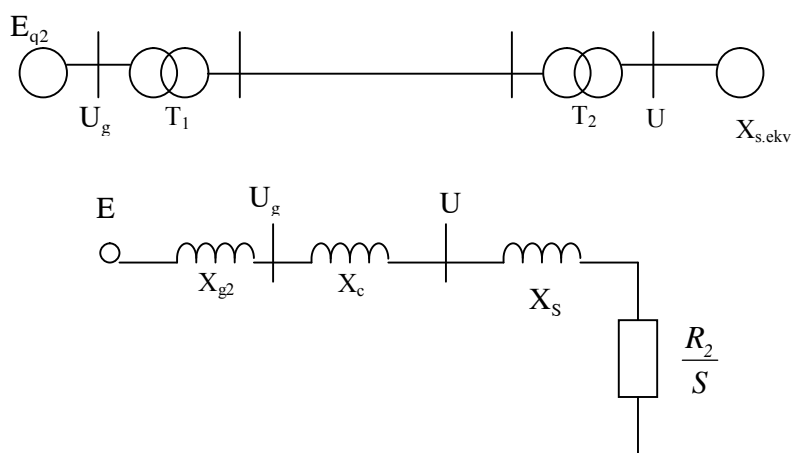
Yuqorida biz yakka yuklamada quvvat iste'molining kuchlanish U ga bog'liqligini ko'rib chiqdik. Biroq, odatda, ayrim elektr tugunlaridan yakka iste'molchilar emas, balki bir qator iste'molchilar ta'minlanib, ularning tarkibiga aylanuvchi mashinalar ham kiradi. Aylanuvchi mashinalarning, ayniqsa asinxron motorlarning mavjudligi o'tkinchi jarayonlarning borishiga o'zgarishlar kiritadi va kompleks yuklamaning noturg'un bo'lishiga olib kelishi mumkin.

Odatda, asinxron motorlar katta turg'unlik zahirasiga ega bo'ladi. Ularda maksimal aylantiruvchi momentning ishchi momentga nisbati $\frac{P_{\tau}}{P_0} = 1,5 \div 1,7$ ga teng

bo'lganligi sababli kuchlanishning kichik miqdorga kamayishi ularning turg'un ishlashlarga ta'sir ko'rsatmaydi. Bu xulosalarning barchasi motor holatiga bog'liq bo'lmagan kuchlanish manbaidan ta'minlanadigan yakka motor uchun o'rinlidir.

Agar motor yoki motorlar guruxi taqqoslanuvchi quvvatli generatoridan ta'minlansa va bunga mos holda yuklama shinalaridagi kuchlanish holatga bog'liq bo'lsa, turg'unlik sifati o'zgaradi.

Uzatma oxirida kompleks yuklamali tugun bo'lgan sxemani ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, yuklama ekvivalent motor bilan ifodalangan (15.1- rasm).



15.1-rasm. Kompleks yuklamali tugunni hisoblashga doir elektr sxemasi.
(Yuklama ekvivalent motor bilan ifodalangan)

Ko'rinib turibdiki, ekvivalent motor xarakteristikasi $P=f(S)$ ning maksimum quvvati, kuchlanish o'zgarmas deb hisoblanadigan nuqtadagi kuchlanishning o'zgarmasligidan kelib chiqib aniqlanishi lozim. Ko'rib chiqilayotgan holat uchun bunday nuqta bo'lib, generatorning salt ishlash e.yu.k. qo'yiluvchi nuqta hisoblanishi mumkin. Quvvatlar maksimumini quyidagi munosabatdan aniqlaymiz.

$$P_{el.} = \frac{E_q^2}{2X_{\Sigma e}} \quad (15.1)$$

Bu yerda: $X_{\Sigma e}=X_d+X_c+X_s$ - ekvivalent qarshilik; $X_c=X_{T1}+X_L+X_{T2}$ - sistemaning qarshiligi. Hisoblashlarni barcha yuklamalar bitta ekvivalent motor, uzatuvchi tomon generatorlari esa bitta ekvivalent generator bilan almashtirilgan holat uchun keltiramiz (15.2-rasm):

motor shinalaridagi kuchlanish $U=o'zgarmas$,

$$S_{kr1} = \frac{R_2}{X_{s_2}}, \quad P_{m1} = \frac{U^2}{2X_{s_2}}; \quad (15.2)$$

generator shinalaridagi kuchlanish $U_G=o'zgarmas$,

$$S_{kr2} = \frac{R_2}{(X_c + X_{se})}, \quad P_{m2} = \frac{U_G^2}{2(X_c + X_{se})} \quad (15.3)$$

o'tkinchi e.yu.k. $E'=o'zgarmas$,

$$S_{kr3} = \frac{R_2}{(X_d' + X_c + X_{se})}, \quad P_{m3} = \frac{(E')^2}{2(X_d' + X_c + X_{se})} \quad (15.4)$$

salt ishlash e.yu.k. $E_q=o'zgarmas$,

$$S_{kr4} = \frac{R_2}{X_d + X_c + X_{se}}, \quad P_{m4} = \frac{(E_q)^2}{2(X_d + X_c + X_{se})}. \quad (15.5)$$

Ko'rinib turibdiki, ishchi sirpanishni bir vaqtdagi ortishida quyidagi shartlar bajariladi:

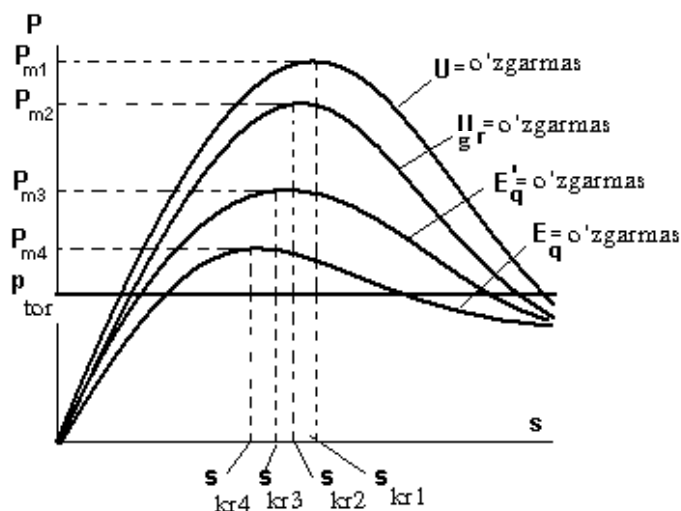
$$\begin{aligned} P_{m1} &> P_{m2} > P_{m3} > P_{m4} \\ S_{kr1} &> S_{kr2} > S_{kr3} > S_{kr4} \end{aligned} \quad (15.6)$$

Turg'unlikning eng katta zahirasi motor shinalaridagi kuchlanish o'zgarmas bo'lganda ta'minlanadi, motor to'ntarilishining eng katta xavfi esa, turg'unlik sharti $\frac{dP}{dS} > 0$ bajarilishiga qaramay, $\frac{P_m}{P_0}$ eng kichik qiymatga ega bo'lganligi sababli

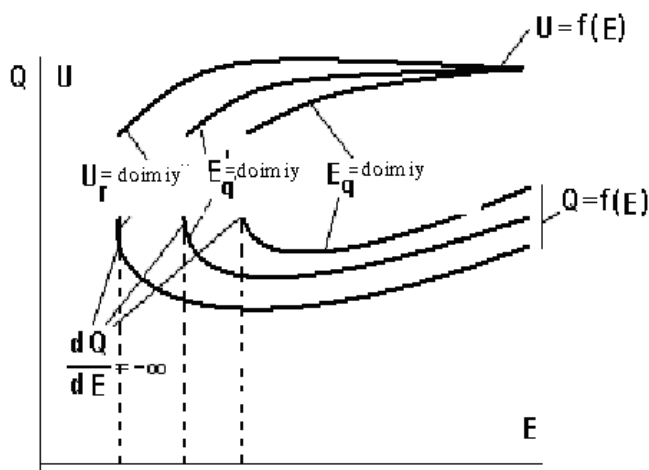
$E_q=o'zgarmas$ bo'lganda paydo bo'ladi.

Xarakteristikalaridan ko'rinib turibdiki, motorning to'ntarilishi yuklamaning kuchlanishi kichik qiymatga o'zgarganda ham yuz berishi mumkin. Shu sababli generator va motorlarning taqqoslanuvchi quvvatlarida hisoblashlarni motor shinasining kuchlanishidan kelib chiqib emas, balki berilgan shartlarda generatorlar e.yu.k.larining o'zgarmasligidan kelib chiqib bajarish zarur. Bu e.yu.k. sinxron generatorlarning qo'zg'atishini turlicha rostlanishlarida turlichadir:

- $E_q=o'zgarmas$, $X_G=X_d$ - QAR mavjud emas;
- $E_q \approx E'=o'zgarmas$, $X_G=X_d'$ - proporsional tipdagi QAR-p mavjud;
- $U_g=o'zgarmas$, $X_G=0$ - kuchli ta'sir etuvchi QAR-k mavjud.



15.2.-rasm. Ekvivalent asinxron motorning doimiy kuchlanish qiymatlariga bog'liq elektr magnit xarakteristikasi.



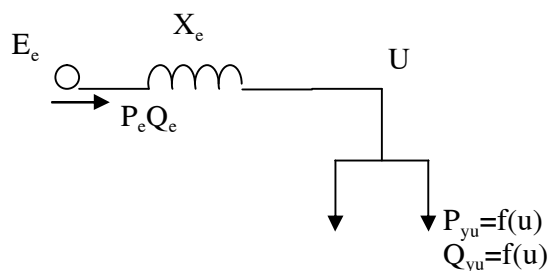
15.3.rasm. Kompleks yuklamali tugunning turli nuqtalaridagi kuchlanishlar o'zgarmas bo'lgan hollar uchun xarakteristikalari.

Ko'rilgan xarakteristikalaridan ko'rinib turibdiki (15.3-rasm), $\frac{dQ}{dE}$ manfiy bo'lgan sohada e.yu.k. ning kamayishi bilan reaktiv quvvat iste'moli o'shib boradi. Bu hodisa, agar tegishli choralar ko'rilmasa, kuchlanish ko'chkisiga olib kelishi mumkin.

Kompleks yuklamali tugunlar uchun ekvivalent motorlarning parametrlarini aniqlash qiyin masala hisoblanadi. Shuning uchun ham yakka ishlovchi motorning turg'unlik mezoni $\frac{dP}{ds} > 0$ dan foydalanish har doim ham o'zini oqlamaydi. Turg'unlik shartlarini aniqlash uchun ushbu holatda kompleks yuklama tugunini ko'rib chiqamiz.

Yuklamalar o'zlarining statik xarakteristikalari $P_N=f(U)$, $Q_N=f(U)$, generatorlar ekvivalent e.yu.k. E_e va ichki ekvivalent reaktiv quvvati Q_e bilan berilgan bo'lsin.

Bu shartlarda biz ekvivalent e.yu.k.ni tugun kuchlanishiga bog‘liqlik xarakteristikasi $E_e=f(U)$ ni qo‘rishimiz mumkin.



15.4- rasm Kompleks yuklamali tugunning almashtirish sxemasi.

Buning uchun kompleks yuklama shinasida kuchlanishning turli qiymatlari U_i ni beramiz va uning har bir qiymati uchun har bir yuklama va butun kompleks yuklamali tugun iste‘mol qilayotgan aktiv P_i va reaktiv Q_i quvvatlarni ularning statik xarakteristikalarini bo‘yicha aniqlaymiz. So‘ngra o‘rnatilgan U_i uchun ekvivalent e.yu.k. E_e qiymatini aniqlaymiz. Bunda ikkita variant bo‘lishi mumkin.

- agar yuklamaning aktiv va reaktiv quvvatlari berilgan bo‘lsa, unda

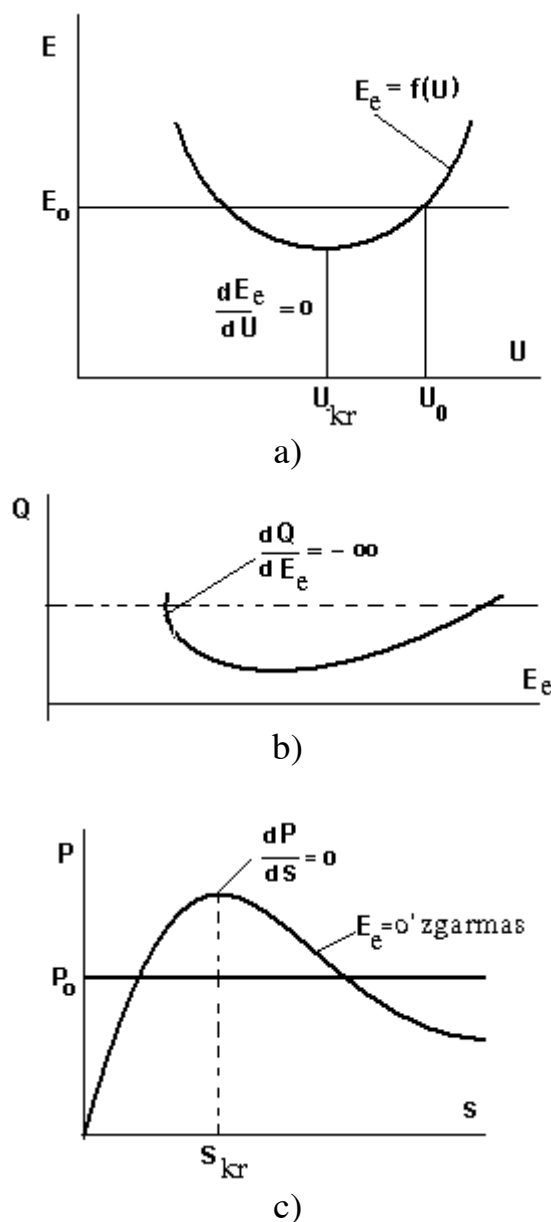
$$E_e = \sqrt{\left(\frac{P_n \cdot X_e}{U}\right)^2 + \left(U + \frac{Q_n \cdot X_e}{U}\right)^2}. \quad (15.7)$$

- agar P_e , Q_e va E_e , berilgan bo‘lsa. unda yuklama shinalaridagi kuchlanishni aniqlashimiz mumkin:

$$U = \sqrt{\left(E_e - \frac{Q_e \cdot X_e}{E_e}\right)^2 + \left(\frac{P_e \cdot X_e}{E_e}\right)^2}. \quad (15.8)$$

Endi talab qilingan $E_e=f(U)$ xarakteristikani qurishimiz mumkin. Bu xarakteristikaning minimum nuqtasida $\frac{dE_e}{dU} = 0$ bo‘lib, ushbu nuqtadagi kuchlanish kritik kuchlanish U_{kr} ga mos keladi (15.5,a-rasm). Shu yerning o‘zida yuklama turg‘unligining ekvivalent shartlari berilgan:

$$\frac{dQ}{dE_e} = -\infty \quad \text{va} \quad \frac{dP}{ds} > 0.$$

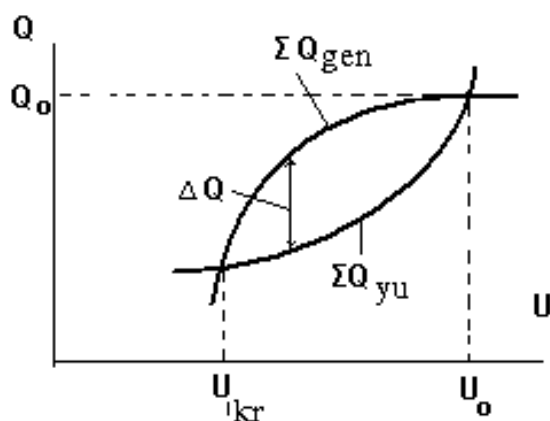


15.5.-rasm. Yuklama turg'unligining bir xil kuchga ega bo'lgan mezonlari:

- a) $E_e = f(U)$ ekvivalent e.yu.k.ning yuklama kuchlanishiga bog'liqligi;
- b) $Q = f(E_e)$ reaktiv quvvatning ekvivalent e.yu.k.ga bog'liqligi;
- c) yakka asinxron motorning xarakteristikasi.

Elektr sistemasidagi reaktiv quvvat balansi manbalar (SG, SK, kondensatorlar va x.k.) ishlab chiqarayotgan va yuklama iste'mol qilayotgan quvvatlarning tengligi bilan belgilanadi: $\Delta Q = Q_{\Sigma G} - Q_{\Sigma N} = 0$. Bu yerda $Q_{\Sigma N}$ elektr tarmog'i elementlaridagi reaktiv quvvat isroflarini ham o'z ichiga oladi.

Ushbu balansning buzilishi elektr tarmog'i tugunlaridagi kuchlanishning o'zgarishiga olib kelib, ishchi mexanizmlar elektr motorlarining ish unumdorligiga ta'sir qiladi.



15.6.-rasm. Reaktiv quvvat balansi va kompleks yuklama turg'unligiga doir xarakteristikalar.

15.6- rasmdagi grafikdan ko'rinib turibdiki, kuchlanish U_o dan U_{kr} gacha diapazonda o'zgarganda manbalar ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvat yuklama iste'mol qilayotganidan ko'p va shu sababli kuchlanishning pasayishi ΔQ farqni ortishiga olib keladi. Ushbu shart kompleks yuklamali tugunning kuchlanish bo'yicha turg'unlik sharti sifatida olinishi mumkin. Turg'unlik me'zoni bo'lib $\frac{d(\Delta Q)}{dU} < 0$ shart hisoblanadi.

Zahira koeffitsiyenti, ushbu xarakteristika uchun ham, kompleks yuklamali tugun xarakteristikasi $E_e = f(U)$ uchun ham quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{st} = \frac{U_o - U_{kr}}{U_o} \quad (15.9)$$

Uning qiymati normal holat uchun $15 \div 20\%$ va avariya dan keyingi holat uchun $5 \div 10\%$.

Odatda, yuklamaning quvvat koeffitsiyentini oshirish uchun uning shinalariga statik kondensatorlar ulanadi. Bu bilan sistemadan olinayotgan reaktiv quvvat oqimi kamayadi. Biroq, bu tadbir generatorlar ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvatni va mos ravishda uning e.yu.k.ni kamayishiga olib keladi. Bu esa sistemaning turg'unlik zahira koeffitsiyentiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Kritik kuchlanish U_{kr} ning qiymati keskin ortadi va kuchlanish ko'chkisi yuz berishiga sharoit hosil bo'ladi.

Bu holatni sinxron generator, sinxron kompensator, va motorlarda, agar ular yuklama tugunlarida yoki butun sistemada o'rnatilgan bo'lsa, mos QARlarni qo'llab to'g'rilash mumkin.

Shunday qilib, yuklama turg'unligining uchta shartini hosil qildik:

$$\frac{dP}{dS} > 0, \quad \frac{dQ}{dE_e} \rightarrow -\infty, \quad \frac{dE}{dU} > 0. \quad (15.10)$$

Ular, ba'zan, amaliy mezonlar deb yuritilib, o'zaro teng kuchlidir. Ushbu shartlarning barchasi asinxron motorning yoki kompleks yuklama shinalaridagi kuchla-

nishning darajasiga bog'liqdir. Ushbu barcha mezonlar asinxron motorning to'ntarilishi (to'xtashi) va kuchlanish ko'chkisining sodir bo'lishi bilan bog'liq.

Kompleks yuklamaning kuchlanish bo'yicha rostdlash effekti reaktiv quvvat uchun $1,5 \div 3,5$ va aktiv quvvat uchun $0,3 \div 0,75$ ni tashkil etadi. Kompleks yuklamaning chastota bo'yicha rostdlash effekti aktiv quvvat uchun $1,5 \div 3$ va reaktiv quvvat uchun 1 dan 5÷6 gacha tashkil etadi.

O'tkazilgan tahlildan kelib chiqadiki, kompleks yuklama tugunlaridagi jarayonlar, asosan asinxron motor yoki motor guruhlarida kechayotgan jarayonlarga bog'liqdir. Asinxron motor ishlash turg'unligining buzilishi butun yuklama tugunida turg'unlikning kuchlanish ko'chkisi ko'rinishida buzilishiga olib kelishi mumkin. Yuklama tugunlarining ishlashidagi og'ir sharoitlar ular sistemadagi chayqalishlarning elektr markazida yoki unga yaqin joylashgan hollarda paydo bo'ladi. Yuklama tugunlaridagi turg'unlikning buzilishiga yo'l qo'ymaslik uchun ularning normal ish sharoitlarida aktiv va ayniqsa reaktiv quvvat bo'yicha rezervlar ta'minlangan bo'lishi shart. Sinxron generatorlar va motorlarda zamonaviy QARlarni o'rnatish, shuningdek, sinxron kompensatorlar va rostlovchi statik reaktiv quvvat manbalarini ulash ushbu talabga javob beradi.

Sinov savollari

1. Kompleks yuklamali tugunning turg'unlikni o'rganilganda paydo bo'ladigan xususiyatlar.
2. Ekvivalent asinxron motorning doimiy kuchlanish qiymatlariga bog'liq elektr magnit xarakteristikasini qurib bering.
3. Kompleks yuklamali tugunning turli nuqtalaridagi kuchlanishlar o'zgarmas bo'lgan hollar uchun xarakteristikalarini qurib bering.
4. Reaktiv quvvat balansi va kompleks yuklama turg'unligiga doir xarakteristikani qurib bering.
5. Kompleks yuklamali tugunni statik turg'unlik zahira koeffitsiyentini aniqlash uchun formulasi.
6. Yuklamaning quvvat koeffitsiyentini oshirish uchun uning shinalariga statik kondensatorlar ulanishi nima bilan chegaralangan ?

Adabiyotlar

1. Allaev K.R. Elektromexanik o'tkinchi jarayonlar. -T.: TDTU, 2007. – 276 b.
2. Avtomatizatsiya dispetcherskogo upravleniya v elektroenergetike. Pod red. Rudenko. Yu.N. -M.: MEI, 2000. – 646 s.
3. Venikov V.A. Elektromexanicheskiye perexodniye prosessi. -M.: 1985.–536 s.
4. Jdanov P.S. Voprosi ustoychivosti elektricheskix sistem. -M.: Energiya, 1979. – 456 s.

M U N D A R I J A

KIRISH	3
1- ma’ruza: Asosiy tushunchalar va o’tchinchilarning jarayonlari.....	4
2- ma’ruza: Elektr tizim va holat parametrlarini o’rganish, ularning orasidagi aloqa.....	7
3- ma’ruza: Sinxron generatorlarning qo’zg’atish sistemalari.....	10
4- ma’ruza: Sinxron generatorlarning qo’zg’atishni avtomatik rostlash sistemalari.....	16
5- ma’ruza: Ayon va noayon qutbli generatorlarning vektor diagrammalari va quvvat xarakteristikalarini.....	23
6- ma’ruza: Oddiy elektr tizimining statik turg’unlik zaxirasi, va uni oshirish choralari.....	33
7- ma’ruza: Maksimal uzatilayotgan quvvatga kuchlanish pasayishi ta’siri.....	42
8- ma’ruza: Elektr tizimni statik turg’unligini xarakterlovchi tenglama orkali aniqlash.....	44
9- ma’ruza: Dinamik turg’unlikni hisoblashda qabul qilinadigan asosiy farazlar. Qisqa tutashuv va noto’liq fazali holatlarida almashtirish sxemasi.....	52
10- ma’ruza: Elektr tizim dinamik turg’unligiga qisqa tutashuv vaqti, qisqa tutashuv turi va uzatilayotgan aktiv quvvat ta’siri.....	57
11- ma’ruza: Elektr tizim dinamik turg’unligiga QAR va AQUning ta’siri.....	61
12- ma’ruza: Uch fazali qisqa tutashuv holati uchun rotorning harakat tenglamasini echish.....	67
13- ma’ruza: Qisqa tutashuvni uzish burchagining chegaraviy qiymatini aniqlash.....	69
14- ma’ruza: Iste’molchilarni statik va dinamik xarakteristikalarini va ularning rostlash effekti. Asinxron dvigatelni turg’unlik mezoni.....	71
15- ma’ruza: Kompleks yuklamali tugunning turg’unlik zaxirasini hisoblash.....	80
Adabiyotlar	86

Muharir Sidiqova K.A.

Musahhih Bahromova T.N.