



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR
VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETINING
QO‘QON FILIALI**

“ELEKTR TEXNOLOGIYALARI”

kafedrası

ELEKTR MASHINALARI

O‘QUV-USLUBIY MAJMUA

QO‘QON-2024



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR
VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETINING
QO'QON FILIALI**

RO'YXATGA OLINDI:

№ UMK-132
" 12 " 12 2024 yil

"TASDIQLAYMAN"

Toshkent davlat texnika
universitetining Qo'qon filiali
O'IB direktor o'rinbosari



N.M. Babayeva
2024 yil

ELEKTR MASHINALARI

fanidan

O'QUV-USLUBIY MAJMUA

Bilim sohasi:

Ta'lim sohasi:

Ta'lim yo'nalishlari:

700 000- Muhandislik, ishlov berish va qurilish sohalari

710 000- Muhandislik ish

60710700 –Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr
texnologiyalari (elektr mashinasozlik)

Fanning o'quv-uslubiy majmuasi O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligida № _____ raqam bilan 20__ yil «__» _____ da ro'yxatga olingan namunaviy o'quv dasturi asosida tuzilgan.

Tuzuvchi:  **Usmonov I** - TDTU Qo'qon filiali dotsenti

Taqrizchi:  **Butayev T** - TDTU Qo'qon filiali dotsenti

Ushbu uslubiy ko'rsatma "Elektr texnologiyalari" kafedrasining 2024 yil "08" 26 dagi 1 -sonli yig'ilishida ko'rib chiqilgan va fakultet kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan.

Kafedra mudiri:  **G.Urozaliyev**

Uslubiy ko'rsatma "Energetika" fakulteti kengashida muhokama qilingan va filial o'quv-uslubiy kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan. (2024 yil "08" 28 dagi 1 -sonli bayonnoma).

Fakultet dekani:  **I.Usmonov**

Uslubiy ko'rsatma filialning o'quv- uslubiy kengashida ko'rib chiqildi va foydalanishga tavsiya etildi. (2024 yil "08" 30 dagi 1 - sonli majlis bayonnomasi).

O'quv uslubiy bo'lim boshlig'i:  **M.Mansurov**

MUNDARIJA

№	O'quv uslubiy majmua bo'limlari
1	Ma'ruzalar matni
2	Amaliy mashg'ulot uchun uslubiy ko'rsatma
3	Laboratoriya mashg'ulot uchun uslubiy ko'rsatma
4	Adabiyotlar
5	Mustaqil ta'lim uchun uslubiy ko'rsatma
6	Glossariy
7	Ilovalar:
8	Fan dasturi
9	Ishchi dastur
11	Test
13	O'UM elektron varianti (Disketada)

KIRISH

Darsning maqsadi. Darsning maqsadi, talabalar foydalanadigan materiallar, muhim bo'lgan muhandislik hususiyatlari va turi haqida asosiy bilim berishdir. Bu, shuningdek, materiallar tuzilishi va hususiyatlari o'rtasidagi munosabatlar muhimligini ta'kidlab, taxlil qilishda nazariy bilim bilan ta'minlash uchun mo'ljallangan.

Davomat. Har bir talaba baholanishi uchun ma'ruza va amaliy mashg'ulotlarga to'liq qatnashgan bo'lishi kerak. Talaba fanga doir topshiriqlarni auditoriyada bajarib – topshirishiga mas'uldir. Har bir qoldirilgan amaliy mashg'ulot nol ball sifatida baholanadi. Agar talaba qoldirilgan darsini mustaqil o'zlashtirmagan bo'lsa, imtihonga qatnashishi mumkin emas, bu to'g'risida biriktirilgan professor-o'qituvchi oldindan ogohlantirilgan bo'lishi kerak. Barcha rejalashtirib yoki rejalashtirilmasdan (kasallik yoki oilaviy sharoit tufayli) qoldirilgan mashg'ulotlar uchun javobgarlik talabani o'z zimmasida yuklanadi.

Tayyorgarlik ko'rish. Albatta har bir talaba yetarli bilim olishi uchun, rejalashtirilgan mavzuni muhokama qilish maqsadida auditoriyaga tayyorlanib keladi, deb tahmin qilamiz. Bu oldindan mustaqil ravishda fanga oid darslik va amaliy materiallarni o'qib, auditoriyada muhokama qilishi kerak bo'lgan mavzu bo'yicha savollar bilan murojlat qilishni o'z ichiga oladi. Auditoriyada har bir talabani asosiy mavzu bo'yicha o'zini ko'rsata bilishini ijobiy baholanadi.

O'quv- uslubiy majmuaning maqsadi. «Elektr mashinalari» fani bo'yicha tuzilgan ushbu o'quv-uslubiy majmua DTS talablari asosida tuzilgan. Respublikamizda malakali mutahassislarni tayyorlashga zaruriyat katta. Shuning uchun, ushbu fanni o'qitishdan maqsad - yo'nalishning mahsus fanlarning o'rganish va chuqur egallash uchun zarur bo'lgan umumkasbiy bilimlarni va ta'lim standartida talab qilingan ko'nikmalarni ta'minlashdir.

O'quv-uslubiy majmuaning vazifalari. O'quv fanini o'rganishning asosiy vazifalari: energetikaning rivojlanish tarixi, energetikaning asosiy qonunlari va tushunchalari, energetika resurslarini, energiyani uzatish usullari, issiqlik energetika qurilmalari kabi ma'lumotlarni talabalarga yetkazishdir. O'quv-uslubiy majmuaning tuzilishi va hajmi. “Elektr mashinalari” fani bo'yicha tayyorlangan o'quv-uslubiy majmua ____ betdan iborat bo'lib, sillabus, kirish qismi, ma'ruza matni, ma'ruzalar matni bo'yicha taqdimot va tarqatma materiallar, amaliy mashg'ulotlar materiallari, glossariydan iborat.

1-mavzu. «Elektr mashinalari» faniga kirish. Transformatorlarda bo'ladigan fizik jarayonlar. Transformatorlarning tuzilishi

K.1 Elektromexanik energiya o'zgartirish

Har bir davlat iqtisodiyatini elektr energiya bilan ta'minlash uning faoliyatidagi eng muhim soha hisoblanadi. Tog'-metallurgiya sanoati, mashinasozlik, qurilish, transport va boshqa soha korxonalarini rivojlantirishda elektr energetikasi asosiy poydevor, xalqning turmush farovonligini oshirishda, umuman, davlat hayotining barcha yo'nalishlarida etakchi omil hisoblanadi. Elektr mashinalari elektr stansiyalarda elektr energiyani ishlab

chiqarishda ham, sanoat korxonalarini ishga tushirishda va aholi hayotining barcha sohalari-dagi elektr energiyani iste'mol qilishda ham asosiy vosita hisoblanadi.

Elektr mashinasi – mexanik energiyani elektr energiyaga va, teskarisi, elektr energiyani mexanik energiyaga aylatiruvchi elektromexanik energiya o'zgartkichidir.

Elektr energiyasi elektr stansiyalarda elektr mashinalari – generator yordamida ishlab chiqariladi. Bizning davlatimizda elektr energiyaning asosiy qismi (95% gacha) issiqlik elektr stansiyalarida (IES) organik yoqilg'ini (gaz, ko'mir, mazut) yoqish yo'li bilan ishlab chiqariladi. Unda suv qaynatilib, yuqori bosimdagi bug'ga aylantiriladi. Bug' bosim turbinaga uzatiladi va rotorni aylantiradi (issiqlik energiyasi turbinada mexanik energiyaga aylantiriladi). Turbinaning rotoridan aylanma xarakat generator (turbogenerator) valiga uzatiladi. Generatordagi sodir bo'layotgan elektromexanik jarayonlar natijasida mexanik energiya elektr energiyaga aylanadi.

Gidravlik elektr stansiyalarda (GES) elektr energiya ishlab chiqarish jarayoni quyidagicha bo'ladi: to'g'on yordamida ma'lum sathgacha ko'tarilgan suv gidravlik turbinaning ishchi g'ildiragi (parragi)ga quyiladi; bunda turbina parragini aylantirishda hosil bo'lgan mexanik energiya elektr generatorining valiga uzatiladi va unda mexanik energiya elektr energiyasiga aylantiriladi.

Elektr energiyani iste'mol qilish natijasida u boshqa turdagi (issiqlik, mexanik, ximik) energiyaga aylantiriladi. Elektr energiyasining absolyut katta qismi (dastgohlar, tegirmonlar, nasos stansiyalari, transport vositalari) sanoat uskunalarini harakatga keltirishda, ya'ni mexanik energiyaga aylantirishda ishlatiladi. Bunday elektromexanik energiya o'zgartirilishi elektr mashinalari – elektr motorlari yordamida amalga oshiriladi.

Elektr motori – korxonalar ishchi mexanizmlari elektr yuritmalarining asosiy elementidir. Elektr energiya parametrlarini ishonchli boshqarish, uni muammosiz taqsimlash usullari mavjudligi, sanoatda biror ishchi jihozning alohida zvenolari mustaqil motorlar yordamida harakatga keltirish imkonini beruvchi ko'p motorli elektr yuritmalarining keng qo'llanishiga olib keldi.

Elektr stansiyalarda ishlab chiqarilayotgan elekt energiyasini iste'molchiga uzatish, birinchi galda elektr stansiyalardan birnecha yuzlab kilometr uzoqlikda joylashgan yirik sanoat markazlariga etkazib berish zarur. So'ngra xar turdagi iste'molchilar: sanoat korxonalari, transport, qurilish, turar joy va h.k.larga taqsimlash lozim. Elektr energiyani uzoq masofalarga yuqori (500 kVgacha) kuchlanishlarda, demak, past toklarda uzatiladi. Bu bilan elektr uzatish liniyalar (EUL)ida sodir bo'luvchi elektr isroflari (Joul isroflari)ni minimal darajagacha etkaziladi. Shu sababli elektr energiyasini uzatish va taqsimlashda kuchlanishni bir necha marta kuchaytirish va pasayitirishga to'g'ri keladi. Kuchlanishning bunday o'zgartirilishi transformator deb nomlangan elektromagnit qurilmasida bajariladi. Transformator elektr mashinasi emas, chunki u ishlaganda elektr energiyasi mexanik energiyaga aylantirilmaydi va, aksincha, mexanik energiya elektr energiyasiga aylantirilmaydi; transformator faqat elektr energiyasining kuchlanishi va tokining miqdorlarini o'zgartiradi, xolos. Transformator – statik elektromagnit apparat bo'lib, unda xarakatlanuvchi qismlar yo'q. Biroq, transformatorda kechuvchi elektromagnit o'zgarishlar elektr mashinasi ishlagandagi jarayonlarga o'xshashdir. Magnit maydoni bilan tokli o'tkazgich o'zaro ta'sir etish jarayonlarining tabiati elektr mashinalari va transformatorlarda bir xil kechadi. Shu sababli, transformatorlar elektr mashinalari fanining ajralmas qismi hisoblanadi.

K.2 Elektr mashinalari ishlash prinsipi asosida
yotuvchi tabiat qonunlari, qoidalari va hodisalari

«Elektr mashinalari» fanini o'rganish «Elektrotexnika nazariy asoslari» fanida keltirilgan elektr va magnit hodisalarining fizik talqinlarini bilishga asoslangan. Shunga qaramay, «Elektr mashinalari» fanini o'rganishga kirishdan avval, elektr mashinalari ishlash prinsipi asoslangan ba'zi qonun va qoidalarni, birinchi galda, elektromagnit induksiyasi qonunini fizik talqinini yodga olamiz.

Elektromagnit induksiyasi qonuni. Elektr mashinasi generator rejimida ishlash jarayonida mexanik energiyaning elektr energiyaga aylanadi. Bu jarayon elektromagnit induksiyasi qonuni asosida tushuntiriladi: agar magnit maydonida joylashgan o'tkazgichga F kuch ta'sir etib (K.1-rasm,a), uni, masalan, chapdan o'ngga magnit maydon induksiya vektori V ga perpendikulyar xarakatlantirilsa, u holda o'tkazgichda EYUK induktivlanadi

$$E = Blv, \quad (K.1)$$

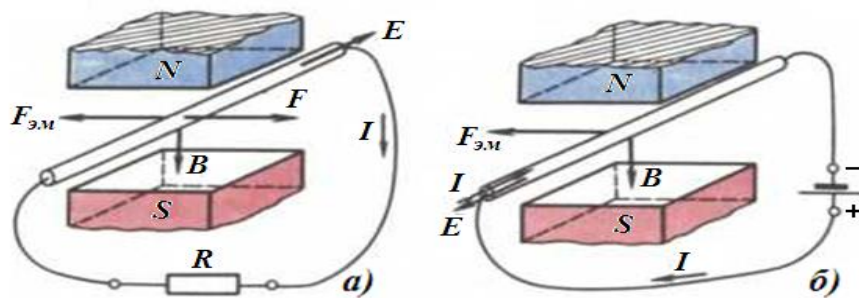
bunda, V – magnit maydon induksiyasi, Tl; l – o'tkazgichning aktiv uzunligi, ya'ni magnit maydonda joylashgan uzunligi, m; v – o'tkazgich xarakatining tezligi, m/s.

«O'ng qo'l» va «chap qo'l» qoidalar. Yuqoridagi o'tkazgichda induktivlangan EYUKning yo'nalishini aniqlash uchun «o'ng qo'l» qoidasidan foydalanamiz (K.2-rasm,a). Bu qoidaga ko'ra o'tkazgich EYUKning yo'nalishi biz tomondan ekaligini aniqlaymiz. Agar o'tkazgich klemmalari tashqi rezistor R (iste'molchi)ga ulanib, berk kontur hosil qilsa, u holda EYUK ta'sirida o'tkazgichda shu yo'nalishda tok oqa boshlaydi. Shunday qilib, magnit maydonidagi o'tkazgichni elementar generator deb qarash mumkin ekan.

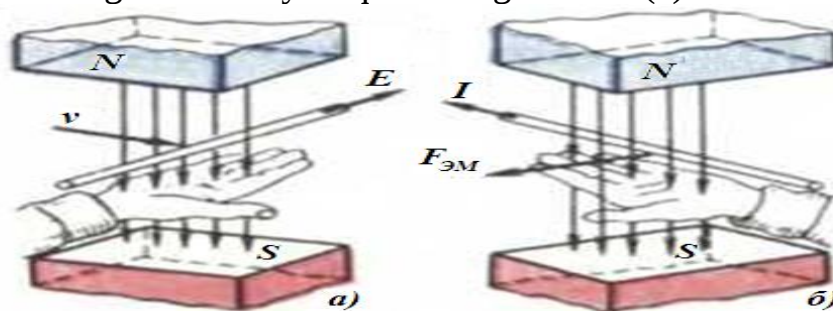
Tok I ning magnit maydoni bilan o'zaro ta'siri natijasida o'tkazgichga ta'sir etayotgan elektromagnit kuch hosil bo'ladi

$$FEM = Blv. \quad (K.2)$$

Bu FEM kuchning yo'nalishini «chap qo'l» qoidasi (K.2-rasm,b) yordamida aniqlash mumkin. Ko'rilayotgan holatda bu kuch chapdan o'ngga yo'nalgandir, ya'ni o'tkazgich xarakati fo'nalishiga qarama-qarshidir. Shunday qilib, ko'rilayotgan elementar generatorda FEM kuch xarakatlantiruvchi F kuchga nisbatan tormozlovchi bo'ladi.



K.1-rasm. Elektromagnit induksiyasi qonunini generator (a) va motor (b) rejimlarida



K.2-rasm. “O'ng qo'l” (a) va “chap qo'l” (b) qoidalarini tushuntirish

O'tkazgichning tekis $v = const$ xarakatida bu kuchlar muvozanatlashadi, ya'ni $F = F_{\mathcal{EM}}$. Tenglikning o'ng va chap tomonlarini o'tkazgich tezligiga ko'paytirib, quyidagi ifodani hosil qilamiz

$$F \cdot v = F_{\mathcal{EM}} \cdot v.$$

Ushbu ifodaga $F_{\mathcal{EM}}$ ning (K.2) qiymatini qo'ysak quyidagi ifoda hosil bo'ladi

$$F \cdot v = B \cdot l \cdot v \cdot I = E \cdot I. \quad (V.Z)$$

Tenglikning chap qismi o'tkazgichni magnit maydonidan olib o'tish uchun sarflanayotgan mexanik quvvatni aniqlaydi; o'ng qismi esa berk konturda I toki hosil qilayotgan elektr quvvatni anglatadi. Bu ikki quvvatlar orasidagi tenglik belgisi generatorda o'tkazgichga qo'yilgan tashqi kuch xosil qilgan mexanik quvvatning elektr energiyaga aylanishini ko'rsatadi. Agar o'tkazgichga tashqi kuch F qo'yilmasa, elektr energiyasi manbaidan unga U kuchlanish shunday qo'yilsaki, unda o'tkazgichdagi I tok K.1-rasm, b da ko'rsatilganidek yo'nalishda bo'lsa, u holda o'tkazgichga faqat $F_{\mathcal{EM}}$ elektromagnit kuch ta'sir etadi. Bu kuch ta'sirida o'tkazgich magnit maydonida xarakatga keladi. Bunda o'tkazgichda yo'nalishi U kuchlanishga teskari yo'nalishda bo'lgan EYUK induktivlanadi. Shunday qilib, o'tkazgichga qo'yilgan U kuchlanish- ning bir qismi shu o'tkazgichda induktivlangan EYUK E bilan muvozanatlanadi, qolgan qismi esa o'tkazgichda kuchlanishlar pasayuvini hosil qiladi

$$U = E + Ir \quad (K.4)$$

bunda r - o'tkazgichning elektr qarshiligi.

Tenglikning chap va o'ng qismlarini tok I ga ko'paytiramiz

$$U \cdot I = E \cdot I + I^2 r.$$

E ning o'rniga (K.1)dan EYUKning qiymatini qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

$$UI = Blv \cdot I + I^2 r,$$

yoki, (K.2) ga ko'ra,

$$UI = F_{\mathcal{EM}} \cdot v + I^2 r. \quad (K.5)$$

Bu tenglikdan shu kelib chiqadiki, o'tkazgichga kelayotgan elektr quvvat (UI)ning bir qismi mexanik energiya($F_{\mathcal{EM}} \cdot v$)ga aylanadi, va qolgan qismi o'tkazgich qizishiga sabab bo'luvchi elektr quvvat isroflari ($I^2 r$)ga sarflanadi. Demak, magnit maydoniga joylash-tirilgan tokli o'tkazgichni elementar elektr motori deb qarash mumkin ekan.

Ko'rilgan hodisalar quyidagi xulosalarni chiqarishga imkon beradi:

a) ixtiyoriy elektr mashinasi uchun bir biriga nisbatan o'zaro xarakatda bo'lishi mumkin bo'lgan tok o'tkazish muxiti (o'tkazgichlar) va magnit maydoni mavjuddir;

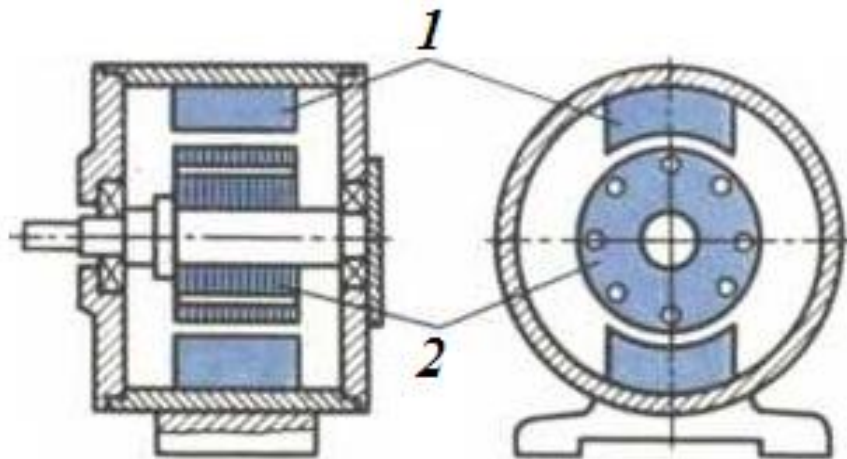
b) elektr mashinasi generator rejimida ishlaganda xam, elektr motori rejimida ishlaganda xam, magnit maydoni kesib o'tayotgan tokli o'tkazgichda, bir vaqtning o'zida EYUK induktivlanishi va o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch xosil bo'lishi kuzatiladi;

d) elektr mashinasida mexanik va elektr energiyalarining o'zaro o'zgartirilishi ixtiyoriy yo'nalishda kechishi mumkin, ya'ni bir elektr mashina elektr motor rejimida xam, generator rejimida xam ishlashi mumkin; elektr mashinalarining bunday xususiyati qaytuvchanlik (obratimost) deb ataladi. Elektr mashinalarining qaytuvchanlik prinsipi birinchi bo'lib E.X.Lens tomonidan aniqlandi.

O'rganilgan «soddalashtirilgan» elektr generatori va motori faqat elektr tokining asosiy qonun va hodisalaridan ularda foydalanish prinsiplarini ko'rsatadi. Ularning konstruktiv bajarilish masalalariga kelganimizda, shuni ta'kidlash zarurki, ko'pgina elektr mashinalarida xarakatlanuvchi qismlar aylanma xarakat prinsipiga asoslanganligini ko'ramiz.

Elektr mashinalari konstruksiyalarining ko'plab turlari mavjudligiga qaramay, ularni biror umumlashtirilgan konstruksiya bilan almashtirish mumkin. Bunday konstruksiya (K.3-rasm) ikki qismdan iborat bo'lib, biri qo'zg'almas qism 1 – stator, ikkinchisi, aylanuvchi qism 2 – rotor deyiladi.

Rotor stator magnit o'zaginging ichki silindrik bo'shlig'ida joylashtirilib, ular orasida havo oralig'i mavjud bo'ladi. Ushbu ikki elementlardan biri mashinada magnit maydon qo'zg'atish uchun qo'zg'atuvchi element (masalan, elektromagnit yoki o'zgarmas magnit) bilan jihozlangan, ikkinchisida esa, shartli ravishda ishchi chulg'am deb nomlangan, chulg'am bilan joylashgan. Mashinaning qo'zg'almas qismi (stator) xam, aylanuvchi qismi (rotor) xam, magnit qarshiligi juda kichik bo'lgan magnit-yumshoq materialdan yasalgan magnit o'zaklari mavjud.



K.3-rasm. Elektr mashinasining konstruktiv umumlashtirilgan sxemasi

Agar elektr mashina generator rejimida ishlasa, (aylantiruvchi motor yordamida) rotor aylanganda ishchi chulg'am o'tkazgichlarida EYUK induktivlanadi va iste'molchiga ulanganda unda tok hosil bo'ladi. Bunda aylantiruvchi motorning mexanik energiyasi elektr energiyasiga o'zgartiriladi. Agar mashina elektr motori sifatida ishlash uchun mo'ljallangan bo'lsa, u holda uning ishchi chulg'ami tarmoqqa ulanadi. Bunda, chulg'am o'tkazgichlarida hosil bo'lgan tok magnit maydoni bilan o'zaro ta'sir etib, rotorning aylanishiga olib keluvchi elektromagnit kuchlarini hosil qiladi. Motorning tarmoqdan iste'mol qilayotgan elektr energiyasi, biror ishchi mexanizm (stanok, lift va h.k.)ni aylantirish uchun sarflanayotgan mexanik energiyasiga aylantiriladi.

Elektr mashinalarining shunday konstruksiyalari ham mavjudki, ularda ishchi chulg'am statorda, magnit oqimni qo'zg'atuvchi (hosil qiluvchi) elementlari rotorda joylashgan bo'ladi. Bu bilan mashina ishlash prinsipi o'zgarmay, ilgarigidek qoladi.

Elektr mashinalarining quvvat diapazonlari keng bo'lib, vatning bir necha ulushidan boshlab, yuz minglab kilovatgachadir.

K.3 Elektr mashinalari klassifikatsiyasi

Elektr mashinalarining generator va motor rejimlarida ishlatilishi ularning asosiy qo'llanishidir, chunki elektr va mexanik energiyalarining o'zgartirilishi bilan bog'liqdir. Elektr mashinalarining turli texnika va texnologiyalarda qo'llanishidan boshqa maqsadlar ko'zlanishi ham mumkin. Masalan, elektr energiyasini iste'mol qilish aksariyat o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish yoki chastotani o'zgartirish bilan bog'liq bo'ladi. Elektr mashinalari elektr signallarining quvvatini oshirish uchun ham ishlatiladi. Bunday mashinalari "elektr mashina kuchaytirgichlari" deb nomlanadi. elektr energiya iste'molchilarining quvvat koeffitsientini oshirish uchun qo'llaniladigan elektr mashinalari sinxron kompensatorlar deb ataladi. O'zgaruvchan tokning kuchlanishini rostdash uchun xizmat qiluvchi elektr mashinalari induksion regulyatorlar deyiladi.

Avtomatika va hisoblash texnikasida qo'llaniluvchi mikromashinalar turli xillari mavjud. Bunda elektr mashinalari na faqat motor sifatida, balki taxogenerator (aylanish tezligini o'lchash uchun, ya'ni aylanish tezligiga proporsional bo'lgan elektr signalini olish), selsinlar, aylanuvchi transformatorlar (val burilish burchagiga proporsional bo'lgan elektr signalini olish) va h.k. sifatida ishlatiladi.

Keltirilgan misollardan ko'rinadiki, elektr mashinalarining vazifalariga ko'ra ularning turlari xar xil ekan.

Elektr mashinalari ishlash prinsipiga ko'ra o'zgaruvchan tok va o'zgarmas tok mashinalariga bo'linadilar. O'zgaruvchan tok mashinalari asinxron va sinxron mashinalarga bo'linadilar. Asinxron mashinalar aksariyat motor rejimida ishlatilsa, sinxron mashinalar ko'proq generator rejimida ishlatiladi. Biroq, tog'-kon sanoati, gidrotexnik qurilmalarda katta quvvatli tegirmon, maydalagichlar, nasoslar va boshqa jihozlarda sinxron motorlari o'z o'rnini topgandir. O'zgarmas tok mashinalari motor va generator rejimlarida ishlatilmoqda.

Bir hil ishlash prinsipiga ega bo'lgan elektr mashinalari bir biridan sxemalarining ulanishi yoki mashina ekspluatatsiya xossalari ta'sir etuvchi boshqa xususiyatlari bilan ajralishi mumkin. Masalan, asinxron va sinxron mashinalari uch fazali (uz fazali tarmoqqa ulangan), kondensatorli yoki bir fazali bo'lishi mumkin. Asinxron mashinalari rotor chulg'aming tuzilishiga ko'ra qisqa tutashgan rotorli va faza rotorli bo'lishi mumkin. Sinxron mashinalari va o'zgarmas tok mashinalari qo'zg'atish magnit maydonini hosil qilish usuliga ko'ra ikki turga – qo'zg'atish chulg'amli va o'zgarmas magnitli mashinalarga bo'linadi.

Ushbu darslikda, elektr mashinalarini tushuntirishga qaratilgan boshqa barcha adabiyotlardagi kabi, elektr mashinalaridan tashqari transformatorlarni xam o'rganishga qaratilgan ma'lumotlar keltiriladi. Transformatorlar o'zgaruvchan tokli statik elektromagnit apparatdir. Biror aylanuvchi qismi bo'lmasligi, transformatorga elektr mashinalaridan prinsipial ravishda farqlanuvchi o'zgacha konstrutsiya bag'ishlaydi. Biroq, transformatorning ishlash prinsipi ham, elektr mashinalarining ishlash prinsipi ham elektromagnit induksiyasi hodisasiga asoslangan bo'lib, transformatorlar nazariyasining birqancha qismlari o'zgaruvchan elektr mashinalarining nazariy asoslarini tashkil etadi.

Elektr mashinalari va transformatorlar – xar qanday energetik tizimning yoki elektr qurilmasining asosiy elementlaridir. Shuning uchun elektr mashinalarini ekspluatatsiya qiluvchi personal, ayniqsa tog'-kon sanoati xodimlari, elektr mashinalari va transformatorlar elektromagnit, mexanik va qizish jarayonlari nazariy va fizik asoslarini bilishlari zarur.

Transformatorlarda bo'ladigan fizik jarayonlat va transformatorlarning tuzilishi.

Transformatorning xayotdagi o'rni va qo'llanish sohalari

Transformator deb, ikki (yoki undan ko'p) induktiv bog'langan chulg'amlari mavjud bo'lgan, elektromagnit induksiyasi hodisasi asosida bir (birlamchi) o'zgaruvchan tok tizimini ikkinchi (ikkilamchi) o'zgaruvchan tok tizimiga o'zgartiruvchi statik elektromagnit apparatga aytiladi.

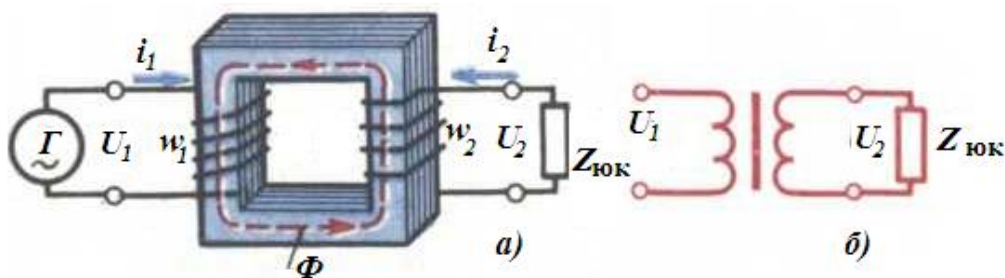
Umumiy holda, ikkilamchi o'zgaruvchan tok tizimi birlamchi tizimdan ixtiyoriy parametrlari (kuchlanish, tok qiymatlari, fazalar soni, tok va kuchlanishning vaqiga bo'liqlik egri chizig'i shakli, chastota) bilan farqlanishi mumkin. Elektrotexnik qurilmalar hamda elektr energiya uzatish va taqsimlash tizimlarida o'zgaruvchan kuchlanish va tok qiymatlari o'zgartiruvchi kuchli transformatorlar ko'plab qo'llaniladi. Bunda fazalar soni, kuchlanish (tok) egri chizig'i shakli va chastotasi o'zgarmas bo'ladi.

Vazifasiga ko'ra transformatorlar umumiy qo'llanuvchi kuchli transformatorlar va maxsus qo'llanuvchi transformatorlarga bo'linadi. Umumiy qo'llanuvchi kuchli transformatorlar EUL va elektr energiyasini taqsimlashda, hamda xar turdagi elektrotexnik qurilmalarda zarur bo'lgan kuchlanishni olish uchun qo'llaniladi. Maxsus qo'llanuvchi transformatorlar ishchi xossalari va konstruktiv bajarilishi bo'yicha turli xarakterlari bilan farqlanadilar. Bunday transformatorlarga o'choq va payvandlash transformatorlari, avtomatik tizimlar transformatorlari (pik-, impuls transformatorlari, chastota kuchaytirgichlari va h.k.), sinov va o'lchov transformatorlari kiradi.

Ushbu darslikda umumiy qo'llanuvchi kuchli transformatorlar o'rganiladi.

Transformatorning ishlash prinsipi

Soddalashtirilgan kuchli transformator ferromagnit materialdan ishlangan (odatda tunikasimon elektrotexnik po'lat) magnit o'zak va magnit o'zakning sterjenlariga joylashgan ikki chulg'amdan (1.1,a -rasm) iborat. Chulg'amlardan biri birlamchi chulg'am deb nomlanib, o'zgaruvchan tok manbai kuchlanishi U_1 bo'lgan G ga ulanadi. Ikkilamchi deb nomlangan chulg'amga iste'molchi Z_H ulanadi; aksariyat uni transformator yuki (yuklanishi) deyiladi. Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'zaro galvanik (elektrik) bog'lanmagan bo'lib, bir chulg'amdan ikkinchi chulg'amga elektromagnit usulda uzatiladi. Bu chulg'amlar joylashgan magnit o'zaklar (magnit o'tkazgichlar) Φ magnit oqimni va chulg'amlar orasidagi induktiv bog'lanishni kuchaytirish uchun xizmat qiladi.



1.1-rasm. Transformatorning elektromagnit (a) va prinsipial (b) sxemalari

Transformatorning ishlashi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan. Birlamchi chulg'amni o'zgaruvchan tok manbaiga ulaganda ushbu chulg'am o'ramlarida o'zgaruvchan tok i_1 oqadi, u magnit o'zakda o'zgaruvchan F magnit oqimni xosil qiladi.

Bu magnit oqim magnit o'zakda berk kontur hosil qilib, transformatorning ikkala (birlamchi va ikkilamchi) chulg'amlarini kesib o'tadi va ularda EYUK induktivlaydi. Birlamchi chulg'amda o'zinduksiya EYUK

$$e_1 = -w_1(d\Phi/dt), \quad (1.1)$$

ikkilamchi chulg'amda o'zaro induksiya EYUK

$$e_2 = -w_2(d\Phi/dt), \quad (1.2)$$

bunda w_1 va w_2 - transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari o'ramlari soni.

Transformator ikkilamchi chulg'amning chiqish klemmalari Z_H yuklanishga ulanganda e_2 EYUK ta'sirida bu chulg'am zanjirida i_2 tok oqadi va U_2 kuchlanish o'rnatiladi. Kuchaytiruvchi transformatorlarda $U_2 > U_1$, pasaytiruvchi transformatorlarda esa $U_2 < U_1$.

Ifodalar (1.1) i (1.2) dan shuni ko'rish mumkinki, transformator chulg'amlarida induktivlanayotgan e_1 va e_2 EYUKlar bir biridan faqat chulg'amlar o'ramlari sonlari w_1 va w_2 farqi bilan ajralib turadi. Shuning uchun chulg'amlarning o'ramlari sonining zaruriy qiymatlarini tanlash bilan, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar kuchlanishlarining ixtiyoriy qiymatlarini qabul qilish mumkin.

Kuchlanishi yuqoriroq bo'lgan tarmoqqa ulangan chulg'am yuqori kuchlanish (YUK) chulg'ami deyiladi; kuchlanishi quyi bo'lgan tarmoqqa ulangan chulg'am quyi kuchlanish (QK) chulg'ami deyiladi.

Bir fazali transformatorning prinsipial elektr sxemasi 1.1,6-rasmda keltirilgan.

Transformatorlar qaytuvchanlik xususiyatiga ega, bir transformatorning o'zini kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformator sifatida ishlatish mumkin. Lekin, aksariyat transformator bir qo'llanishda - yoki kuchaytiruvchi, yoki pasaytiruvchi bo'lishi mumkin.

Transformator – o'zgaruvchan tok apparatidir. Agar uning birlamchi chulg'amini o'zgarmas tok manbaiga ulansa, u holda transformator magnit o'zagidagi magnit oqimi xam qiymati va yo'nalishi bo'yicha o'zgarmas bo'ladi ($d\Phi/dt = 0$), shu sababli transformator chulg'amlarida EYUK induktivlanmaydi, demak elektr energiya birlamchi zanjirdan ikkilamchi zanjirga uzatilmaydi.

Transformatorlar quyidagi omillariga ko'ra bir necha turlarga ajratiladi:

- a) vazifasiga ko'ra: umumiy qo'llanuvchi kuchli va maxsus transformatorlar;
- b) sovitilish turiga ko'ra: havo (quruq) transformatorlar va moyli transformatorlar;
- d) transformatsiyalanuvchi fazalar soniga ko'ra: bir fazali, uch fazali va ko'p fazali;
- e) magnit o'zakning shakliga ko'ra: sterjenli, zirxli; zirx-sterjenli; torroid shaklida;
- f) fazadagi chulg'amlar soniga ko'ra: ikki chulg'amli; ko'p chulg'amli.

1.3. Transformatorning tuzilishi

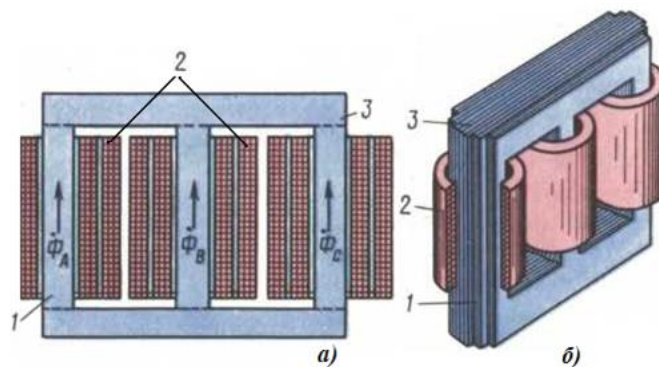
Transformator quyidagi konstruktiv elementlardan tuzilgan:

magnit o'zak, chulg'amlar, kirish klemmalari, bak va boshqa izolyasiyalovchi, maxkamlash, himoyalash elementlari va b.

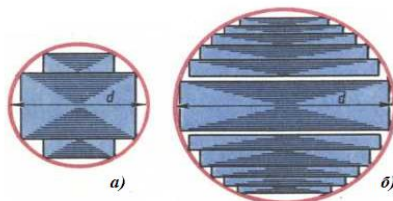
Magnit o'zak va unga o'rnatilgan chulg'amlari birgalikda transformatorning aktiv qismini tashkil etadi. Transformatorning qolgan elementlari transformatorning passiv (yordamchi) qismi deyiladi. Transformator tuzilishining asosiy qismini batafsil ko'raylik.

Magnit o'zak. Transformatoridagi magnit o'zak ikki vazifani bajaradi: a) transformator asosiy magnit maydonining berk konturini hosil qiladi va uni kuchaytiradi; b) chulg'amlar, chulg'am ulamalari va ulagichlarini maxkamlaydigan asos.

Magnit o'zak shixtovka (tunukachalar ustma-ust qo'yilib presslanadi) qilingan konstruksiyaga ega bo'lib, ikki tomoni izolyasiyalovchi plyonkali (maslan, lak) yupqa (aksariyat qalinligi 0,5 mm) po'lat plastinalardan iborat. Magnit o'zakning bunday tuzilishi unda o'zgaruvchan magnit oqimi hosil qiladigan uyurma toklarini kamaytirish uchun, demak transformatorida quvvat isroflarini kamaytirishga qaratilgan. Kuchli transformatorlar magnit o'zaklari uch turda bajariladi: sterjenli, zirxlangan, zirx-sterjenli.

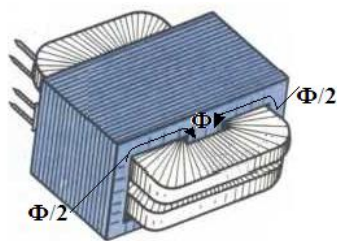


1.2-rasm. Sterjenli magnet o'zagi va chulg'amlari kesib ko'rsatilgan uch fazali transformator



1.3-rasm. Sterjenlar kesim yuzasi shakli a) kichik va o'rta quvvatli transformator b) katta quvvatli transformator

Sterjen turdagi magnit o'zakda (ris. 1.2,a) vertikal sterjen 1 va ularga o'rnatilgan chulg'amlar 2 bo'lib, yuqori va quyi qismlarida yarmolar 3 bilan berk kontur hosil qiladi. Xar bir sterjenda mos fazalarning chulg'amlari joylashtirilgan va shu faza magnit oqimi oqadi: chekka sterjenlarda – Φ_A va Φ_C faza magnit oqimlari, o'rtadagi sterjenda Φ_B magnit oqimi oqadi. Yuqoridagi 1.2,b-rasmda magnit o'zakning tashqi ko'rinishi keltirilgan. Sterjenlarning kesim yuzasi zinasimon bo'lib, d diametrli aylana ichiga kirgan (1.3-rasm).



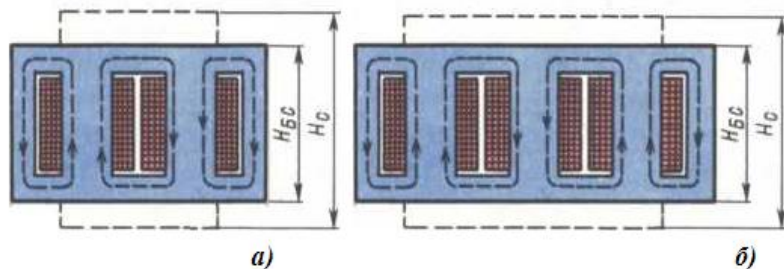
1.4-rasm. Zirxlangan magnit o‘zakli bir fazali transformator. Tashqi ko‘rinish

Katta quvvatli transformator magnit o‘zagi sterjenlari kesim yuzasi ko‘p pog‘onali bo‘ladi va chulg‘am ichidagi aylana yuzasini foydali ishlatilishini ta‘minlaydi. Issiqlikni yaxshi o‘tkazish uchun, ba‘zan alohida sterjen paketlari orasida kengligi 5- 6 mm bo‘lgan havo oralig‘i qoldiriladi. Ular ventilyasiya kanallari sifatida ishlatiladi.

Zirxlangan turdagi magnit o‘zak sterjen va yarmosi bo‘lgan konstruksiyaning yoyilgan shakli bo‘lib, chulg‘amni qisman «qoplab» (zixrlab) berkitgan (1.4-rasm) bo‘ladi.

Zirxlangan turdagi magnit o‘zak sterjenidagi magnit oqimi F yarmodagi magnit oqimlaridan ikki marta katta, ularning har birining kesim yuzasi sterjen kesim yuzasidan ikki marta kichik bo‘ladi. Zirxlangan turdagi magnit o‘zak ishlab chiqarish texnologiyasi murakkab bo‘lganligi sababli keng qo‘llanish imkoni bo‘lmaydi. Ular faqat kichik quvvatli kuchli transformatorlarda ishlatiladi.

Katta quvvatli transformatorlarda magnit o‘zakning zirx-sterjenli konstruksiyasi ishlatiladi (1.5-rasm). Ularda elektrotexnik po‘lat sarfi biroz ko‘proq bo‘lsada, magnit o‘zak balandligini kamaytirish ($H_{BC} < H_C$), demak transformatorning balandligi kamayishiga imkon beradi. Bu ko‘rsatkich transformatorlarni temir yo‘ldagi tashishda muxim ahamiyatlidir.



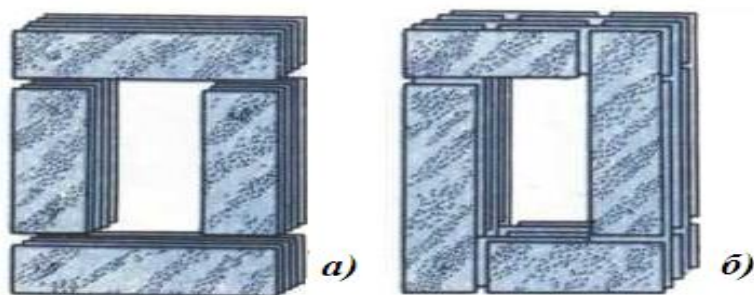
1.5-rasm. Zirx-sterjenli magnit o‘zagi bo‘lgan transformator:
a) bir fazali; b) uch fazali

Sterjen va yarmoning ulanish uslubiga ko‘ra sterjenli magnit o‘zaklar tutash va shixtovkali konstruksiyalarga bo‘linadi (1.6-rasm).

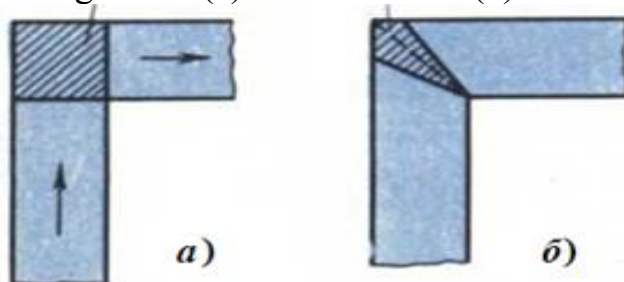
Tutash konstruksiyali (1.6,a-rasm) magnit o‘zakning sterjen va yarmolari alohida yig‘iladi, sterjenga chulg‘am kiygiziladi, so‘ngra yuqori va quyi yarmolar sterjenga keltiriladi. Ikki yarmo o‘rnatilgandan so‘ng konstruksiya presslanadi va tortuvchi vertikal shpilkalar bilan maxkamlanadi. Tutash konstruksiyali magnit o‘zak yig‘ish jarayonini osonlashtirsa xam, biroq kuchli transformatorlarda keng qo‘llanilmaydi. Chunki tortuvchi qurilmalar qo‘pol, tutash yuzalardagi magnit qarshilikni kamaytirish zarurati bilan shu yuzalarni mexanik ishlov berish kerak bo‘ladi.

Kuchli transformator magnit o‘zagining shixtovka qilingan konstruksiyasi 1.6,b-rasmda keltirilgan. Bunda sterjen va yarmo plastinalari qatlamlab galma-galdan qo‘yiladi va bir qatlam tutashmasini ikkinchi qatlam berkitadi. Aksariyat, qatlamlar 2-3 plastinani tashkil etadi. Hozirgi vaqtda kuchli transformatorlar magnit o‘zaklari jo‘valash yo‘nalishi

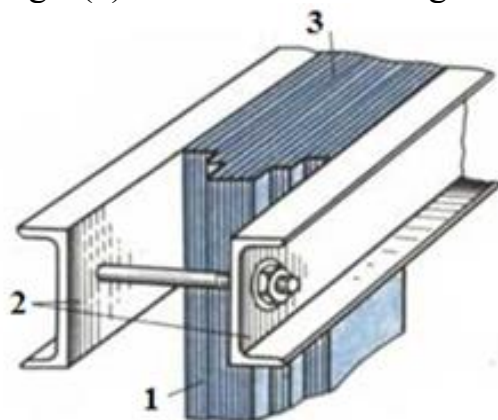
bo‘ylab magnit xususiyatlari, shu yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgandagi magnit xususiyatlaridan ancha yuqori bo‘lgan sovuq jo‘valangan elektrotexnik po‘latdan yasalmogda.



1.6-rasm. Magnit o‘zakning tutash (a) va shixtovkali (b) konstruksiyalari



1.7-rasm. To‘g‘ri (a) va egri (b) tutashli mos bo‘lmagan zona

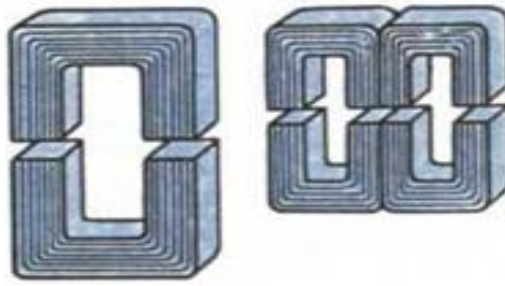


1.8-rasm. Yarmoning presslanishi

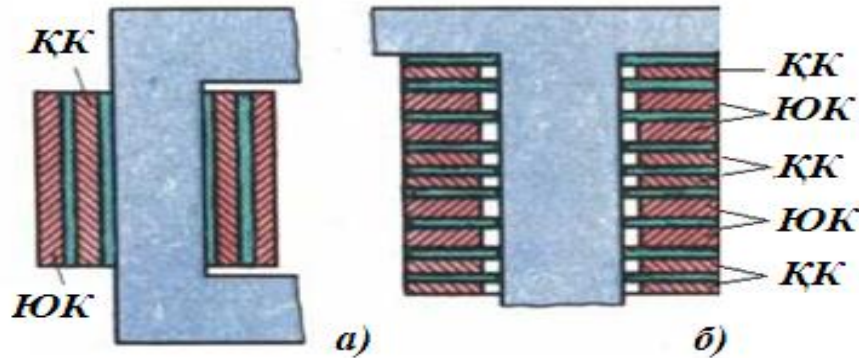
Shu sababli shixtovkalangan konstruksiyada listlar 90° ga burilish joyida magnit oqimning jo‘valash yo‘nalishi bilan «mos bo‘lmagan zonalar» paydo bo‘ladi. Bu erlarda magnit qarshilikning va magnit isroflarning ortishi kuzatiladi. Ushbu hodisani kamaytirish maqsadida shixtovka uchun plastinalarning to‘g‘ri tutash (1.7,a-rasm) o‘rniga egri (kosoy) tutash (1.7,b-rasm) qabul qilinadi. Bu usulda «mos bo‘lmagan zona» ancha kichik bo‘ladi.

Shixtovka qilingan konstruksiyali magnit o‘zak kamchiligi uning yig‘ilishidagi biroz murakkablikdir. Chunki chulg‘amni sterjenga kiygizishda yuqori yarmoning shixtovkasini buzishga, so‘ngra yana shixtovka qilishga to‘g‘ri keladi.

Magnit o‘zak 1 ni maxkamlashda yarmo to‘sinlari 2 dan foydalaniladi. Chekka sterjenlardan chiqib qolgan joylarida (1.8-rasm) shpilkalar bilan tortiladi.



1.9-rasm. Lentali qirqilgan magnit o‘zak



1.10-rasm. Transformatorning konsentrik (a) va disk (b) chulg‘amlari

Transformator ishlash rejimida metal qismlari orasida potentsiallar farqi bo‘lsa, shu qismlarni ajratib turgan izolyasiyalangan oraliqlarda izolyasiya teshilishi mumkin. Potentsiallar farqi bo‘lmasligi uchun magnit o‘zak va uni maxkamlovchi detallar albatta zaminlanishi lozim. Zaminlash mis lentalar bilan bajarilib, uning bir uchi magnit o‘zak po‘lat plastinalari orasiga, ikkinchi uchi esa yarmo to‘siniga maxkamlanadi.

Kichik quvvatli transformatorlar (aksariyat quvvati 1 kV·A dan oshmagan) magnit o‘zaklari sovuq jo‘valangan elektrotexnik po‘lat lenta o‘rash yo‘li bilan yasaladi. Bunday magnit o‘zak o‘ramlari qirqilib (1.9-rasm), unga chulg‘am kiygizilgandan so‘ng tutashtirib yig‘iladi va maxsus qisqich (xomut) yordamida tortib maxkamlanadi.

Chulg‘amlar. O‘rta va katta quvvatli transformator chulg‘amlari dumaloq yoki to‘rtburchak kesim yuzasi bo‘lgan izolyasiyalangan chulg‘am simlaridan o‘raladi. Chulg‘amning asosi sifatida ko‘pgina holatlarda qog‘oz-bakelit silindr xizmat qiladi va unga chulg‘amning mexanik va elektrik mustaxkamligini ta‘minlaydigan elementlar (reykalar, burchakli shaybalar va h.k.) maxkamlanadi.

Chulg‘amning sterjenda o‘zaro joylashishiga qarab, ular konsentrik va almashinuvchi chulg‘amlarga bo‘linadi. Konsentrik chulg‘amlar sterjenda konsentrik joylashgan silindrlar shaklida bajariladi: sterjenga yaqin aksariyat quyi kuchlanish (QK) chulg‘ami (sterjendan kam izolyasiyalanish talab etadi) joylashadi, tashqi tomondan yuqori kuchlanish (YUK) chulg‘ami joylashtiriladi (1.10,a-rasm).

Almashinuvchi (disksimon) chulg‘amlar QK va YUK alohida seksiyalar (disklar) shaklida bajariladi va sterjenda almashinish tartibida joylashtiriladi (1.10,b-rasm). Almashinuvchi chulg‘amlar ba‘zi maxsus transformatorlarda ishlatiladi.

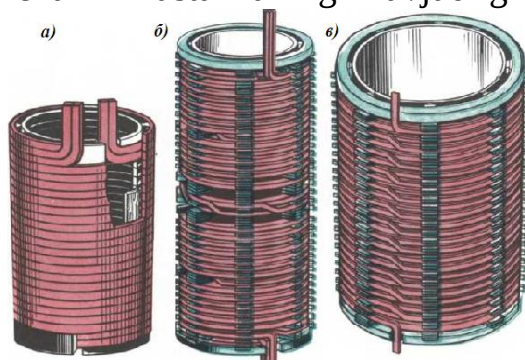
Konsentrik chulg‘amlar konstruktiv jixatdan birnecha turlarga bo‘linadi. Ulardan bir nechasini ko‘raylik.

Bir qatlamli yoki ikki qatlamli silindrik chulg‘amlar kesim yuzasi to‘rtburchakli bo‘lgan simlardan yasaladi (1.11, a-rasm) va asosan nominal toki 800 A bo‘lgan QK chulg‘amlarida ishlatiladi.

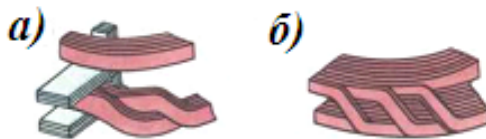
2. Bir- va ikki qatlamli vintsimon chulgʻamlar kesim yuzasi toʻrtburchakli boʻlgan birnecha parallel simlardan yasaladi. Bunda bu oʻramlar bir yoki ikki qadamli (1.11,b-rasm) vintsimon liniyalari boʻylab oʻraladi. Barcha parallel simlar tok bilan bir xil yuklanishini taʼminlash uchun bu simlarni transpozitsiyalab oʻraladi. Transpozitsiyada bir oʻram davomiyligida har bir oʻtkazgich barcha pozitsiyalarni egallagan boʻlishi taʼminlanadi.

3. Transpozitsiya guruhli boʻlishi mumkin, bunda parallel oʻtkazgichlar ikki guruhga boʻlinib, pozitsiya oʻzgartirishlari guruhli (1.11, a-rasm) bajariladi, xamda umumiy boʻlishi mumkin, bunda barcha parallel oʻtkazgichlar oʻzaro joy almashinadi (1.12,6-rasm).

4. Uzluksiz chulgʻamlar (1.11,v-rasm) alohida disk chulgʻamlar (seksiyalar)dan iborat boʻlib, spiral boʻyicha oʻraladi. Agar chulgʻam birnecha parallel oʻtkazgichlardan oʻralsa, u holda oʻtkazgichlarning transpozitsiyasi bajariladi. Uzluksiz chulgʻamlar, ularni ishlab chiqarish texnologiyasi biroz murakkab boʻlishiga qaramay, kuchli transformatorlarda YUK chulgʻamlarida xam, QK chulgʻamlari sifatida xam keng qoʻllaniladi. Bu ularning katta mexanik mustahkamligi mavjudligi bilan tushuntiriladi.



1.11-rasm. Konsentrlik chulgʻam konstruksiyasi



1.12-rasm. Vintsimon chulgʻam guruhli (a) va parallel (b) transpozitsiyasi

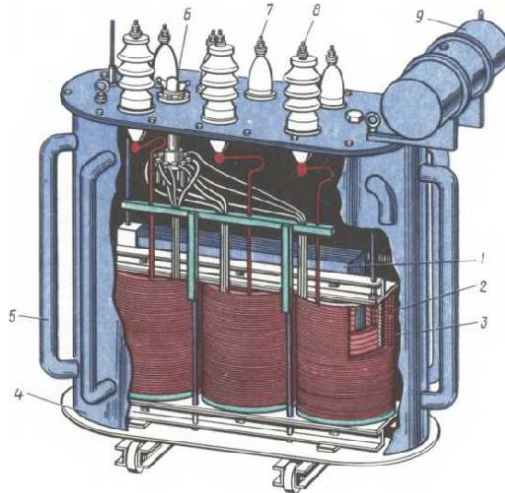
Moy bilan sovutiladigan transformatorlarda magnit oʻzak chulgʻami bilan bakka solinadi va moy bilan toʻldiriladi (1.13-rasm).

Transformator moyining oqimi natijasida 2 va 3 chulgʻamlar va 7 magnit oʻzakni yuvib oʻtadi, moy havoga nisbatan yuqori issiqlik oʻtkazuvchanligiga ega boʻlganligi sababli, ulardan issiqlikni oʻziga olib, soʻngra bak 4 devorlari va 5 radiator naylari orqali tashqi muhitga uzatadi. Transformator moyining mavjudligi yuqori kuchlanishli transformator ishining ishonchliligini oshiradi, chunki moyning elektr mustahkamligi havonikidan anchaga yuqoridir. Moy bilan sovutish, havo bilan sovutishdan jadalroq, shu sababli moy transformatorlarining gabariti va ogʻirligi shunday quvvatga ega boʻlgan quruq transformatorlarnikidan ancha kichikdir.

Quvvati 20-30 kV·A gacha boʻlgan transformatorlar baki yassi devorli boʻladi. Quvvati kattaroq transformatorlar baki devori sovutish yuzasini oshirish uchun bak devori qovurgʻali qilinadi yoki naysimon (trubkasimon) baklar qoʻllaniladi. Moy qizishi bilan yuqori koʻtariladi, soviganda esa pastga tushadi. Bunda moy naychalar ichida aylanadi (sirkulyasiyalanadi), natijada uning tez sovishi taʼminlanadi.

Xarorat oʻzgarganda moy xajmining oʻzgarishini kompensatsiya qilish uchun, xamda moy havo bilan kontakti natijasida moyning oksidlanishi va namlanishidan himoya qilish

uchun bak ustida silindrik shaklda va bak bilan tutash bo'lgan kengayish idishi 9 ishlatiladi. Moy harorati o'zgarishida moyning sathi o'zgarishi moy to'la bakda bo'lmasdan, atmosfera bilan tutash bo'lgan kengayish idishida bo'ladi.



1.13-rasm. Moy bilan sovutiladigan transformator tuzilishi

Transformator ishlash jarayonida moy tarkibidan jadal ravishda gazlarning ajralib chiqish ehtimoli doimo mavjuddir. Bu esa bak ichidagi bosimning ortishiga olib keladi. Shu sababli, bak shikastlanishining oldini olish quvvati 1000 kV·A va undan katta bo'lgan transformatorlar bakning ustida chiqarib yuborish trubasi joylashtiriladi. Trubaning quyi uchi bak bilan ulanadi, yuqorigi uchi shisha disk maxkamlangan flyanets shaklida bo'ladi. moy bosimi bak uchun xavfsiz bo'lgan bosimdan yuqori bo'lganda, shisha disk sinadi va gaz tashqi muhitga chiqariladi.

Moy transformatorining baki kengayish idishi bilan ulaydigan truba ichida gaz rele si joylashadi. Transformatorida etairli darajada buzilish sodir bo'lib (masalan, o'ramlar orasida qisqa tutashuv) jadal gaz ajralib chiqishida, gaz rele ishga tushadi, o'chirishni boshqarish zanjiridagi kontakti ulaydi, u o'z navbatida transformatorni tarmoqdan uzadi. Transformator chulg'amlari tashqi zanjir bilan 7 va 8 kiritgichlar yordamida ulanadi. Moy transformatorlarida kiritgichlar uchun chinni izolyatorlar ishlatiladi. Bakning tubiga aravacha o'rnatilgan bo'lib, transformatorni nimstansiya xududida xarakatlantirish imkoniyatini beradi. Bakning qopqog'ida kuchlanish ulagichining tutgichi 6 joylashgan.

Transformatorning xususiyatlari uning nominal parametrlari bilan aniqlanadi:

Birlamchi nominal liniya kuchlanishi (U_{1HOM} , B yoki kV);

Ikkilamchi nominal liniya kuchlanishi (U_{2HOM} , B yoki kV);

Birlamchi nominal liniya toki (I_{1HOM} , A yoki kA yoki mA);

Ikkilamchi nominal liniya toki (I_{2HOM} , A yoki kA yoki mA);

Nominal to'la quvvat S_{1HOM} , kV·A (bir fazali transformatori uchun $S_{1HOM} = U_{1HOM} \cdot I_{1HOM}$, uch fazali transformator uchun $S_{1HOM} = \sqrt{3}(U_{1HOM} \cdot I_{1HOM})$);

Nominal liniya toklari transformator nominal quvvati orqali hisoblanishi mumkin; uch fazali transformtor uchun

$$I_{1HOM} = \frac{S_{HOM} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{1HOM}}; I_{2HOM} = \frac{S_{HOM} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{2HOM}},$$

bunda S_{HOM} - transformtor nominal quvvati, kV· A.

Xar bir transformator Gers bilan o'lchanuvchi ma'lum chastotali tarmoqqa ulanish uchun hisoblangan. Evropa va Osiyo davlatlari umum mo'ljal transformatorlari $f = 50$ Gs chastotaga (Amerika qit'asida $f = 60$ Gs), avtomatika va alaqa uskunalari chastotasi 50, 400 yoki 1000 Gs .

Misol 1.1. Bir fazali transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari nominal kuchlanishlari qiymatlari quyidagilarga teng:

$U_{1nom} = 110$ kV, $U_{2nom} = 6,3$ kV, birlamchi chulg'am nominal toki $I_{1nom} = 95,5$ A. Transformatorning nominal quvvati S_{nom} va ikkilamchi chulg'am nominal toki I_{2nom} ni aniqlang.

Echish. Transformatorning nominal quvvati quyidagiga teng $S_{nom} = U_{1nom} \cdot I_{1nom} = 110 \cdot 95,5 = 10\ 500$ kV·A. Ikkilamchi chulg'am nominal toki quyidagiga teng $I_{2nom} = S_{2nom} / U_{2nom} = 10\ 500 / 6,3 = 1666$ A.

2-mavzu. Transformator chulg'amlaridagi EYUK va toklar.

Yuqorida aniqlangan almashtirilgan elektr sxema (1.18,b-rasm) transformatorning barcha rejimlarida zarur bo'lgan aniqlikda tadqiqot qilish imkonini beradi. Quvvati 50 kV·A va undan yuqori bo'lgan transformator tavsiflarini uning yordamida aniqlash katta ahamiyatga ega, chunki bunday transformatorlarni bevosita eksperimental usulida aniqlash ba'zi texnik qiyinchiliklar bilan bog'liq: elektr energiyani besamara sarf qilish, qimmatbaho va katta xajmli yuklantirish uskunalari zaruratligi.

Almashtirish sxema parametrlari $Z_1 = r_1 - jx_1, Z_m = r_m - jx_m, Z'_2 = r'_2 - jx'_2$ ni hisoblash (transformatorni loyihalash jarayonida) yoki tajriba usullari yordamida aniqlash mumkin.

Quyida almashtirish sxema parametrlarini tajriba usuli bilan aniqlash tartibi keltirilgan. Uning uchun yuksiz ishlash (yu.i.) va qisqa tutashuv (k.t.) tajribalarini o'tkazish zarur bo'ladi.

YUksiz ishlash tajribasi. YUksiz ishlash deb transformatorning shunday ishlash rejimi nazarda tutiladiki, unda birlamchi chulg'amga turli qiymatlarda kuchlanish ulab, ikkilamchi chulg'am uzilgan, ya'ni yuklanishga ulanmagan ($Z_H = r_H - jx_H, I_2 = 0$) bo'ladi. Bunday holat uchun kuchlanishlar va toklar tenglamalari quyidagi shaklga keladi

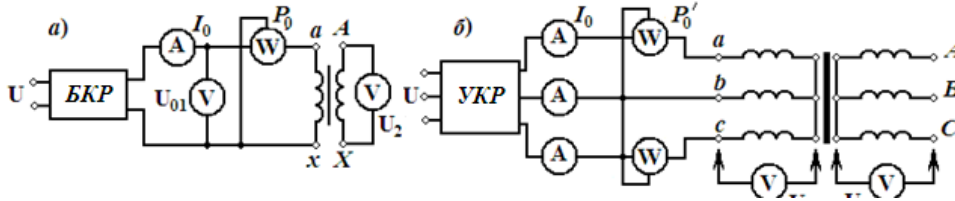
$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_0 x_1 + \dot{I}_0 r_1; \\ \dot{U}'_{20} &= \dot{E}'_2; \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0. \end{aligned} \right\} \quad (1.40)$$

Transformator yuksiz ishlaganda foydali quvvat nolga teng bo'lgani uchun, transformatorning kirishidagi yu.i. quvvati P_0 magnit o'zakdagi magnit quvvat isrofi (gisterezis va uyurma toklar isroflari)ga, hamda faqat birlamchi chulg'amdagi Joule (misdagi) isroflari $I_0^2 r_1$ (chulg'amdagi tok oqishi sababli uning qizishi)ga sarf bo'ladi.

Biroq, I_0 tokning kichik ekanligini e'tiborga olib (uning qiymati nominal tok I_{1nom} ning 2-10% dan katta emas), elektr $I_0^2 r_1$ isroflarni e'tiborga olmaslik va transformatorning barcha yu.i. quvvati magnit o'zakdagi magnit quvvatlardan iborat, deb hisoblash mumkin. Shu sababli magnit isroflarni transformatorida yu.i. isroflari, deb qabul qilingan.

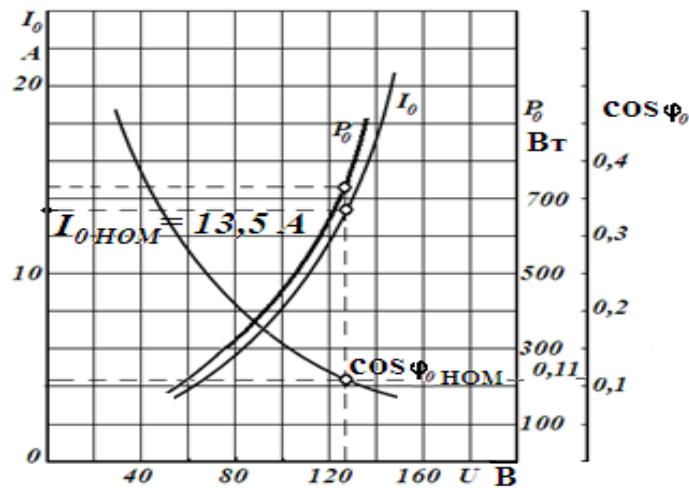
Transformator yuksiz ishlash tajribasi 1.29,a-rasmda keltirilgan sxemadan foydalanib bajariladi. Sxemaga ulangan elektr o'lchov asboblari komplekti bevosita birlamchi

chulg'amga keltirilgan kuchlanish U_1 , ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanish U_2 , yu.i. quvvati P_0 va yu.i. toki I_0 ni o'lchash imkoniyatini beradi.



1.29-rasm. Bir (a) va uch fazali (b) transformatorlar yuksiz ishlash tajribasi sxemalari

Bir fazali transformator birlamchi chulg'amiga, aksariyat, kuchlanishni 0 dan $1,15 \cdot U_{1nom}$ gacha ravon oshirish imkonini beruvchi bir fazali kuchlanish rostlagichi (BKR) dan beriladi. Bunda, tahminan bir hil oraliqda yu.i. toki oshirilib, barcha o'lchov asboblari ko'rsatkichlari yozib olinadi. Shundan so'ng yu.i. tavsiflari: yu.i. toki I_0 , yu.i. quvvati va yu.i. quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_0$ ning kuchlanishga bog'liqligi (1.30-rasm) quriladi.



1.30-rasm. Transformator yu.i. tavsiflari

Bu tavsiflarning egri chiziqli ekanligi magnit o'zakning to'yingan holatiga bog'liq bo'lib, kuchlanish U_1 ning ma'lum qiymatidagina yaqqol tus oladi.

Uch fazali transformatorning yu.i. tajribasi bajarilishida birlamchi chulg'am U_1 kuchlanishi biror uch fazali kuchlanish rostlagichi UFKR (1.29,b-rasm) yordamida boshqariladi. Yuksiz ishlash tavsiflari uchchala faza tok va kuchlanishlarining o'rtacha qiymatlari uchun quriladi

$$I_0 = (I_{0A} + I_{0B} + I_{0C})/3; \quad (1.41)$$

$$U_1 = (U_{1A} + U_{1B} + U_{1C})/3. \quad (1.42)$$

Bir fazali transformator uchun quvvat koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0}; \quad (1.43)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P'_0 + P''_0}{3U_1 I_0} = \frac{P_0}{3U_1 I_0}, \quad (1.44)$$

Bunda P'_0 va P''_0 - bir fazali vattmetrlarning ko'rsatkichlari; U_0 va I_0 - kuchlanish va toklarning faza qiymatlari.

Yuksiz ishlash tajribasi natijasi bo'yicha quyidagilar aniqlanadi:
transformatsiyalash ko'effitsienti

$$k = U_1/U_2 = w_1/w_2;$$

kuchlanish nominal U_{1nom} bo'lgandagi yu.i. toki (nominalga nisbatan protsentda)

$$i_0 = (I_{0nom}/I_{1nom})100\%. \quad (1.45)$$

yu.i. quvvat isrofi R_0 .

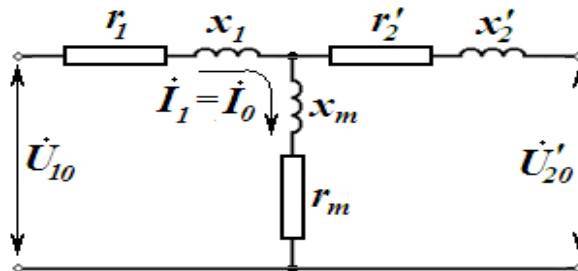
Uch fazali transformatorlarning yu.i. rejimida fazalardagi toklar teng emas va nosimmetrik tizimni tashkil qiladilar (§ 1.8ga qarang), shu sababli quvvat R_0 ni ikki vattmetr usuli (1.29,b-rasmda keltirilganidek) yoki uch vattmetr usuli yordamida o'lchash zarur. Yu.I. rejimida 1.31-rasmdagi almashtirish sxemasining birlamchi shoxobchasi kuchlanishlar pasayuvi $I_0(r_1 + jx_1)$ juda kichik miqdor bo'lganligi sababli, sezilarli xatoga yo'l qo'ymasdan, magnitlovchi shoxobcha parametrlarini hisoblashda quyidagi ifodalarni qo'llash mumkin:

$$z_m = U_1 / I_0; \quad (1.46)$$

$$r_m = z_m \cos \varphi_0; \quad (1.47)$$

$$x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2} \quad (1.48)$$

Aksariyat, umum mo'ljal katta va o'rta quvvatli transformatorlarda nominal birlamchi kuchlanish bo'lganda yu.i. tokining miqdori $i_0 = 10 \div 0,6\%$ dan oshmaydi. Agar nominal kuchlanish U_{1nom} ga mos bo'lgan amaldagi yu.i.toki I_{0nom} va yu.i. quvvati P_{0nom} katalogdagi shu transformator ko'rsatkichlaridan katta bo'lsa, bu shu transformatorning nosozligidan darak beradi: chulg'amlarda qisqa tutashgan o'ramlar mavjudligi yoki magnit o'zak plastinalarida tutashliklar borligidan darak beradi.



1.31-rasm. Transformatorning yuksiz ishlash almashtirish sxemasi

Misol 1.4. Yuqorida 1.30-rasmda uch fazali transformatorning yu.i. tavsiflari keltirilgan bo'lib, pasport qiymatlari quyidagicha: $S_{nom} = 100 \text{ kV} \cdot \text{A}$; $U_{1nom}/U_{2nom} = 6,3/0,22 \text{ kV}$; chulg'amlar ulanish Y/Y. Transformator almashtirish sxemasi magnitlovchi shoxobchasining parametrlari z_m , r_m va x_m xamda QK chulg'ami faza kuchlanishi $U_{2f} = 127 \text{ V}$ nominal bo'lganda yu.i. toki aniqlansin.

Echish. Magnitlovchi shoxobcha to'la qarshiligi (1.46) dan

$$z_m = U_{2f} / I_0 = 127 / 13,5 = 9,41 \text{ OM};$$

Magnitlovchi shoxobcha aktiv qarshiligi (1.47) dan ,

$$r_m = z_m \cos \varphi_{0nom} = 9,41 \cdot 0,11 = 1,03 \text{ OM};$$

Magnitlovchi shoxobcha induktiv qarshiligi (1.48) dan

$$x_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2} = \sqrt{9,41^2 - 1,03^2} = 9,18 \text{ Ом.}$$

Yuksiz ishlash toki (1.45) dan

$$i_0 = (I_0 / I_{2\text{НОМ}})100 = (13,5 / 264)100 = 5,11\%,$$

bunda tokning QK chulg'amidagi nominal tok

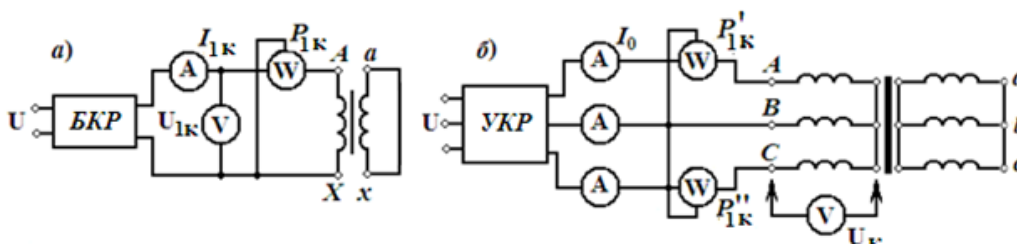
$$I_{2\text{НОМ}} = S_{\text{НОМ}} 10^3 / (\sqrt{3} U_{2\text{НОМ}}) = 100 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 220) = 264 \text{ А.}$$

bunda $U_{2\text{НОМ}}$ — ikkilamchi kuchlanishning liniya qiymati.

Qisqa tutashuv tajribasi. Transformatorning qisqa tutashuvi (q.t.) shunday rejimki, unda ikkilamchi chulg'am klemmalari qisqa tutashgan bo'lib ($z_n=0$), bu chulg'amdagi kuchlanish nolga teng bo'ladi ($U_2=0$). Eksploatatsiya sharoitida, transformatorga to'la kuchlanish $U_{1\text{НОМ}}$ ulanganda, qisqa tutashuv avariya rejimi hisoblanadi va transformator uchun katta xavf tug'diradi.

Q.t. tajribasi o'tkazishda bir fazali transformatorning QK chulg'ami qisqa tutashtiriladi (1.32,a-rasm), YuK chulg'amiga esa pasaytirilgan kuchlanish beriladi, kuchlanish rostlagichi bilan UK.nom gacha asta oshirib, birlamchi ($I_{1k}=I_{1\text{НОМ}}$) va ikkilamchi ($I_{2k}=I_{2\text{НОМ}}$) chulg'amlardagi toklar nominal qiymatlarigacha etkaziladi. Shu tariqa o'lchov asboblari ko'rsatkichlari yozib olinadi va q.t. tavsiflari: q.t. toki I_{1k} , q.t. quvvati R_k , va quvvat koeffitsientining kuchlanishga bo'lgan bog'liqligi quriladi (1.33-rasm).

Uch fazali transformator bo'lganda tajriba 1.32,b-rasmda keltirilgan sxema bo'yicha bajariladi, q.t. kuchlanishi va q.t. toki uchchala faza ko'rsatkichlarining o'rtacha arifmetik qiymatlaridan olinadi



1.32-rasm. Bir (a) va uch fazali (b) transformator qisqa tutashuv tajribasi sxemasi

$$U_k = (U_{kA} + U_{kB} + U_{kC}) / 3; \quad (1.49)$$

$$I_{1k} = (I_{kA} + I_{kB} + I_{kC}) / 3. \quad (1.50)$$

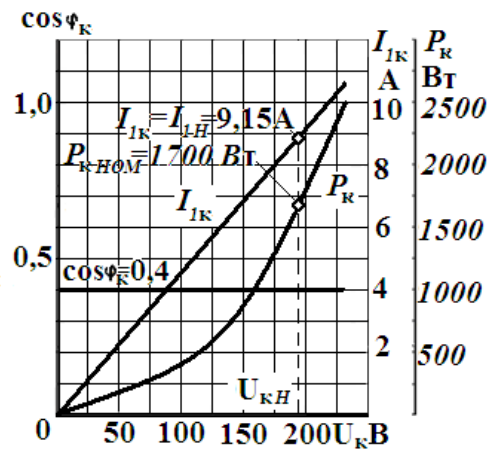
Q.t. dagi quvvat koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi

$$\cos \phi_k = R_k / (3 U_k I_{1k}), \quad (1.51)$$

bunda uch fazali transformator aktiv quvvati ikki vattmetr usuli bilan o'lchanadi. Unda q.t. quvvati quyidagicha bo'ladi

$$P_k = P'_k + P''_k. \quad (1.52)$$

Ushbu (1.52) tenglikda P'_k i P''_k — bir fazali vattmetrlarning ko'rsatkichlari, V_t .



1.33-rasm. Transformator q.t. tavsifi

Qisqa tutashuv tajribasida transformator chulgʻamlaridagi nominal tokni taʼminlaydigan kuchlanish qisqa tutashuv nominal kuchlanishi deyiladi va, aksariyat, nominal kuchlanishga nisbatan foizda hisoblanadi va transformator pasportida keltiriladi

$$u_k = \frac{U_K}{U_{1H}} 100\% \quad (1.53)$$

Kuchli transformatorlar uchun $u_k = (5-10) \cdot U_{1HOM}$, %.

Yuqorida keltirilgan (1.20) ga koʻra, magnit oʻzakdagi magnit oqim birlamchi kuchlanish U_1 ga proporsionaldir. Ammo bu kuchlanish q.t. vaqtida $10 \cdot U_{1HOM}$ %dan oshmasligi sababli magnit oqim ham juda kichik boʻladi. Bunday kichik magnit oqimni hosil qilish uchun shunchalar kichik magnitlovchi tok kerak boʻladiki, I_{1H} tokiga nisbatan uni eʼtiborga olmasa ham boʻladi. Shuning uchun qisqa tutashgan transformatorning toklar tenglamasida quyidagicha boʻladi almashtirish sxemasida esa magnitlovchi shoxobcha boʻlmaydi (1.34,a-rasm).

Bunday almashtirish sxemasi uchun kuchlanishlar tenglamasini quyidagicha yozish mumkin

$$\dot{U}_K = \dot{I}_{1K} (r_1 + r'_2) + j\dot{I}_{1K} (x_1 + x'_2), \quad (1.55)$$

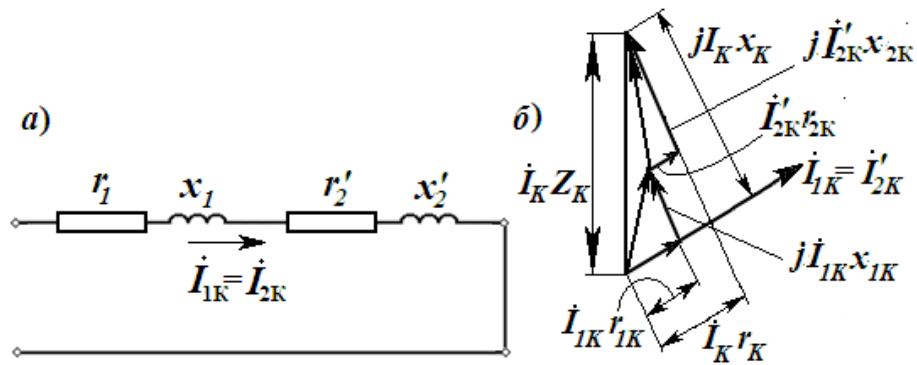
$$\text{yoki} \quad \dot{U}_K = \dot{I}_{1K} r_K + j\dot{I}_{1K} x_K = \dot{I}_{1K} Z_K. \quad (1.56)$$

Qisqa tutashuvda transformatorning toʻliq qarshiligi

$$Z_K = r_K + jx_K, \quad (1.57)$$

bunda r_K va x_K — qisqa tutashuv qarshiligi Z_K ning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari.

Transformatorning qisqa tutashuv toklar (1.54) va kuchlanishlar (1.55) tenglamalaridan foydalanib, q.t. tajribasi uchun vektor diagrammasini quramiz (1.34,b-rasm).



1.34-rasm. Transformatorning qisqa tutashuv almashtirish sxemasi (a) va vektor diagrammasi (b)

$$\dot{I}_{1K} = -\dot{I}'_{2K}, \quad (1.54)$$

Diagramma qurishni kuchlanish $\dot{U}_K = \dot{I}_{1K} Z_K$ vektoridan boshlaymiz. So'ngra $\dot{U}_K$ kuchlanishga nisbatan ϕ_K burchagi ostida tok vektori $I_{1K} = -I_{2K}$ ni o'tkazamiz. Birlamchi, so'ngra ikkilamchi chulg'amlardagi kuchlanishlar pasayuvi $\dot{I}_{1K} r_{1K}$, $j \dot{I}_{1K} x_{1K}$ va $\dot{I}_{2K} r_{2K}$, $j \dot{I}_{2K} x_{2K}$ vektorlarini qo'yib, AOV to'g'ri burchakli uchburchakni hosil qilamiz. Bu uchburchak qisqa tutashuv uchburchagi deyiladi. Uchburchakning tomonlari quyidagilarga teng bo'ladi

$$\overline{OB} = \dot{I}_{1K} r_1 + \dot{I}'_{2K} r'_2 = \dot{I}_{1K} r_K = \dot{U}_{K,a};$$

$$\overline{BA} = \dot{I}_{1K} j x_1 + j \dot{I}'_{2K} x'_2 = \dot{I}_{1K} x_K = \dot{U}_{K,p};$$

$$\overline{OA} = \dot{I}_{1K} Z_K = \dot{U}_K.$$

bunda

$$U_K = \sqrt{U_{K,a}^2 + U_{K,p}^2}, \quad (1.58)$$

bu erda $U_{K,a}$ $U_{K,r}$ — qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari, V.

Qisqa tutashuvdagi almashtirish sxemasining to'liq, aktiv va induktiv qarshiliklari quyidagicha bo'ladi

$$Z_K = U_K / I_{1K}; \quad (1.59)$$

$$r_K = Z_K \cos \varphi_K; \quad (1.60)$$

$$x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2} \quad (1.61)$$

Aniqlangan qarshiliklar r_k va Z_k , quvvat P_k , quvvat isrofi $\cos \phi_k$ miqdorlari ishchi harorat +750S ga keltirish kerak

$$r_{k75} = r_k [1 + \alpha(75^\circ - \Theta_1)]; \quad (1.62)$$

$$Z_{k75} = \sqrt{r_{k75}^2 + x_k^2}; \quad (1.63)$$

$$\cos \varphi_{k75} = r_{k75} / Z_{k75}; \quad (1.64)$$

$$u_{k75} = (I_{k75} Z_{k75} / U_{1HOM}) 100. \quad (1.65)$$

Bu erda r_k - chulg'am harorati θ_1 bo'lgan qisqa tutashuv aktiv qarshiligi;

$\alpha=0,004$ - mis va alyuminiy uchun qizishdan kengayish koeffitsienti.

Qisqa tutashuv tajribasida asosiy magnit F_{max} maydoni birlamchi chulg'amda nominal kuchlanish bo'lgandagi magnit oqimning birnecha foizini tashkil etganligi sababli, q.t. dagi magnit isroflarini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Demak, transformatorning q.t. dagi olayotgan P_k quvvati to'laligicha chulg'amlardagi elektr isroflarga sarflanar ekan

$$P_k = I_{1k}^2 r_1 + I_{1k}^2 r'_2 = I_{1k}^2 r_k.$$

Bundan so'ng, q.t. quvvati P_k ishchi harorat $+75^\circ\text{S}$ ga keltiriladi

$$P_{k75} = 3I_{1k}^2 r_{k75}. \quad (1.66)$$

Misol 1.5. Quvvati $100 \text{ kV}\cdot\text{A}$, liniya kuchlanishlari $6,3/0,22 \text{ V}$, chulg'amlar ulanishi Y/Y (kuchlanish QK chulg'amlarigi ulangan) uch fazali transformator q.t. tajribasi o'lchov asboblari natijalari 1.1-jadvalda keltirilgan. Q.T. tavsiyalarini quring:

q.t. toki I_{1k} ning kuchlanish U_{1k} ga bog'liqligi;

q.t. quvvati P_k ning kuchlanish U_{1k} ga bog'liqligi;

q.t. quvvati koeffitsienti $\cos\varphi_k$ ning kuchlanish U_{1k} ga bog'liqligi.

Echish. Quyida 1.1-jadvalda q.t. tajribasi natijasida olingan parametrlarning $I_k = I_{1HOM} = S_{HOM} / (\sqrt{3}U_{1HOM}) = 100 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 9,15 \text{ A}$. bo'lgandagi faza nominal q.t. kuchlanishi $U_{1HOM} = 190 \text{ B}$ ga mos keluvchi qiymatlari keltirilgan.

1.1-jadval

No izmereniya	U _{kA} , B	U _{kB} , B	U _{kC} , B	I _{kA} , A	I _{kB} , A	I _{kC} , A	P _k , Bt
1	64	63	62	2,9	3,0	3,1	190
2	105	105	103	5,1	5,0	5,0	513
3	147	146	145	7,2	7,0	7,2	1040
4	191	189	190	9,2	9,2	9,1	1780

Uch faza uchun q.t.dagi faza kuchlanishlarinig o'rtacha qiymatlari (1.49)dan

$$U_{k.nom} = (191 + 189 + 190) / 3 = 190 \text{ V}.$$

Uch faza uchun q.t. tokining o'rtacha qiymati (1.50)dan

$$I_{1k} = (9,2 + 9,2 + 9,1) / 3 = 9,15 \text{ A}.$$

Q.t. tajribasidan transformator almashtirish sxemasi parametrlari: - (1.59) dan q.t. to'la qarshiligi

$$z_k = U_{k.nom} / I_{1k} = 190 / 9,15 = 20,8 \text{ Om};$$

- Q.t. quvvati ifodasidan $P_k = I_{1k}^2 r_k$ q.t. aktiv qarshiligini aniqlaymiz

$$r_k = P_k / (3 I_{1k}^2) = 1780 / (3 \cdot 9,15^2) = 7,1 \text{ Om};$$

- Q.t. induktiv qarshiligi (1.61) dan

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{20,8^2 - 7,1^2} = 19,6 \text{ Om}$$

Tajribalar o'tkazilayotganda transformator chulg'amlarining harorati $\theta_1 = 20^\circ\text{S}$, deb hisoblab, hosil qilingan qiymatlarni chulg'amlar qizishi natijasida hosil bo'lgan harorat $+750 \text{ C}$ ga keltiramiz: q.t. aktiv qarshiligi (1.62) ifodadan aniqlanadi

$$r_{k75} = 7,1 [1 + 0,004(75 - 20)] = 8,6 \text{ Om};$$

q.t. to'la qarshiligi

$$z_{k75} = \sqrt{8.6^2 + 19.6^2} = 21.50\Omega;$$

q.t. quvvati (1.64) ifodadan aniqlanadi

$$R_{k75} = 3 I_{1k} z_{k75} = 3 \cdot 9.152 \cdot 8.6 = 2160 \text{ Vt};$$

Quvvat koefitsienti

$$\cos \varphi_{k75} = r_{k75} / z_{k75} = 8.6 / 21.5 = 0.40;$$

q.t. kuchlanishi (1.65)dan

$$u_{k75} = (I_{1k} z_{k75} / U_{lmm}) 100 = (9.15 \cdot 21.5 \cdot \sqrt{3} / 6300) 100 = 5.4\%.$$

Shunday tartibda q.t. tokining boshqa qiymatlari uchun q.t. parametrlarini hisoblaymiz. Hisoblashlar natijalarini 1.2-jadvalga kiritamiz, so'ngra qisqa tutashuv tavsiflarini quramiz (1.33-rasm).

1.2-jadval

№ izmereniya	U _k , V	I _{1k} , A	R _{k75} , VT	cosφ _{k75}
1	65	3	230	0,40
2	108	5	620	0,40
3	152	7	1260	0,40
4	190	9,15	2160	0,40

4-Mavzu. Transformator chulg'amlaridagi EYK va toklar

Transformator magnit o'zagining asosiy o'zgaruvchisi F magnit oqimi, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'ramlari w₁ va w₂ bilan ilashib (1.1-rasm), ularda EYUKlarni induktivlaydi

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

Faraz qilaylik, magnit oqim F vaqtning sinusoidal funksiyasi, ya'ni

$$\Phi_{\max} = \Phi_{\max} \cdot \sin \omega t \quad (1.4)$$

bunda $\Phi_{\max}$ — magnit oqimining maksimal qiymati.

U holda (1.4) ni e₁ ifodaga qo'yib, uni differensiallasak, quyidagi hosil bo'ladi

$$e_1 = -\omega w_1 \Phi_{\max} \cdot \cos \omega t. \quad (1.5)$$

Biroq, $\cos \omega t = -\sin(\omega t - \pi / 2)$ bo'lganligi uchun

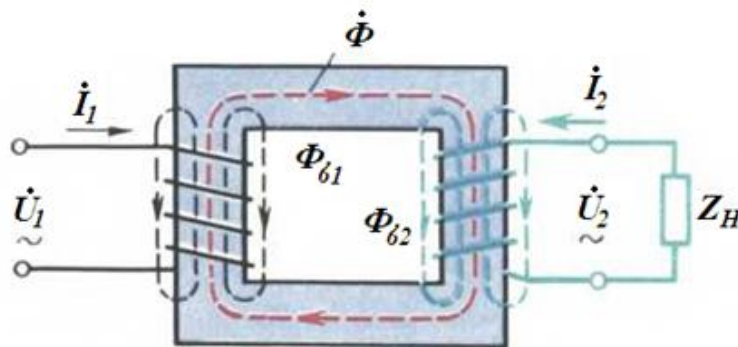
$$e_1 = -\omega w_1 \Phi_{\max} \cdot \sin(\omega t - \pi / 2) = -E_{1\max} \cdot \sin(\omega t - \pi / 2). \quad (1.6)$$

Shunga o'xshash

$$e_2 = -\omega w_2 \Phi_{\max} \cdot \sin(\omega t - \pi / 2) = -E_{2\max} \cdot \sin(\omega t - \pi / 2) \quad (1.7)$$

Ifodalar (1.6) va (1.7) dan shuni ko'rish mumkinki, EYUK e₁ va e₂ fazasi bo'yicha F magnit oqimdan $\pi / 2$ burchakka orqada qolmoqda. EYUKning maksimal qiymati

$$E_{1\max} = \omega w_1 \Phi_{\max}; E_{2\max} = \omega w_2 \Phi_{\max}. \quad (1.8)$$



1.14-rasm. Bir fazali transformatorida magnit maydonlar

Bunda $E_{1\max}$ ni $\sqrt{2}$ ga bo'lsak va (1.8)ga qo'ysak, birlamchi EYUKning ta'sir etuvchi (effektiv) qiymatini topamiz (V).

$$E_1 = E_{1\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) w_1 f \Phi_{\max} = 4,44 w_1 f \Phi_{\max}, \quad (1.9)$$

shunga o'xshash, ikkilamchi chulg'am EYUKi

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_{\max} \quad (1.10)$$

QK chulg'ami EYUKning YUK chulg'ami EYUKga nisbati transformatsiyalash koeffitsienti deyiladi

$$k = E_1 / E_2 = w_1 / w_2 \quad (1.11)$$

Amaliy hisoblashlarda transformatsiyalash koeffitsienti ma'lum aniqlikda QK chulg'ami kuchlanishining YUK chulg'ami kuchlanishiga nisbati olinadi: $k \approx U_1 / U_2$.

Transformator chulg'amlaridagi toklar I_1 va I_2 asosiy magnit oqim F dan tashqari, har biri faqat o'zining chulg'amlari o'ramlari bilan ilashuvchi tarqoq magnit oqimlarini F_{61} va F_{62} (1.14-rasm) va ularda tarqoq EYUK larni hosil qiladilar. Bu EYUKlar birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarda quyidagicha bo'ladilar:

$$e_{61} = -L_{61} (di / dt); e_{62} = -L_{62} (di / dt),$$

bunda L_{61} va L_{62} - ushbu chulg'amlarning tarqoq induktivliklari.

Tarqoq magnit oqimlar aksariyat magnit singdiruvchanligi doimiy bo'lgan nomagnit muxitlarda (havo, moy, mis) tutashganligi sababli, ular induktivliklari L_{61} i L_{62} doimiy deb hisoblash mumkin.

Tarqoq EYUKlarning ta'sir etuvchi qiymatlari mazkur chulg'amlardagi toklarga proporsional:

$$E_{\sigma 1} = -j \dot{I}_1 x_1; E_{62} = -j \dot{I}_2 x_2, \quad (1.12)$$

bunda x_1 va x_2 - mos ravishda, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning tarqoq induktiv qarshiliklari, Ω (ushbu ifodalarda manfiy belgi shu EYUKlarning tarqoq reaktivligi ekanini ko'rsatadi).

Shunday qilib, transformatorning har bir chulg'amida ikkitadan EYUK induktivlanar ekan: asosiy magnit maydon F dan EYUK va tarqoq magnit maydon (F_{61} birlamchi chulg'amda va F_{62} ikkilamchi chulg'amda) EYUKlari.

Transformatorning tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_1$ ga ulangan birlamchi chulg'ami uchun, birlamchi chulg'am aktiv qarshiligi r_1 da hosil bo'lgan kuchlanishlar pasayuvini e'tiborga

olib, Kirxgofning ikkinchi qonuni uchun kuchlanishlar tenglamasi quyidagicha yoziladi (Uning tepasidagi nuqta vektor qiymatni belgilash uchun qo'yilgan)

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{61} = \dot{I}_1 r_1$$

yoki, EYUK $\dot{E}_1$ va $\dot{E}_{61}$ ni tenglamaning o'ng tomoniga o'tkazib va tarqoq EYUKlarni tarqoq induktivlik orqali ifodalab x_1 , transformator birlamchi zanjirining kuchlanishlar tenglamasini hosil qilamiz

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j \dot{I} x_1 + \dot{I}_1 r_1 \quad (1.13)$$

Birlamchi chulg'amda asosiy magnit oqim F induktivlagan EYUK E_1 , o'zinduksiya EYUK ekanligini ko'rsatadi, shu sababli birlamchi chulg'amga tarmoqdan keltirilgan kuchlanish $\dot{U}_1$ ga nisbatan teskari fazada bo'ladi.

Aksariyat $j \dot{I} x_{11}$ induktiv va aktiv $\dot{I}_1 r_1$ kuchlanishlar pasayuvi boshqa qiymatlarga nisbatan juda kichik miqdordir, shu sababli ma'lum aniqlik bilan aytish mumkinki, transformatorga keltirilgan tashqi kuchlanish EYUK $\dot{E}_1$ bilan muvozanatlanadi, ya'ni

$$\dot{U}_1 \approx -\dot{E}_1 \quad (1.14)$$

Transformatorning yuklanish qarshiligi ulangan ikkilamchi chulg'ami uchun kuchlanishlar tenglamasi quyidagicha yoziladi

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_{62} = \dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 Z_H \quad (1.15)$$

ya'ni, ikkilamchi chulg'amda induktivlangan EYUKlar yig'indisi $\dot{E}_2 + \dot{E}_{62}$ kuchlanishlar pasayuvi yig'indisi $\dot{I}_2 r_2 + \dot{I}_2 Z_H$ bilan muvozanatlanadi. Bunda r_2 - ikkilamchi chulg'am aktiv qarshiligi. Yuklanishdagi kuchlanishlar pasayuvi $\dot{I}_2 Z_H$ transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishni ifodalaydi

$$\dot{I}_2 Z_H = \dot{U}_2 \quad (1.16)$$

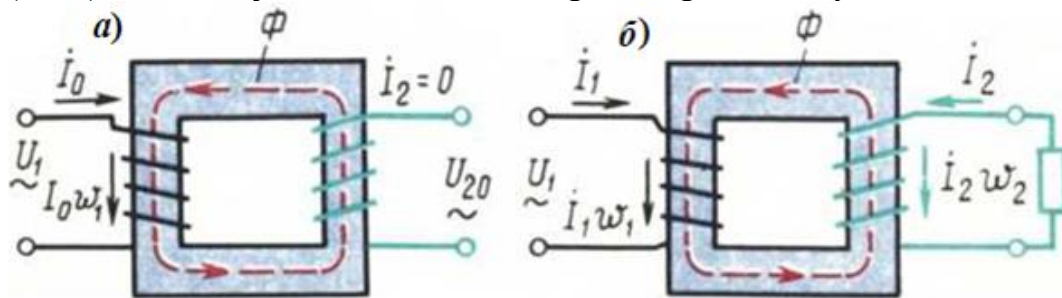
Ushbu (1.15) tenglamani birlamchi chulg'am EYUK tenglamasiga o'xshash (1.13) holatga keltiramiz. Bunda (1.12) va (1.16) ifodalarni e'tiborga olib, transformatorning ikkilamchi zanjiri kuchlanishlar tenglamasini hosil qilamiz

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j \dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 = \dot{I}_2 Z_H \quad (1.17)$$

Bu tenglamadan shuni ko'rish mukinki, yuklanishga ulangan transformator chiqish klemmasidagi kuchlanish shu chulg'am EYUKdan ikkilamchi chulg'am qarshiliklari $r_2 + jx_2$ dagi kuchlanishlar pasayuviga farq qilar ekan.

1.5. Magnit yurituvchi kuch va tok tenglamalari

Faraz qilaylik, transformator yuksiz ishlash rejimida (1.15,a-rasm) ishlayapti, ya'ni uning birlamchi chulg'ami klemmalariga U_1 kuchlanish ulangan, ikkilamchi chulg'am uzilgan ($I_2=0$). Ushbu rejimda birlamchi chulg'amdagi I_0 toki yuksiz ishlash toki deyiladi.



1.15-rasm. Bir fazali transformator yuksiz ishlash (a) va yuklanish (b) rejimlari

Bu tok yordamida hosil qilingan magnit yurituvchi kuch (MYUK) $I_0 w_1$ magnit o'zakda asosiy magnit oqimni hosil qiladi, uning maksimal qiymati quyidagiga teng

$$\Phi_{\max} = \sqrt{2} I_0 w_1 / R_m, \quad (1.18)$$

bunda R_m - magnit o'zakning magnit qarshiligi.

Ikkilamchi chulg'amni ZN yuklanishga ulasak (1.15,b-rasm) unda I_2 toki hosil bo'ladi. Bunda birlamchi chulg'amdagi tok I_1 miqdorgacha ortadi.

Endi magnit oqim $F_{\max}$ $I_1 w_1$ va $I_2 w_2$ MYUKlarning ta'sirlari bilan hosil bo'ladi

$$\Phi_{\max} = \left(\sqrt{2} / R_m \right) (I_1 w_1 + I_2 w_2). \quad (1.19)$$

Bu magnit oqimni (1.19) dan aniqlash mumkin

$$\Phi_{\max} = E_1 / (4,44 w_1 f),$$

yoki, $U_1 \approx (-E_1)$ ekanligini e'tiborga olib, quyidagini olamiz

$$\Phi_{\max} \approx U_1 / (4,44 w_1 f). \quad (1.20)$$

Ifoda (1.20) dan ko'rinadiki, asosiy magnit maydon F qiymati transformator yuklanishiga bog'liq emas ekan, chunki kuchlanish U_1 o'zgarmas deb qabul qilindi. Biroq, shuni nazarda tutish zarurki, bu hisoblashlar tahminiy va yuklanishning nominal miqdordan oshmaydigan holatlariga taalluqlidir. Buning sababi shundaki, F ning o'zgarmasligi $\dot{U}_1 \approx (-\dot{E}_1)$ tenglikka asoslangan va unda birlamchi zanjir kuchlanishlar pasayuvi e'tiborga olinmagan [(1.13) bilan solishtiring].

Qabul qilingan $\Phi = \text{const}$ ekanligi (1.18) va (1.19) ifodalarni tenglashtirish imkonini beradi

$$\left(\sqrt{2} / R_m \right) \dot{I}_0 w_1 = \left(\sqrt{2} / R_m \right) (\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2),$$

natijada transformator MYUK tenglamasini hosil qilamiz

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2. \quad (1.21)$$

Ifoda (1.21) ni o'zgartirib, birlamchi chulg'am $\dot{I}_1 w_1$ MYUK tenglamasini ikki tashkil etuvchilarning yig'indisi sifatida yozish mumkin

$$\dot{I}_1 w_1 = \dot{I}_0 w_1 + (-\dot{I}_2 w_2).$$

MYUK tenglamasining $\dot{I}_0 w_1$ tashkil etuvchisi transformator magnit o'zagida asosiy magnit maydoni F ni hosil qiladi, $-\dot{I}_2 w_2$ tashkil etuvchisi esa ikkilamchi chulg'am MYUK $\dot{I}_2 w_2$ ni muvozanatlaydi.

Transformator ikkilamchi chulg'ami MYUK $\dot{I}_2 w_2$ ning asosiy magnit maydon F ga ta'sirini Lens qoidasi bo'yicha tushuntirish mumkin. Bu qoidaga ko'ra chulg'amda induktivlangan EYUK shu chulg'amda shunday tok hosil qiladiki, u o'zining magnit ta'siri bilan EYUK ni hosil qilgan birlamchi sababga qarshi yo'naladi. EYUK $\dot{E}_2$ ni hosil qilgan birlamchi sabab asosiy magnit maydon F dir. Shuning uchun ikkilamchi chulg'amdagi tok $\dot{I}_2$ magnit oqim F ga qarama-qarshi yo'nalgan, ya'ni u bilan qarama-qarshi fazada bo'lgan va uni kamaytirishga yo'nalgan MYUK $\dot{I}_2 w_2$ ni hosil qiladi. Agar ikkilamchi chulg'am w_2 qisqa tutashgan yoki sof induktiv qarshilikki ulangan bo'lganda edi, u holda $\dot{I}_2$ tok EYUK $\dot{E}_2$ fazasidan $\Psi_2 = 90^\circ$ ga orqada qolgan va MYUK $\dot{I}_2 w_2$ butkul magnit o'zakka nisbatan magnitsizlovchi bo'lar edi.

Real vaziyatlarda esa ikkilamchi chulg'am yuklanish qarshiligi $Z_H = r_n \pm \pm jx_H$ ga ulangan bo'ladi, shu bilan birga, uning o'zi ham r_2 aktiv qarshilikka ega. Shuning uchun $\dot{I}_2$ toki va $\dot{E}_2$ EYUK orasidagi faza siljishi 90° dan farq qiladi va asosiy magnit maydon F ga $\dot{I}_2 w_2$ MYUKning hammasi ta'sir etmay, faqat uning reaktiv tashkil etuvchisi ta'sir etadi.

Aktiv-induktiv yuklanishda yuk toki $\dot{I}_2$ EYUK $\dot{E}_2$ dan Ψ_2 burchakka orqada qoladi, MYUK $\dot{I}_2 w_2$ o'zining reaktiv (induktiv) tashkil etuvchisi $\dot{I}_{2p} w_2$ bilan transformator magnit o'zagiga magnitsizlovchi ta'sir etadi

$$\dot{I}_{2p} w_2 = \dot{I}_2 w_2 \sin \Psi_2,$$

bunda $\dot{I}_{2p} = \dot{I}_2 \sin \Psi_2$ — yuklanish tokining reaktiv tashkil etuvchisi.

1.16, a-rasmda transformatorning aktiv-induktiv yuklanishi uchun ikkilamchi chulg'am MYUK vektor diagrammasi keltirilgan. Diagrammada ikkilamchi chulg'am $\dot{E}_2$ EYUK vektori fazasi bo'yicha asosiy magnit oqimi $F_{\max}$ vektoridan 90° ga, ikkilamchi chulg'am $\dot{I}_2 w_2$ MYUK fazasi bo'yicha EYUK dan Ψ_2 burchakka orqada qoladi. Bu diagrammalardan ko'rinadiki, ikkilamchi chulg'am MYUKning reaktiv (induktiv) $\dot{I}_{2p} w_2$ tashkil etuvchisi asosiy magnit oqim $F_{\max}$ bilan qarama-qarshi fazada, ya'ni transformator magnit o'zagiga magnitsizlovchi ta'sir etar ekan.

Transformator ishining tahlili shuni ko'rsatadiki, transformator nominalga yaqin yuklanishida asosiy magnit oqim F qiymati sezilarli o'zgarar ekan va avval qabul qilingan $F \approx \text{const}$ shart asosli ekan. Chunki reaktiv tashkil etuvchisi magnit o'zakka magnitsizlovchi ta'sir etadigan ikkilamchi chulg'am MYUKning $\dot{I}_2 w_2$ birlamchi chulg'am MYUK bilan kompensatsiyalanadi

$$(-\dot{I}_2 w_2) = \dot{I}_1 w_1 - \dot{I}_0 w_1. \quad (1.22)$$

Transformator yuk toki $\dot{I}_2$ o'zgarishida ikkilamchi chulg'am MYUK $\dot{I}_2 w_2$ o'zgaradi, bu esa $-\dot{I}_2 w_2$ tashkil etuvchi hisobiga birlamchi chulg'am MYUK $\dot{I}_1 w_1$ ning o'zgarishiga olib keladi. YUksiz ishlash MYUK $\dot{I}_0 w_1$ tashkil etuvchisi qiymati esa o'zgarishsiz qoladi, lekin transformator asosiy magnit maydonini $F \approx \text{const}$ hosil qilish uchun etarli bo'ladi.

Transformator aktiv-sig'im yuklanishli bo'lganda yuklanish $\dot{I}_2$ toki EYUK $\dot{E}_2$ dan fazasi bo'yicha Ψ_2 burchakka ilgarilab ketganda, MYUK $\dot{I}_{2p} w_2$ reaktiv (sig'im) tashkil etuvchisi asosiy magnit maydon F_{max} fazasi bo'yicha mos keladi va transformator magnit o'zagini magnitlaydi (1.16-rasm). Bunday holda aktiv-induktiv yuklanishdagidek [(1.22)ga qarang], birlamchi MYUK $(-\dot{I}_2 w_2)$ tashkil etuvchisi ikkilamchi MYUK $\dot{I}_2 w_2$ ta'sirini kompensatsiyalaydi.

MYUK tenglamasi (1.21) ni o'ramlar soni w_1 ga bo'lsak

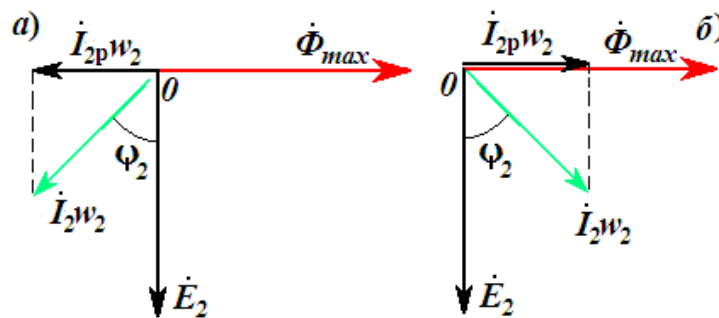
$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 w_2 / w_1 \quad \text{yoki} \quad \dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 \quad (1.23)$$

bunda $\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 w_2 / w_1$, — birlamchi chulg'am o'ramlar soniga keltirilgan ikkilamchi chulg'amning yuk toki.

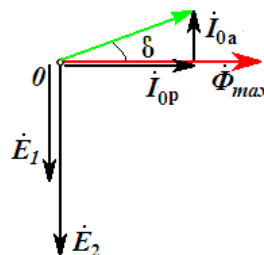
Ifoda (1.23)ni o'zgartirib, transformator toklar tenglamasini hosil qilamiz

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2). \quad (1.24)$$

Bu tenglamadan birlamchi tok $\dot{I}_1$ ni ikki tashkil etuvchilarning yig'indisi deb qarash mumkin: magnit o'zakda asosiy magnit oqimini hosil qilish uchun etarli bo'lgan va MYUK $\dot{I}_0 w_1$ ni hosil qiladigan $\dot{I}_0$ toki, hamda ikkilamchi MYUK $\dot{I}'_2 w_1$ ni hosil qilgan tok $\dot{I}'_2$.



1.16-rasm. Aktiv-induktiv (a) va aktiv-sig'im (b) yuklanishli transformator vektor diagrammasi



1.17-rasm. Yuksiz ishlash tokini tashkil etuvchilarga ajratish

Birlamchi tok tashkil etuvchilarining bunday ta'sir etishi shunga olib keladiki, yuk toki I_2 ning xar qanday o'zgarishi unga nisbatan teskari fazada bo'lgan birlamchi tok I_1 ning o'zgarishiga olib keladi.

Asosiy magnit oqimi F o'zgaruvchan bo'lgani uchun, transformator magnit o'zagi doimiy qayta magnitlanishda bo'ladi. Shu sababli magnit o'zakda gisterezis va uyurma toklardan magnit isroflari bo'ladi. Magnit isroflarning quvvati yuksiz ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisiga proporsional bo'ladi. Shunday qilib yuksiz ishlash toki ikki tashkil etuvchiga ega: magnitlovchi tok I_{0r} ni aglatuvchi reaktiv tashkil etuvchi va magnit isroqlari tufayli sodir bo'luvchi aktiv IOA tashkil etuvchiga

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2}. \quad (1.25)$$

Aksariyat yuksiz ishlash toki IO ning aktiv tashkil etuvchisi IOA deyarli katta emas $IOA = 0,1 \cdot IO$ va u yuksiz ishlash tokiga sezilarli ta'sir etkaza olmaydi.

1.17-rasmda transformator yuksiz ishlash rejimidagi vektor diagramma keltirilgan. Unda yuksiz ishlash $\dot{I}_0$ toki va uning tashkil etuvchilari $\dot{I}_{0a}$ va $\dot{I}_{0p}$ ko'rsatilgan. Asosiy magnit oqim $\dot{\Phi}_{max}$ fazasi bo'yicha yuksiz ishlash $\dot{I}_0$ tokidan δ burchakka orqada qoladi va uni magnit isroflari burchagi deyiladi. Aktiv tashkil etuvchi $\dot{I}_{0a}$ ortsa bu burchak ham ortadi. Katta va o'rta quvvatli transformatorlarda yuksiz ishlash toki nominal tokning 2-10% tashkil etadi. Shuning uchun nominal yuklanishga yaqin yuk rejimlarda tok IO ni e'tiborga olmasdan (1.22) ni quyidagicha yozish mumkin

$$I_1 / I_2 = w_2 / w_1, \quad (1.26)$$

yani, transformator chulg'amlaridagi toklar shu chulg'amlar o'ramlari soniga teskari proporsionaldir. Shu sababli QK chulg'amlari o'ramlar soni kichik va kesim yuzasi katta bo'lgan o'tkazgichlardan yasaladi, YUK chulg'amlari o'ramlari soni katta bo'ladi.

3-mavzu. Transformatorning ikkilamchi chulg'am elektr parametrlarini birlamchi chulg'am o'ramlar soniga keltirish.

Umumiy xolda transformator birlamchi chulg'amlari parametrlari ikkilamchi chulg'am parametrlaridan farq qiladi. Bu farq transformatsiyalash koeffitsienti katta bo'lganda yaqqol ko'rinadi. Bu holat hisoblash va vektor digrammalarni qurish ishlarini og'irlashtiradi, chunki bunda elektr mashinasining birlamchi chulg'am o'zgaruvchilarining vektorlari ikkilamchi chulg'amning bir nomli o'zgaruvchilari vektorlaridan keskin farq qiladi. Bu kamchiliklarni bartaraf etish uchun transformatorning barcha parametrlarini bir xil o'ramlar soniga, aksariyat birlamchi chulg'am o'ramlari soni w_1 ga keltiriladi. Shu maqsadda, transformator ikkilamchi chulg'amini tasvirlovchi barcha qiymatlar (EYUK, kuchlanish, tok va qarshiliklar)ni birlamchi chulg'am o'ramlar soniga nisbatan qayti hisoblaymiz (qisqasi, hayolan $w_1 = w_2$ deb hisoblanadi).

Shunday qilib, transformatsiyalash koeffitsienti $k = w_1 / w_2$ bo'lgan real transformator o'rniga, transformatsiyalash koeffitsienti $k = w_1 / w'_2 = w_1 / w_1 = 1$ bo'lgan hayoliy transformator olinadi. Bunday transformator - keltirilgan transformator deyiladi. Biroq, transformator ikkilamchi parametrlarini keltirish uning energetik ko'rsatkichlariga ta'sir etmasligi va keltirilgan transformator ikkilamchi chulg'amidagi fazalar siljishi real

transformatordagidan farq qilmasligi zarur. Masalan, real transformator ikkilamchi chulg‘ami elektromagnit quvvati $E_2 I_2$ keltirilgan transformator ikkilamchi chulg‘ami elektromagnit quvvatiga teng bo‘lishi zarur

$$E_2 I_2 = E'_2 I'_2 \quad (1.27)$$

Ikkilamchi chulg‘am keltirilgan toki $I'_2 = I_2 (w_2 / w_1)$ qiymatini (1.27)ga qo‘ysak, ikkilamchi keltirilgan EYUK ifodasini olamiz

$$E'_2 = \frac{I_2}{I'_2} E_2 = \frac{I_2}{I_2} \frac{w_1}{w_2} E_2 = E_2 \frac{w_1}{w_2}. \quad (1.28)$$

$U_2 I_2 \approx U'_2 I'_2$ bo‘lganligi uchun ikkilamchi chulg‘am keltirilgan kuchlanishi quyidagicha bo‘ladi

$$U'_2 \approx U_2 (w_1 / w_2). \quad (1.29)$$

Ikkilamchi chulg‘am aktiv qarshiligidagi quvvat isroflari tengligi $I_2^2 r_2 = I'^2_2 r'_2$ dan keltirilgan aktiv qarshilikni aniqlaymiz

$$r'_2 = r_2 (I_2 / I'_2)^2 = r_2 (w_1 / w_2)^2. \quad (1.30)$$

Ikkilamchi chulg‘am keltirilgan induktiv qarshiligini reaktiv quvvatlar $I_2^2 x_2 = I'^2_2 x'_2$ dan topamiz

$$x'_2 = x_2 (w_1 / w_2)^2. \quad (1.31)$$

Ikkilamchi chulg‘am keltirilgan to‘liq qarshiligi quyidagicha bo‘ladi

$$Z'_2 = r'_2 + jx'_2 = (r_2 + jx_2) (w_1 / w_2)^2 = Z_2 (w_1 / w_2)^2. \quad (1.32)$$

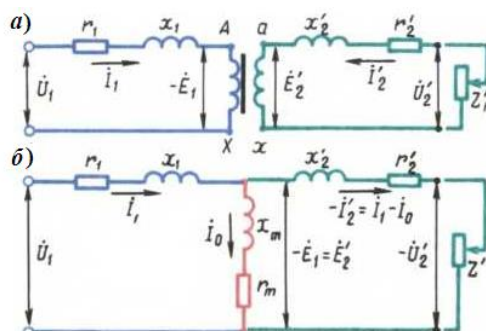
Ikkilamchi chulg‘am klemmlariga ulangan yuklanishning keltirilgan to‘liq qarshiligini (1.32) ga o‘xshash aniqlaymiz

$$Z'_H = Z_H (w_1 / w_2)^2. \quad (1.33)$$

Keltirilgan transformator uchun kuchlanish va toklar tenglamalari quyidagicha bo‘ladi

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (-\dot{E}_1) + \dot{I}_1 Z_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1; \\ \dot{U}'_2 &= \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 Z'_2 = \dot{E}'_2 - j\dot{I}'_2 x'_2 - \dot{I}'_2 r'_2; \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2). \end{aligned} \quad (1.34)$$

Ushbu tenglamalar transformator yuksiz ishlash rejimidan to nominal yuklanishigacha bo‘lgan diapazonda transformator parametrlari orasidagi bog‘lanishlarni ifodalaydilar.



1.18-rasm. Keltirilgan transformatorning ekvivalent (a) va almashtirish sxemalari (b)

Transformator elektromagnit jarayonlarining tadqiqoti va uni hisoblashni egillashtiradigan yana bir vosita, keltirilgan transformator almashtirish sxemasini qo'llashdir. 1.18-rasmda keltirilgan transformator ekvivalent sxemasi ko'rsatilgan. Unda r va x shartli ravishda chulg'amlardan tashqariga olib chiqilgan va ularga ketma-ket ulangan. Ilgari aniqlanganidek, keltirilgan transformatorida $k = 1$, shu sababli $-\dot{E}_1 = \dot{E}'_2$. Natijada sxemadagi A va a , xamda X va x nuqtalar, mos ravishda bir xil potensialga ega. Bu keltirilgan ikki juft nuqtalarni elektrik ulash natijasida transformatorning T-simon almashtirish sxemasini hosil qilish mumkin (1.18,b-rasm). Transformatorning elektrik almashtirish sxemasida birlamchi va ikkilamchi zanjirlar orasidagi magnit bog'lanish elektrik bog'lanish bilan almashtirildi.

Keltirilgan transformatorning almashtirish sxemasi (1.34)da ko'rsatilgan keltirilgan transformatorning barcha EYUK va toklar tenglamalarini qoniqtiradi va uch shoxobchalar majmuasini ifodalaydi: birlamchi chulg'am qarshiligi $Z_1 = r_1 + jx_1$ va $\dot{I}_1$ toki; magnitlovchi qarshilik $Z_m = r_m + jx_m$ va tok $\dot{I}_0$; ikkilamchi chulg'am qarshiligi $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$ va yuklanish qarshiligi $Z'_{IOk} = r'_{IOk} + jx'_{IOk}$. Transformator yuklanish qarshiligi Z'_{IOk} ni o'zgartirib sxemada transformatorning barcha ishlash rejimlarini izohlash mumkin. Sxemaning magnitlovchi shoxobchasi $Z_m = r_m + jx_m$ yuksiz ishlash tokini ifodalaydi. Ushbu shoxobchada aktiv qarshilik r_m ning mavjudligini transformatoridagi magnit isroflari bilan izohlash mumkin.

4-mavzu. Tashqi tavsifi.

Transformator yuklanishining tebranishida uning ikkilamchi U'_2 kuchlanishi o'zgaradi. Bunga iqror bo'lish uchun transformatorning soddalashtirilgan sxemasidan foydalanish mumkin (1.37-rasm), unga ko'ra $\dot{U}'_2 = \dot{U}_{1HOM} - \dot{I}_1 Z_k$.

Yuklanish miqdori yu.i. rejimidan to nominal tokkacha ortganda kuchlanishning o'zgarishi transformatorning muhim tavsiflaridan biridir va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$\Delta U_{HOM} = \frac{U_{1HOM} - U'_2}{U_{1HOM}} \cdot 100. \quad (1.67)$$

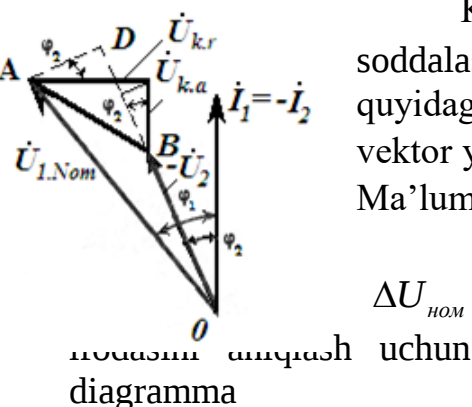
Kuchlanish o'zgarishi ΔU_{HOM} ni aniqlash uchun transformatorning soddalashtirilgan vektor diagrammasidan foydalanamiz, uning uchun quyidagi qo'shimcha chiziqlar o'tkazamiz (1.37-rasm). A nuqtadan $-\dot{U}'_2$ vektor yo'nalishiga perpendikulyar o'tkazamiz va D nuqtani hosil qilamiz. Ma'lum farazlar qilib, ya'ni $\overline{BD}$ kesma o'rniga

$$\dot{U}_{1HOM} - \dot{U}'_2 = \overline{BD} = \overline{BF} + \overline{FD} \text{ deb qabul qilamiz,}$$

bunda $\overline{BF} = U_{k.a.} \cos \varphi_2$; $\overline{FD} = U_{k.p.} \sin \varphi_2$, unda

$$U_{1HOM} - U'_2 = U_{k.a.} \cos \varphi_2 + U_{k.p.} \sin \varphi_2. \quad (1.68.)$$

Ikkilamchi kuchlanish (1.67) ni (1.68) e'tiborga olib o'zgartirsak quyidagi shaklga keladi



$$\Delta U_{\text{НОМ}} = (U_{\text{k.a.}} \cos \varphi_2 + U_{\text{k.p.}} \sin \varphi_2) 100 / U_{1\text{НОМ}}. \quad (1.69)$$

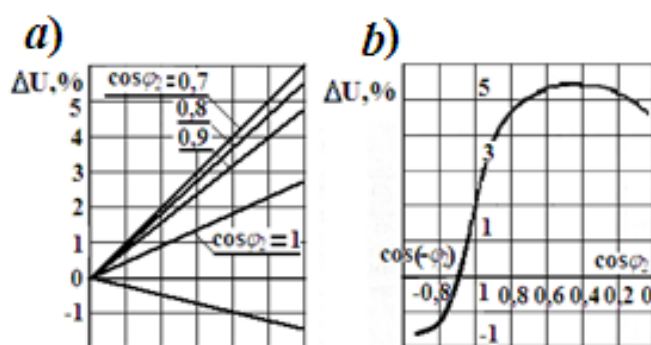
Quyidagi almashtirishlar qilamiz $(U_{\text{k.a.}}/U_{1\text{НОМ}})100=U_{\text{k.a.}}$; $(U_{\text{k.p.}}/U_{1\text{НОМ}})100=U_{\text{k.p.}}$, u holda yuklanish ortganida transformator ikkilamchi kuchlanishining o'zgarish ifodasi bunday yoziladi

$$\Delta U_{\text{НОМ}} = u_{\text{k.a.}} \cos \varphi_2 + u_{\text{k.p.}} \sin \varphi_2. \quad (1.70)$$

Ifoda (1.70) transformator ikkilamchi chulg'amining faqat nominal yuklanishdagi kuchlanishlar pasayuvini aniqlash imkonini beradi.

Ikkilamchi chulg'am kuchlanish pasayuvining ixtiyoriy yuklanishdagi qiymatini hisoblash uchun (1.70) ifodaga yuklanish ko'effitsienti $\beta = I_2 / I_{2\text{НОМ}}$ ni kiritish zarur bo'ladi

$$\Delta U = \beta(u_{\text{k.a.}} \cos \varphi_2 + u_{\text{k.p.}} \sin \varphi_2). \quad (1.71)$$

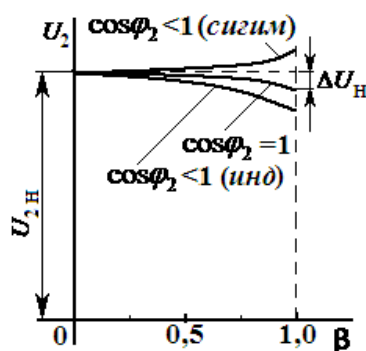


1.38-rasm. $\Delta U_{\text{НОМ}}$ ning yuklanish miqdori (a) va yuk quvvati ko'effitsientiga boq'liqligi (b)

Ifoda (1.71) dan shu ma'lum bo'ladiki, ikkilamchi kuchlanish pasayuvi ΔU na faqat transformator yuklanishi (β) qiymatiga, balki yuklanish xarakteriga ham bog'liq ekan.

1.38,a-rasmda $\cos \varphi_2 = \text{const}$ bo'lgandagi $\Delta U = f(\varphi_2)$ grafigi va 1.38,b-rasmda esa $\beta = \text{const}$ bo'lgandagi $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$ funksiyaning grafigi keltirilgan. Bu grafikda ΔU ning manfiy qiymatlari transformatorning yu.i. rejimidan sig'imli yuklanishlariga o'tgandagi kuchlanishning kuchayishiga mos keladi. Quyidagi bog'lanishlarni $u_{\text{k.a.}} = u_{\text{k}} \cos \varphi_{\text{k}}$ va $u_{\text{k.p.}} = u_{\text{k}} \sin \varphi_{\text{k}}$ nazarda tutib, yuklanishning ixtiyoriy o'zgarishidagi ikkilamchi chulg'am kuchlanishini hisoblashning yana bir usulini hosil qilamiz

$$\Delta U = \beta u_{\text{k}} (\cos \varphi_{\text{k}} \cos \varphi_2 + \sin \varphi_{\text{k}} \sin \varphi_2) = \beta u_{\text{k}} \cos(\varphi_{\text{k}} - \varphi_2). \quad (1.72)$$



1.39-rasm. Transformator tashqi tavsifi

Ushbu ifoda (1.72) dan shu ma'lum bo'ladiki, kuchlanish o'zgarishining eng katta $\Delta U = u_k$ qiymati faza burchaklarining $\varphi_2 = \varphi_k$ teng bo'lganda erishiladi, unda $\cos(\varphi_k - \varphi_2) = 1$.

Transformator ikkilamchi kuchlanishi U_2 ning yuklanish toki I_2 ga bog'liqligi tashqi tavsif deyiladi. Shuni eslatish zarurki, kuchli transformatorlar ikkilamchi chulg'ami klemmlarida nominal kuchlanish deb yu.i. rejimida birlamchi chulg'am kuchlanishi bo'lgandagi qiymatiga aytiladi. Tashqi tavsifning ko'rinishi (1.39-rasm) transformator yuklanish xarakteri ($\cos\varphi_2$)ga bog'liq. Transformatorning tashqi tavsifini β va $\cos\varphi_2$ ning xar hil qiymatlari uchun (1.72)dan aniqlash mumkin.

Misol 1.6. Berilgan qiymatlari yuqoridagi (§1.11) misollarda keltiril-gan transformator nominal yuklanishi ($\beta=1$) va quvvat koefitsienti $\cos\varphi_2 = 0,8$ ikki xil aktiv-induktiv va aktiv-sig'im yuklanish xarakteri uchun ikkilamchi kuchlanish pasayuvini hisoblang.

Echish. Misol 1.5 ni echishdan ma'lumki, $u_{k75} = 5,4\%$; $\cos\varphi_{k75} = 0,4$; $\sin\varphi_{k75} = 0,92$. Ifoda (1.72) dan $\cos\varphi_2 = 0,8$ va $\sin\varphi_2 = 0,6$ bo'lganda quyidagini hosil qilamiz:

- aktiv-induktiv yuklanish uchun $\Delta U = 5,4(0,4 \cdot 0,8 + 0,92 \cdot 0,6) = 4,65\%$;
- aktiv-sig'im yuklanish uchun $\Delta U = 5,4[0,4 \cdot 0,8 + 0,92 \cdot (-0,6)] = -1,2\%$.

Hisoblashlarning $\beta = 0 \div 1,2$ dagi tahlil natijasida yuklanish xarakteri 0,7; 0,8; 0,9 va 1,0 uchun zarur qiymatlarni hosil qilamiz va 1.38,a-rasmdagi grafikni chizamiz.

Kuchlanish eng ko'p o'zgarishi aktiv-induktiv $\cos\varphi_2 = \cos\varphi_{k75} = 0,4$ xarakterli va yuklanish koefitsienti $\beta = 1$ ga mos kelayapti $\Delta U_{tax} = u_{k75} = 5,4\%$ (1.38,6-rasmga qarang).

5-mavzu. Kuchlanishni rostdash. Quvvat isroflari va FIK

Elektr energiyasi transformatsiyalanishi jarayonida energiyaning bir qismi transformatoridagi energiya isrofini qoplashga yo'qoladi. Transformatoridagi quvvat isrofi elektr va magnit isroflardan iborat.

Elektr isroflari. Transformator chulg'amlaridan tok oqib o'tishi natijasida chulg'amlarning qizishi uchun sarf bo'ladi. Elektr isroflari RE quvvati tokning kvadratiga proporsional bo'lib, birlamchi RE1 va ikkilamchi RE2 chulg'amlardagi elektr isroflari yig'indisidan aniqlanadi

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = mI_1^2 r_1 + mI_2^2 r_2 \quad (1.73)$$

bunda t — transformator fazalari soni (bir fazali transformator uchun $t=1$, uch fazalik uchun $t = 3$).

Transformatorni loyihalashda elektr isroflar qiymatini (1.73) ifoda yordamida hisoblanadi, transformatorni yasash jarayonida esa bu isroflar chulg'am nominal toki bo'lganda q.t. quvvati $P_{K.HOM}$ i (§1.11ga qarang) o'lchangan tajriba natijalaridan olinadi

$$P_{\Sigma} = \beta^2 P_{K.HOM}, \quad (1.74)$$

bunda β — yuklanish koefitsienti.

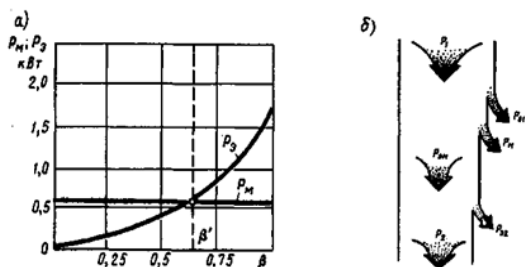
Elektr isroflari o'zgaruvchan isroflar deb nomlangan, chunki ular qiymatlari transformator yuklanishiga bog'liq.

Magnit isroflari. Magnit isroflari asosan magnit o'zakda sodir bo'ladi. Bu isroflarning sababi - magnit o'zakning davriy ravishda o'zgaruvchan magnit oqimi bilan qayta magnitlanishidir. Bu qayta magnitlanish magnit o'zakda ikki hil magnit isroflar keltirib chiqaradi:

magnit o'zak ferromagnit materialida qoldiq magnetizmni yo'qotish uchun sarflangan energiya bilan bog'liq bo'lgan, gisterezis RG isroflari;

magnit o'zak plastinkalarida o'zgaruvchan magnit oqim tomonidan induktivlangan uyurma tok hosil qilgan uyurma toklar quvvat isroflari RUT

$$P_M = P_r + P_{YT}$$



1.40-rasm. Transformator isroflarining yuklanishga bog'liqligi (a) va energetik diagrammasi (b)

Magnit isroflarni kamaytirish maqsadida transformator magnit o'zagi magnit-yumshoq ferromagnit materialdan – yupqa tunikasimon elektrotexnik po'latlardan yasaladi. Bunda magnit o'zak alohida bir biridan yupqa lak plenkasi bilan izolyasiyalargan ingichka plastinalardan iborat shixtovkalangan paketlardan tuziladi.

Gisterezis magnit isroflari magnit o'zak qayta magnitlanishi chastotasiga ($P_r \equiv f$), ya'ni o'zgaruvchan tok chastotasiga to'g'ri proporsional, uyurma toklardan magnit isroflari shu chastotaning kvadratiga proporsionaldir $P_{YT} \equiv f^2$. Umumiy magnit isroflari chastotaning 1,3 darajasi miqdoriga proporsional $P_M = f^{1,3}$ ekan.

Magnit isroflari sterjen va yarmolardagi magnit induksiyasiga ham bog'liq bo'lib, induksiya kvadratiga proporsionaldir ($P_M \equiv B^2$). Birlamchi kuchlanish o'zgarmas bo'lsa ($U_1 = \text{const}$), magnit isroflari o'zgarmas bo'ladi, ya'ni transformator yuklanish darajasiga bog'liq bo'lmaydi (1.40,a-rasm).

Transformatorni loyihalashda magnit isroflar qiymatini solishtirma isroflardan - 1 kg yupqa listli elektrotexnik po'latda, induksiyasi 1,0; 1,5 yoki 1,7 Tesla (Tl) va qayta magnitlanish chastotasi 50 Gers (Gs) bo'lgandagi solishtirma magnit isroflaridan olinadi

$$P_{\text{Con.M}} = P_{y0} (B/B_x)^2 (f/50)^{1,3} G, \quad (1.75)$$

bunda V - transformator sterjeni yoki yarmosidagi real magnit induksiyasi, Tl; Vx - qabul qilingan solishtirma magnit isroflariga mos bo'lgan magnit induksiyasi, masalan, Vx = 1,0 yoki 1,5 Tl.

Solishtirma magnit isroflari qiymatlari yupqa listli elektrotexnik po'lat uchun GOST (davlat standarti)da keltiriladi. Masalan, qalinligi 0,5 mm, induksiyasi V = 1,5 Tl, chastotasi f = 50 Gs bo'lgan 3411 markali po'lat uchun solishtirma magnit isroflari $P_{1.5/50} = 2,45 \text{ Vt/kg}$ ga teng.

Ishlab chiqarilgan transformator uchun magnit isroflar tajriba natijalaridan olinadi. Bunda birlamchi nominal kuchlanishdagi yu.i. quvvati o'lchanadi $P_{0.HOM}$.

Shunday qilib, tarmoqdan transformator birlamchi chulg'amiga kelayotgan R_1 aktiv quvvat, qisman shu chulg'amlardagi elektr quvvat isroflariga RE_1 aylanadi. Chulg'amlardagi o'zgaruvchan toklar hosil qilgan magnit o'zakdagi o'zgaruvchan magnit oqim magnit isroflar P_M ni hosil qiladi. Bundan qolgan quvvat $P_{\Sigma M} = P_1 - P_{\Sigma 1} - P_M$ elektromagnit quvvat deyiladi va ikkilamchi chulg'amga uzatiladi va qisman shu chulg'amdagi elektr isroflari $P_{\Sigma 2}$ ga sarflanadi. Aktiv quvvat R_2 transformator yuklanishiga uzatilib, uning miqdori transformatorga kelayotgan birlamchi aktiv quvvat R_1 dan quvvat isroflari yig'indisini ayirilganiga teng: $R_2 = R_1 - \Sigma R$. Bunda ΣR - transformatoridagi quvvat isroflari yig'indisi va ularning barchasi 1.40, b-rasm keltirilgan.

Transformatorning foydali ish koeffitsienti deb, ikkilamchi chulg'amning chiqish qismidagi aktiv quvvat R_2 (foydali quvvat) ni birlamchi chulg'am kirishidagi aktiv quvvat R_1 ga nisbatiga aytiladi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{(P_1 - \sum p)}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1} \quad (1.76)$$

Isroflar yig'indisi $\sum P = P_{0nom} + \beta^2 P_{K, nom}$.

Transformator ikkilamchi chulg'ami klemmlaridagi aktiv qarshilik, (V_t)

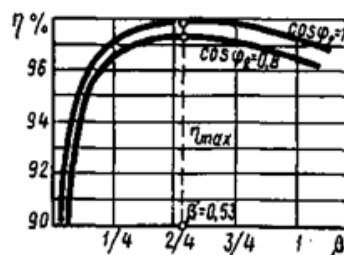
$$P_2 = \sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta S_{HOM} \cos \varphi_2, \quad (1.78)$$

bunda $S_{HOM} = \sqrt{3} U_{HOM} I_{HOM}$ - transformatorning nominal quvvati, V.A; I_2 i U_2 — ikkilamchi liniya tok, A va kuchlanishlari, V.

$P_1 = P_2 + \sum p$ ekanligini e'tiborga olib, transformatorning foydali ish koeffitsienti (f.i.k.) uchun analitik ifodani aniqlaymiz

$$\eta = \frac{\beta S_{HOM} \cos \varphi_2}{\beta S_{HOM} \cos \varphi_2 + P_{0HOM} + \beta^2 P_{K, HOM}} \quad (1.79)$$

F.I.K. ifodasining tahlili shuni ko'rsatadiki, uning kattaligi transformator yuklanishining qiymatiga ham (β), yuklanish xarakteri ($\cos \varphi_2$)ga ham bog'liq ekan. Bu bog'lanish 1.41-rasmdagi grafik bilan keltirilgan. F.i.k.ning maksimal qiymati yuklanishning shunday miqdoriga mos keladiki, unda magnit isroflari elektr isroflariga teng



1.41-rasm. Transformator F.I.K.ning yuklanishga bog'liqligi

$$R_{0nom} = \beta'^2 / R_{K, NOM},$$

bo'ladi. Bundan, f.i.k.ning maksimal qiymatiga mos keluvchi yuklanish koeffitsienti quyidagicha bo'ladi

$$\beta' = \sqrt{P_{0HOM} / P_{K, HOM}} \quad (1.80)$$

Aksariyat, transformator f.i.k. maksimal qiymatiga β' ning $0,45 \div 0,65$ miqdorlarida erishadi. Ifoda (1.79)dagi R o'rniga β' ning qiymatini qo'ysak, transformator maksimal f.i.k. ni aniqlaymiz

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2 + 2P_{0\text{НОМ}}} \quad (1.81)$$

Transformatorning quvvat bo'yicha f.i.k.dan tashqari, energiya bo'yicha f.i.k.dan ham foydalaniladi. Energiya bo'yicha f.i.k. yil davomida transformatoridan iste'molchiga uzatilgan energiya miqdorini W_2 (kVt·s), shu muddat ichida transformatorga tarmoqdan kelgan elektr energiya miqdori W_1 ga nisbatiga aytiladi $\eta = w_2 / w_1$.

Transformatorning energiya bo'yicha f.i.k. transformator ekspluatatsiyasining samaradorli ekanligini ko'rsatadi.

Misol 1.7. Quvvati 100 kV·A, kuchlanishi 6,3/0,22 kV bo'lgan uch fazali transformatorning yu.i. (1.4-misolni ko'ring) va q.t. (1.5-misolga qarang) tajribalaridan foydalanib ($R_0.\text{NOM}=605$ Vt, $R_k.\text{NOM}=2160$ Vt) transformator f.i.k. va $\eta = f(\beta)$ bog'lanish grafigini chizing. Hisoblashlarni quvvat koeffitsientining ikki qiymati 0,8 va 1,0 uchun bajaring.

Echish. Ifoda $\eta = f(\beta)$ ning grafigini qurish maqsadida f.i.k. ning birnecha qiymatlarini aniqlash uchun (yuklanish koeffitsienti $\beta = 0,25; 0,5; 0,75$ va 1,0 uchun) η ning qiymatlarini hisoblaymiz. Hisoblash natijalarini 1.3-jadvalga kiritamiz.

1.3- jadval

β	$\beta_{2R_{\text{knom}}}$, Vt	ΣP , Vt	f.i.k., %, $\cos \varphi_2$	
			$\cos \varphi_2=0,8$	$\cos \varphi_2=1$
0,25	134	739	96,5	97,0
0,50	540	1145	97,3	97,8
0,75	1210	1815	97,1	97,6
1,0	2150	2755	96,6	97,3

Eslatma. 1) $\beta^2 = \sqrt{605/2160} = 0,53$ [(1.80) ga qarang];
2) $R_{0\text{nom}} = 605$ Vt.

F.i.k. ning maksimal qiymati (1.81) dan:

$\cos \varphi_2=0,8$ bo'lganda

$$\eta_{\text{max}} = \frac{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 2 \cdot 605} = 0,972, \text{ ili } 97,2\%;$$

$\cos \varphi_2=1,0$ bo'lganda

$$\eta_{\text{max}} = \frac{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1,0 + 2 \cdot 605} = 0,978, \text{ ili } 97,8\%.$$

Shunday qilib, f.i.k. grafigi aktiv yuklanishda yuqoriroqda bo'lar ekan.

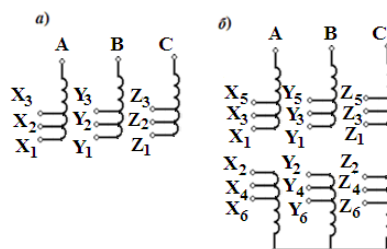
1.15. Transformator kuchlanishini rostlash

Pasaytiruvchi transformatorlar QK chulg'amlari rostlovchi ulanishlar (qo'shimcha o'ramlar) bilan jihozlanadi. Ular yordamida birlamchi chulg'am nominal kuchlanishi bo'lgandagi nominal ikkilamchi chulg'am kuchlanishiga mos kelgan transformatsiyalash

koeffitsientidan farqli bo'lgan, boshqa qiymatlardagi transformatsiyalash koeffitsientlarini olish mumkin bo'ladi. Bunga ehtiyoj shundaki, pasaytiruvchi transformator ulanishi mumkin bo'lgan elektr uzatish liniyalari (EUL)ning xar hil nuqtalarida, kuchlanish xar hil bo'ladi. Bundan tashqari, yuklanishning tebranishi natijasida EUL ixtiyoriy nuqtasida kuchlanishlar o'zgarishi mumkin. Biroq, transformator ikkilamchi chulg'ami klemmlarida kuchlanishi doimo nominal bo'lishi shart ekanligi yoki nominaldan biroz farqli bo'lishi mumkin ekanligi sababli, transformatsiyalash koeffitsientini o'zgartirish zarurati tug'iladi.

Rostlovchi ulanishlar har bir faza chulg'amlarida yoki nol nuqtasi yaqiniga, yoki chulg'amning o'rtasiga qo'yiladi. Birinchi holatda har bir fazada uchtdan ulanishlar qo'yiladi (1.42,a-rasm). Bunda, o'rtadagi ulanish transformator nominal transformatsiyalash koeffitsientiga mos keladi, qolgan ikki ulanish esa, nominal transformatsiyalash koeffitsientidan $\pm 5\%$ ga farqli bo'ladi. Ikkinchi holatda chulg'am ikki qismga ajratiladi va oltita ulanishlar qilinadi (1.42,b-rasm). Bu shunday imkoniyat yaratadiki, nominal transformatsiyalash koeffitsientidan tashqari, yana to'rtta qo'shimcha qiymatlar – nominaldan $\pm 2,5\%$ va $\pm 5\%$ ga farqlanuvchi transformatsiyalash koeffitsientini beradi.

Chulg'amlardagi ulanishlarni rostlash, faqat transformatorni tarmoqdan uzilganda amalga oshirib (qo'zg'atishsiz rostlab ulash – QSRU) yoki yuklanishni uzmasdan rostlab - kuchlanishni boshqarish (YUUR) mumkin. QSRUda ulanishlarni ulash 1.43-rasmga keltirilgan. Xar bir fazaga bittadan qayta ulagich o'rnatiladi, bunda barcha fazalarda bir vaqtda kontakt halqalarni aylanuvchi val, shtanga orqali transformator baki qopqog'idagi dastak (1.13,b-rasm) bilan ulangan.



1.42-rasm. Uch fazali transformator chulg'ami rostlovchi ulanishlarining sxemalari



1.43-rasm. QSRU kontaktlarini ulash

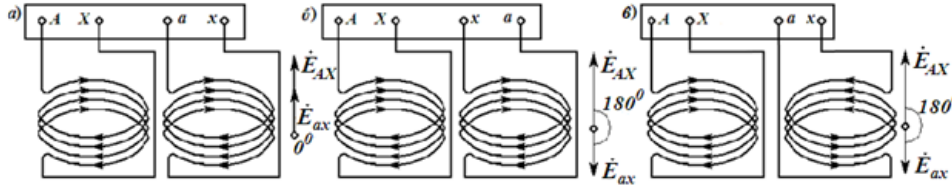
YUUR ishlash prinsipi chulg'am o'ramlari sonini chulg'amdagi qo'shimcha o'ramlardagi ulanishlar yordamida boshqarishga asoslangan. Biroq, bir qo'shimcha o'ramdan ikkinchi qo'shimcha o'ramga ulash tokning zanjirini uzmasdan bajariladi. Shu maqsadda chulg'amning har bir fazasini maxsus qayta ulovchi moslama bilan ta'minlanadi. Moslama reaktor R, ikki klemma K1 va K2, xamda ikki xarakatlanuvchi P1 va P2 kontaktlardan iborat (1.44,a-rasm).

YUUR apparatlari transformator umumiy bakida joylashtiriladi, uning qayta ulanishi esa (boshqarish shchitidan) avtomatlashtiriladi. YUUR li transformatorlar kuchlanishni, aksariyat, 6-10% ga rostlashga mo'ljallangan bo'ladi.

Transformator quvvati yanada oshganda YUUR apparatlari yanada qo'polroq va yanada kattalashgan bo'ladi.

6-mavzu. Transformator chulgʻamlari ulanish guruhlari.

Shu vaqtgacha transformator vektor diammalarini qurishda YUK chulgʻami E.YU.K. $\dot{E}_{AX}$ va QK chulgʻami E.YU.K. $\dot{E}_{ax}$ fazalari mos keladi, deb faraz qilib keldik. Bu faraz faqat transformatorning barcha chulgʻamlari bir hil yoʻnalishda oʻralgan va barcha chulgʻamlar boshi va keti bir hil tartibda belgilangandagina xaqiqiy boʻladi (2.1,a-rasm).



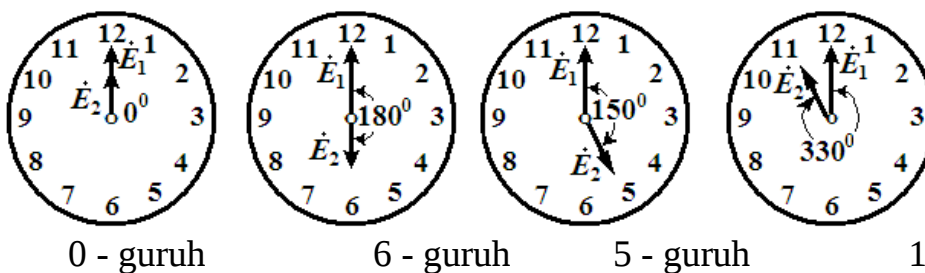
2.1-rasm. Bir fazali transformator ulanish guruhlari:

a)- 0 yoki 12-guruh; b)- 6-guruh; d)- 6-guruh. A-boshi; X-keti

Agar transformator QK chulgʻamining oʻralish yoʻnalishi yoki a va x klemmlar oʻrni almashtirilsa, (2.1,b va v-rasmlar), u holda E.YU.K. $\dot{E}_{AX}$ va $\dot{E}_{ax}$ vektorlari orasidagi burchak 1800 ga oʻzgaradi. YUK chulgʻami E.YU.K. $\dot{E}_{AX}$ va QK chulgʻami E.YU.K. $\dot{E}_{ax}$ fazalari orasidagi burchakni ulanish guruhi deyiladi. Ushbu burchak 00 dan 3600 gacha oʻzgarganda, ulanish guruhlari orasidagi faza 300 ni tashkil etadi. Shu sababli, ulanish guruhlari 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 yoki 0-guruhlarni tashkil etadi.

QK chulgʻami liniya EYUK vektorining YUK chulgʻami liniya EYUK vektoriga nisbatan siljish burchagini aniqlash uchun transformator ulanish guruhini belgilovchi raqamni 300 ga koʻpaytiriladi. Siljish burchagi YUK chulgʻami EYUK vektoriga nisbatan soat mili yoʻnalishi boʻyicha QK chulgʻami EYUK vektorigacha boʻlgan burchak bilan oʻlchanadi. Masalan, 5 ulanish guruhi koʻrsatadiki, QK EYUK vektori fazasi boʻyicha YUK EYUK vektoridan $5 \cdot 300 = 1500$ ga kechikar ekan.

Ulanish guruhining qabul qilingan belgilanishini yaxshi tushunish uchun soat mili bilan taqqoslash usulidan foydalanamiz. Bunda YUK chulgʻami EYUK vektorini soat milining 12 raqamiga qoʻyilgan minut mili (strelkasi) deb, QK chulgʻami EYUK vektorini esa soat mili deb qabul qilamiz (2.2-rasm).



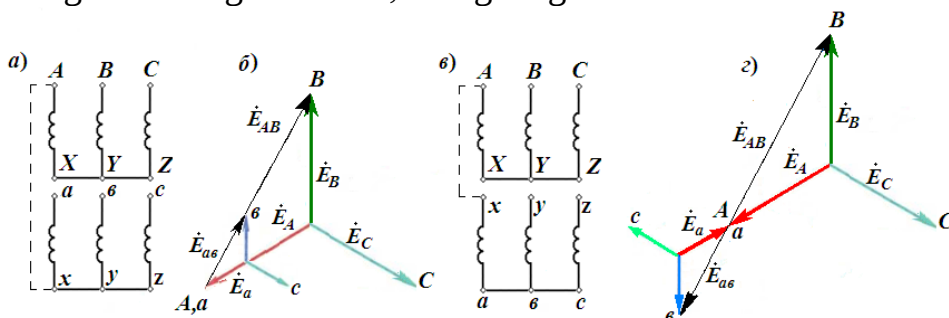
2.2-rasm. Ulanish guruhi belgisining soat mili bilan taqqoslash

Shuni ham eʼtiborga olish zarurki, $\dot{E}_1$ va $\dot{E}_2$ vektorlarning fazalari mos boʻlishi, soat milining 12 boʻlganini koʻrsatishi, 12-guruh ekanligini emas, balki 0-guruh ekanligini anglatadi. Bundan tashqari, shuni unitmaslik zarurki, EYUK aylanuvchi vektorlarining musbat aylanish yoʻnalishi deb, soat miliga teskari aylanishi qabul qilingan.

Shunday qilib, bir fazali transformatorida faqat ikki ulanish guruhi mavjud ekan: $\dot{E}_1$ va $\dot{E}_2$ vektorlarning fazalari mos boʻlgan 0-guruh bilan $\dot{E}_1$ va $\dot{E}_2$ vektorlari fazalari 1800

ga siljigan 6-guruh. Bu guruhlardan Davlat Standarti tomonidan qabul qilgan ulanish guruhi faqat 6-guruhdir.

Uch fazali transformatorlar chulgʻamlarini xar hil ulash bilan 12 hil ulanish guruhlarini hosil qilish mumkin. Ulanish guruhlarini aniqlash uchun birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning bir xil belgilangan liniya EYUKlari orasidagi siljish burchagi orqali aniqlash qabul qilingan. Ulanish guruhleri haqida aniq tasavvurga ega boʻlish maqsadida “yulduz-yulduz” ulanish usulini koʻraylik (2.3,a-rasm). Faraz qilamiz, ikkala chulgʻamlar fazalari bir hil yoʻnalishda oʻralgan va bir hil nomlangan faza chulgʻamlari bir hil magnit sterjenlarida joylashgan, deb. Unda YUK va QK chulgʻamlari faza EYUKning vektorlari 2.3,b-rasmdagidek fazasi boʻyicha mos boʻladilar. $\dot{E}_{AB}$ va $\dot{E}_{ab}$ liniya EYUK vektorlari orasidagi burchak 00 ga teng. Unda $\dot{E}_{AB}$ vektorni soat milining 12 raqamiga, $\dot{E}_{ab}$ vektorni esa 00 burchak ostida qoʻysak, u 0 (12) raqamni koʻrsatadi, demak, keltirilgan ulanish 0-guruhni anglatar ekan, uning belgilanishi Y/Y-0 boʻladi.



2.3-rasm. Uch fazali transformator 0-ulanish guruhi sxemasi

Agar QK chulgʻamida a, b, c klemmalarini x, u, z klemmalari bilan mos ravishda (yaʼni a ni x bilan, b ni u bilan va z ni c bilan) almashtirilsa, u holda bir hil nomlangan klemmalar, YUKlari 1800 ga siljiydi. AV va av klemmalar orasidagi liniya EYUKlari $\dot{E}_{AB}$ va $\dot{E}_{ab}$ ham 1800 ga siljigan boʻladi va 6 - ulanish guruhi paydo boʻladi. Sxemaning belgilanishi Y/Y-6 boʻladi (2.3,v va g-rasmlar). Chulgʻamlar “yulduz-uchburchak” ulanganda 11-guruh hosil boʻladi. Agar QK chulgʻaming boshi va keti oʻzgartirilsa, EYUK vektorlari 1800 ga siljiydi va 5-ulanish guruhi hrsil boʻladi.

YUK va QK chulgʻamlari bir hil Y/Y va Δ/Δ ulansa, yana toʻrtta juft guruhlar, bir hil boʻlmagan ulanishlarda, masalan Y/ Δ yoki Δ /Y, yana toʻrtta toq guruhlar hosil boʻladi.

Keltirilgan va keltirilmagan ulanish guruhlarining xammasi amaliyotda ishlatilmaydi. Davlat standarti qoʻllash uchun ruxsat etgan ulanish guruhleri quyidagi jadvalda keltirilgan.

Transformatorlar ishlab chiqarilishida yoki ekspluatatsiyasi jarayonida ulanish guruhlarini tajriba usulida tekshirish ehtiyoji paydo boʻladi. Bunday tekshiruvlarning birnecha usullari mavjud, ammo eng koʻp qoʻllaniladigan usul fazometr va voltmetr usulidir.

Davlat standarti qoʻllash uchun ruxsat etgan ulanish guruhleri

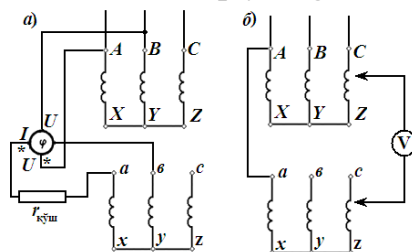
2.1-jadval

Chulgʻamlar ulanish sxemasi		EYUK vektor diagrammasi		Shartli belgisi
YUK	QK	YUK	QK	

				Y / Y0 - 0
				Y / Δ - 11
				Y0 / Δ-11

Fazometr usuli. Transformator YUK va QK chulgʻamlarining liniya kuchlanishlari (EYUK) orasidagi faza siljish burchagini 2.4,a-rasmda keltirilganidek bevosita fazometr yordamida oʻlchashga asoslangan. Fazometr U-U parallel chulgʻamini YUK tomoniga, I-I ketma-ket chulgʻamini esa QK tomoni liniya kuchlanishiga ulanadi. Ketma-ket chulgʻamda tok miqdorini cheklash maqsadida, unga ketma-ket qoʻshimcha rʻqoʻsh reostat ulanadi. Soʻngra transformator tarmoqqa ulanadi. Oʻlchash amallarini qulaylashtirish uchun, fazometr toʻliq (3600) shkalaga ega boʻlsin. Voltmetr usuli. Ushbu usul liniya kuchlanishlari (EYUK) fazalari siljishi burchagini oʻlchash imkoniyatini bermaydi. Bu usul bilvosita usuli boʻlib, voltmetr yordamida YUK va QK chulgʻamlarining bir hil nomlangan klemmalari orasidagi kuchlanish (EYUK)larni oʻlchashga asoslangan.

Agar Y/Y-0 guruhi tekshirilayotgan boʻlsa (2.4,b-rasm), u holda A va a nuqtalar ulanib, V va b klemmlar orasidagi U_{b-B} hamda s va S klemmlar orasidagi U_{c-C} kuchlanishi oʻlchanadi. Agar tahmin qilinayotgan ulanish guruhi Y/Y-0 asl ulanish guruhiga mos boʻlsa, u holda kuchlanish Voltda quyidagicha boʻladi



2.4-rasm. Fazometr (a) va voltmeter (b) usullari yordamida ulanish Y/Y - 0 guruhini tekshirish

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{ab}(k_{\text{Л}} - 1), \quad (2.1)$$

bunda $k_{\text{Л}} = U_{AB} / U_{ab}$ — YUK va QK chulgʻamlari kuchlanishlari (EYUK) nisbati, yaʼni liniya kuchlanishlari (EYUK) transformatsiyalash koeffitsienti.

Agar 6, 11 yoki 5 guruhlar tekshirilayotgan boʻlsa, oʻlchangan kuchlanishlar qiymatlarini tekshirish uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi

Y/Y-6 ulanish guruhi

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{xy}(k_{\text{Л}} + 1); \quad (2.2)$$

Y/Δ-11 ulanish guruhi

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{ab} \left(1 - \sqrt{3}k_n + k_n^2 \right) \quad (2.3)$$

Y/Δ-5 ulanish guruhi

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{ab} \left(1 + \sqrt{3}k_n + k_n^2 \right) \quad (2.4)$$

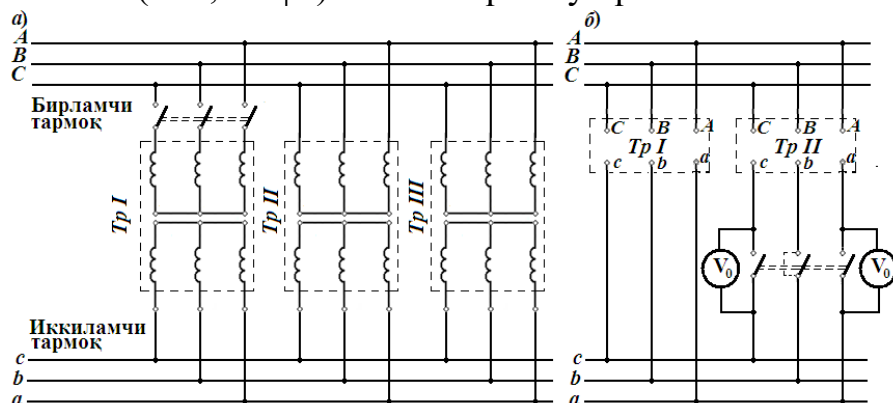
Bunda U_a va U_{xy} — YUK va QK chulgʻamlari klemmlaridagi liniya kuchlanishlari, V.

Agar keltirilgan ifodalarda kuchlanishlar tengligi mos kelmasa, demak transformator klemmlaridagi belgilashlarda hatolikka yoʻl qoʻyilgan boʻladi.

7-mavzu. Parallel ulash shartlari. Maxsus transformatorlar turlari.

Ikki yoki birnecha transformatorlarning parallel ishlashi deb, birlamchi chulgʻamlari ham, ikkilamchi chulgʻamlari ham parallel ulangan holatdagi ishlash rejimlariga aytiladi. Transformatorlar parallel ulanganda transformatorlarning bir nomli klemmlari tarmoqning bir oʻtkazgichiga ulanadi (2.5,a-rasm).

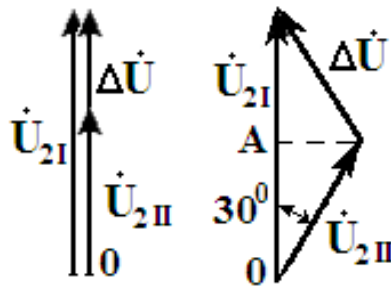
Bir transformator oʻrniga umumiy quvvati teng boʻlgan birnecha transformatorlarni parallel ulab ishlatish, transformatorlardan birining avariya holatida, yoki uni taʼmirlash uchun oʻchirilganda isteʼmolchini uzluksiz energiya bilan taʼminlash uchun zaruriy choradir. Isteʼmolchining yuklanish grafigi sutkaning xar hil soatlarida oʻzgaruvchan boʻlganida ham bu chorani qoʻllash maqsadga muvofiq boʻladi. Bunday holatlarda yuklanish quvvati kamayganda bir yoki birnecha transformatorlar oʻchiriladi, qolganlari esa nominalga yaqin yuklanish bilan ishlaydi. Natijada transformator ishining ekspluatatsion koʻrsatkichlari (FIK, $\cos\phi_2$) birnecha qadar yuqori boʻladi.



2.5-rasm. Transformatorlarni parallel ishlashiga ulash

Parallel ishlayotgan ikki chulgʻamli transformatorlar nominal quvvatlariga proporsional yuklanishda ishlashlarini taʼminlash uchun, quyidagi shartlarni bajarish shart boʻladi:

2.2.1 Birlamchi chulgʻamlar kuchlanishlari teng boʻlganda ikkilamchi kuchlanishlar ham teng boʻlishi shart. Boshqacha qilib aytganda transformatorlar bir hil transformatsiyalash koeffitsientiga ega boʻlishi shart: $k_I = k_{II} = k_{III} = \dots$ Bu shartga amal qilmaslik natijasida, yu.i. rejimida ham, parallel ishlayotgan transformatorlar orasidagi ikkilamchi kuchlanishlar farqi ΔU (2.6,a-rasm) natijasida muvozanatlovchi tok hosil boʻladi:



2.6-rasm. Parallel ulash shartlari bajarilmagandagi $\Delta\dot{U}$ kuchlanish hosil bo'lishi

$$\dot{I}_{\text{МЯВЗ}} = \frac{\Delta\dot{U}}{Z_{kI} + Z_{kII}} \quad (2.5)$$

bunda Z_{kI} va Z_{kII} — transformatorlar ichki qarshiliklari.

Transformatorlar yuklanganishida ular yuk toklari muvozanatlovchi toklar bilan qo'shiladi. Natijada yu.i. ikkilamchi kuchlanishi yuqori bo'lgan (transformatsiyalash koeffitsienti kichik) transformator o'ta yuklangan bo'lib, teng quvvatli, ammo transformatsiyalash koeffitsienti katta bo'lgan transformator – kam yuklangan bo'ladi. Transformatorning o'ta yuklanishi joiz emasligi sababli, umumiy yuklanishni pasaytirish zarur bo'ladi. Transformatsiyalash koeffitsientlari farqi ortgan sari, transformatorlar me'yorda ishlash imkoni mutloq bo'lmaydi. Shunga qaramay, agar transformatsiyalash koeffitsientlarining farqi ular o'rtacha qiymatlariga nisbatan $\pm 0,5\%$ dan ortmasa, Davlat standarti transformatorlarning parallel ishlashiga ruxsat etadi:

$$\Delta k = [(k_I - k_{II})/k]100\% \leq 0,5\%, \quad (2.6)$$

bunda $k = \sqrt{k_I k_{II}}$ - transformatsiyalash koeffitsientlarining o'rtacha geometrik qiymati.

2.2.2 Transformatorlar bir hil ulanish guruhiga ega bo'lishi shart.

Bu shart bajarilmaganda transformatorlar ikkilamchi liniya kuchlanishlari bir-biriga nisbatan fazalari siljib, transformatorlar zanjirlarida kuchlanishlar farqi ΔU (2.6,b-rasm) paydo bo'ladi. Uning ta'sirida juda katta muvozanatlovchi tok hosil bo'ladi. Masalan, agar ikki bir hil transformatsiyalovchi koeffitsienti bo'lgan, ammo birining ulanish guruhi nolinchi Y/Y-0, ikkinchisi - Y/ Δ -11 o'n birinchi bo'lsa, birinchi transformator liniya kuchlanishi U_{2I} , ikkinchisi U_{2II} dan $\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi; bundan tashqari, shu kuchlanishlar vektorlari o'zaro 30° ga siljigan bo'ladi (2.6,b-rasm). Bunday vaziyatda transformator ikkilamchi zanjirida kuchlanishlar farqi ΔU hosil bo'ladi.

Kuchlanishlar ΔU farqini aniqlashni o'quvchiga havola etamiz. U shunday katta muvozanatlovchi tok hosil qiladiki, uning qiymati nominal kuchlanish ta'siridagi qisqa tutashuv tokiga, ya'ni nominal tokdan 15-20 marta katta bo'ladi.

Transformatorlar bir hil q.t. kuchlanishiga ega bo'lishi zarur.

Q.t. kuchlanishi tengligi $u_{kI} = u_{kII} = u_{kIII} = \dots$ shartining bajarilishi, iste'molchi yuklanishining umumiy quvvati, barcha transformatorlarga ularning nominal quvvatlariga proporsional ravishda taqsimlanishini ta'minlash uchun zarur. YU.i. tokini juda kichik degan faraz bilan, parallel ulangan transformatorlar sxemalarini q.t. parametr z_{kI} va z_{kII}

laridan iborat almashtirish sxemasi bilan ifodalaymiz. Ma'lumki, parallel shoxobchalardagi toklar qarshiliklarga teskari proporsional taqsimlanadilar:

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{Z_{kI}}{Z_{kII}}. \quad (2.7)$$

Tenglik (2.7)ning ikkala qismlarini $(I_{IIHOM} U_{IIHOM}) / (I_{IIHOM} U_{IIHOM})$ ga ko'paytirib, chap tomonini U_{I1HOM} / U_{I1HOM} ga va o'ng tomonini $100/100$ ga ko'paytirib, quyidagini hosil

$$\frac{I_{I1HOM} U_{I1HOM} U_{I1HOM}}{I_{I1HOM} U_{I1HOM} U_{I1HOM}} = \frac{Z_{kII} I_{I1HOM} U_{I1HOM} 100}{Z_{kI} I_{I1HOM} U_{I1HOM} 100}.$$

qilamiz

Hosil bo'lgan tenglikni o'zgartirib, $I_{II} U_{HOM} = S_I$, va $I_{II} U_{HOM} = S_{II} [V \cdot A]$ - birinchi ikkinchi transformatorlar yuklanishi ekanligini; $I_{IIHOM} U_{HOM} = S_{IIHOM}$ va $I_{IIHOM} U_{HOM} = S_{IIHOM}$ - shu transformatorlarning nominal quvvatlari, V·A; $(I_{IIHOM} Z_{kI} / U_{HOM}) 100 = u_{1k}$ va $(I_{IIHOM} Z_{kII} / U_{HOM}) 100 = u_{11k}$ — transformatorlar q.t. kuchlanishlari ekanligini e'tiborga olib, quyidagini hosil qilamiz

$$(S_I / S_{IIHOM}) (S_{II} / S_{IIHOM}) \quad (2.8)$$

yoki

$$S_I / S_{II} = u_{k11} / u_{k1}, \quad (2.9)$$

bunda $S'_I = S_I / S_{IIHOM}$, $S'_{II} = S_{II} / S_{IIHOM}$ — mos ravishda birinchi va ikkinchi transformatorlarning nisbiy quvvatlari (yuklanishlari).

Ifoda (2.9) shu ma'lum bo'ladiki, parallel ishlayotgan transformatorlarning nisbiy quvvatlari ularning q.t. kuchlanishlariga teskari proporsional bo'lar ekan. Boshqacha qilib aytganda, parallel ishlayotgan transformatorlarning q.t. kuchlanishlari teng bo'lmasa, kichik q.t. kuchlanishi (u_k) bo'lgan transformator ko'proq yuklanish olar ekan, katta u_k ga ega bo'lgani esa kamroq yuklanar ekan. Natijada, bu bir transformatorning o'ta yuklanishiga, ikkinchisi esa kam yuklanish olishiga sabab bo'laar ekan. Transformator o'ta yuklanishining oldini olish uchun umumiy yuklanishni pasaytirish kerak ekan. Shunday qilib, q.t. kuchlanishlarning teng bo'lmasligi parallel ishlayotgan transformatorlarning to'liq quvvat bilan ishlashiga yo'l qo'ymas ekan.

Umuman, parallel ishlaydigan transformatorlarning bir hil q.t. kuchlanishi bo'lishini ta'minlash imkoni doimo ham bo'lavermas ekanligini nazarda tutib, Davlat standarti q.t. kuchlanishlarining o'rtacha arifmetik miqdoridan 10% ga ko'p bo'lmagan farq bilan xar hil q.t. kuchlanishli transformatorlarning ishlashiga ruxsat etadi. Transformator q.t. kuchlanishlari qanchalar katta bo'lsa, transformatorlar quvvati farqi shunchalar katta bo'lishi kerak. Shu sababli, Davlat standarti parallel ishlaydigan transformatorlarning quvvatlari 3:1 dan katta bo'lmasligini tavsiya etadi.

Ushbu uch shartlardan tashqari, transformatorlarni parallel ishga tushirishdan avval fazalar ketma-ketligi mos ekanligini tekshirish zarur. Fazalar ketma-ketligi barcha transformatorlarda bir hil bo'lishi shart.

Ushbu shartlarni bajarish transformator fazirovkasini tekshirish bilan bog'liq — uning mohiyati shundaki, ulagich (rubilnik)da qarama-qarshi (ya'ni rubilnik yoqilganda ulanadigan klemmlar) joylashgan klemmalarda (2.5,b-rasmdagidek) o'tkazgich (punktir chiziq) va nol voltmetrlari bilan ulanmagan klemmlar juftliklari orasidagi kuchlanishlar o'lchanadi. Agar transformatorlar ikkilamchi kuchlanishlari teng bo'lsa, ulanish guruhlari bir hil va faza ketma-ketliklari bir hil bo'lsa, u holda voltmetrlar V0 ko'rsatkichlari nolga

teng bo'lad. Bunda transformator rubilnigini ulash mumkin. Agar voltmeter V0 biror miqdorni ko'rsatsa, u holda qanday shart bajarilmayotganligini aniqlash zarur. Bu shart buzilishini bartaraf etib, qaytadan fazirovkani tekshirish zarur. Shuni e'tiborda tutish zarurki, fazalar ketma-ketligi buzilgan bo'lsa, voltmeter ko'rsatkichlari liniya kuchlanishlaridan ikki marta katta ko'rsatadi. Buni voltmerni tanlashda e'tiborga olib, voltmeter shkalasi liniya kuchlanishidan ikki marta katta bo'lishini ta'minlash kerak.

Parallel ishlayotgan transformatorlar yuklamalarining umumiy quvvati S shu transformatorlar nominal quvvatlari yig'indisidan kichik bo'lishi shart.

Parallel ishlayotgan transformatorlar orasida yuklanishlar taqsimlanishi quyidagicha aniqlanadi:

$$S_x = S \cdot S_{\text{HOM},x} / ([u_{kx} \sum (S_{\text{HOM}1} / u_{kx})]), \quad (2.10)$$

bunda S_x - parallel ishlayotgan transformatorlardan birining yuklanishi, kV·A; S – parallel ishlayotgan guruhning umumiy yuklanish quvvati, kV·A; u_{kx} -ushbu transformatorning q.t. kuchlanishi, %; $S_{\text{nom},x}$ – ushbu transformatorning nominal quvvati, kV·A.

Ifoda (2.10) dagi yig'indi quyidagicha hisoblanadi

$$\sum (S_{\text{HOM},x} / u_{kx}) = (S_{\text{HOM}1} / u_{k1}) + (S_{\text{HOM}2} / u_{k2}) + \dots \quad (2.11)$$

Misol 2.1. Uchta bir hil ulanish guruhlariga ega bo'lgan uch fazali transformatorlar parallel ulanib, quvvati 5000 kVA bo'lgan umumiy yuklanishga (2.5,a-rasm) ulangan. Transformatorlar quyidagi parametrlarga ega: $S_{\text{nom}1} = 1000$ kV·A, $ik1 = 6,5\%$, $S_{\text{nom}11} = 1800$ kV·A, $ik11 = 6,65\%$, $S_{\text{nom}III} = 2200$ kV·A, $ik11I = 6,3\%$. Har bir transformator yuklanishini hisoblang.

Echish. (2.11) dan quyidagini aniqlaymiz

$$\sum (S_{\text{nom},x} / ik_x) = 1000 / 6,5 + 1800 / 6,65 + 2200 / 6,3 = 775.$$

(2.10) dan xar bir transformatorning yuklanishini aniqlaymiz

$$S_1 = 5000 \cdot 1000 / (6,5 \cdot 775) = 995 \text{ kV} \cdot \text{A};$$

$$S_{11} = 5000 \cdot 1800 / (6,65 \cdot 775) = 1755 \text{ kV} \cdot \text{A};$$

$$S_{111} = 5000 \cdot 2200 / (6,3 \cdot 775) = 2250 \text{ kV} \cdot \text{A},$$

ya'ni, uchunchi transformator $[(2250 - 2200) / 2200] \cdot 100 = 2,3\%$ ga o'ta yuklangan ekan.

Ushbu o'ta yuklanganlikni bartaraf etish uchun tashqi yuklanishni 2,3% ga, ya'ni $S' = S - 2,3S / 100 = 5000 - 2,3 \cdot 5000 / 100 = 4885$ kV·A qisqartirish kerak ekan.

Bu holatda transformatorlar umumiy quvvati faqat 97,7% ga foydalanilar ekan.

3.1. Uch chulg'amli transformatorlar

Uch chulg'amli transformatorlarda har bir fazaga uchtdan chulg'am to'g'ri keladi, ya'ni har bir sterjenda uchtdan chulg'am mavjud. Bunday transformatorning nominal quvvati deb, eng katta quvvatga yuklangan chulg'am quvvati qabul qilinadi. Boshqa ikki chulg'amlarning tok, kuchlanish va qarshiliklari shu quvvati eng katta bo'lgan chulg'am qiymatlariga keltiriladi. Uch chulg'amli transformatorning ishlash prinsipi, umuman olganda, oddiy ikki chulg'amli transformator ishlash prinsipidan farq qilmaydi.

Uch chulg'amli transformatorlarda bitta birlamchi va ikkita ikkilamchi chulg'amli, hamda ikkita bir chulg'amli va bitta ikkilamchi chulg'amli transformatorlar mavjud.

Nisbatan keng tarqalgan bitta birlamchi chulg'amli transformatorlar asosiy tenglamalari, ishlash xususiyatlari va qo'llanish sohalarini ko'raylik (3.1,a-rasm). Bu

transformatorning birlamchi (quvvati katta) chulg‘ami magnitlovchi bo‘lib, magnit o‘zakda magnit oqimni hosil qiladi, u qolgan ikki chulg‘amlarni kesib o‘tadi va ularda $\dot{E}_2$ va $\dot{E}_3$ EYUKlarni hosil qiladi. Ikki chulg‘amli transformatorga o‘xshash, uch chulg‘amli transformator uchun MYUK tenglamasini yozamiz

$$\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 + \dot{I}_3 w_3 = \dot{I}_0 w_1. \quad (3.1)$$

Ifoda (3.1)ni w_1 ga bo‘lib, toklar tenglamasini hosil qilami

$$\dot{I}_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_3 = \dot{I}_0, \quad (3.2)$$

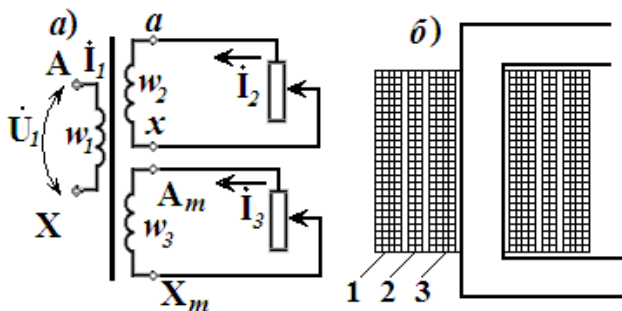
$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / k_{12}; \dot{I}'_3 = \dot{I}_3 / k_{13} \quad (3.3)$$

bunda $k_{12}=w_1/w_2$ — ikki chulg‘am w_1 va w_2 orasidagi transformatsiyalash koefitsienti; $k_{13} = w_1/w_3$ — w_1 va w_3 chulg‘amlar orasidagi transformatsiyalash koefitsienti.

Yuksiz ishlash tokini e‘tiborga olmagan holda, uch chulg‘amli transformatorning soddalashtirilgan toklar tenglamasini olamiz

$$\dot{I}_1 \approx -(\dot{I}'_2 + \dot{I}'_3). \quad (3.4)$$

Uch chulg‘amli transformatorni qo‘llashning iqtisodiy asoslanishini quyidagicha izohlash mumkin. Birinchidan, uch chulg‘amli transformatorni ikkita ikki chulg‘amli transformator o‘rniga qo‘yish mumkin. Ikkinchidan, (3.4)dan ko‘rinadiki, uch chulg‘amli transformatorning birlamchi toki keltirilgan ikkilamchi toklarning arifmetik emas, balki geometrik yig‘indisiga teng. Bu tenglikni e‘tiborga olib, hamda ikkilamchi chulg‘amlardagi yuklanish nominal qiymatiga bir vaqtda erishmasligi uchun, birlamchi chulg‘amni ikkala ikkilamchi chulg‘amlar nominal quvvatlarining arifmetik yig‘indisidan kichikroq quvvatga hisoblanadi.



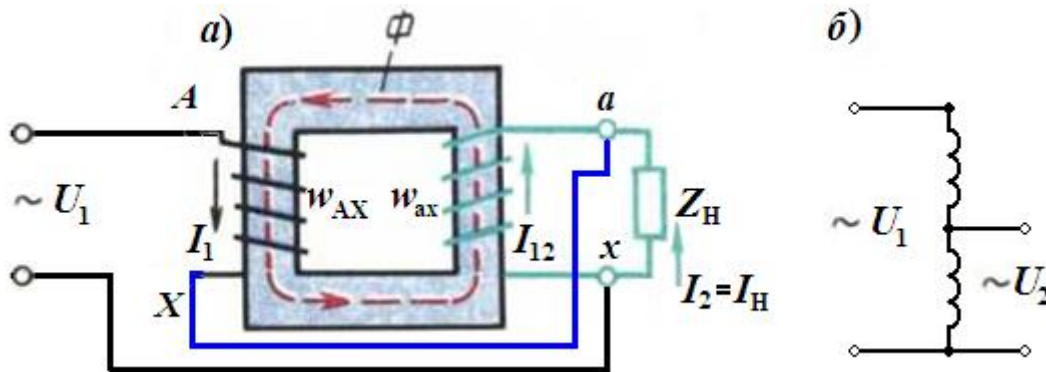
3.1-rasm. Bitta birlamchi va ikkita ikkilamchi chulg‘amli uch chulg‘amli transformator

Uch chulg‘amli transformatorning chulg‘amlari sterjenlarda yakka o‘qli ustma-ust konsentrik (3.1,b-rasm) joylashtiriladi, bunda ikkilamchi chulg‘amlarni birlamchi chulg‘amning ikki tomoniga joylashtirish maqsadga muvofiq bo‘ladi; bunda birlamchi chulg‘am 2, ikkilamchi - 1 va 3 chulg‘amlar bo‘ladi. Ushbu holatda ikkilamchi chulg‘amlarni o‘zaro ta’siri susayadi.

Yirik elektr stansiyalarning uch chulg‘amli transformatorlarida ba’zan ikkita birlamchi (ularning har biriga generator ulanadi) va bitta ikkilamchi chulg‘am bo‘ladi (unga yuqori kuchlanish liniyasi tarmog‘i ulanadi). Aksariyat, bunday uskunalar bir fazali uch chulg‘amli transformatorlar guruhini tashkil etadi (1.20,a-rasm).

3.2. Avtotransformatorlar

Avtotransformator – bu shunday transformator, unda chulgʻamlar orasida magnit bogʻlanishdan tashqari elektrik bogʻlanish ham mavjud. Oddiy transformatorning chulgʻamlarini avtotransformator sxemasi boʻyicha yigʻish mumkin. Buning uchun Ax klemmalarni (3.2,a-rasm) birlamchi tarmoqqa ulab, ax klemmalari esa yuklanish Z_H klemmalariga ulansa, pasaytiruvchi transformator hosil boʻladi. Agar ax chiqish klemmalarini birlamchi tarmoqqa ulansa va Ax klemmalariga Z_H ulansa, kuchaytiruvchi transformator hosil boʻladi.



3.2-rasm. Bir fazali pasaytiruvchi avtotransformatorning elektromagnit (a) va prinsipial (b) sxemalari

Pasaytiruvchi transformator ishlashini batafsil koʻraylik. Chulgʻam wax bir vaqtning oʻzida birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning tarkibiy qismlaridir. Bu chulgʻamdan I₁₂ toki oqadi. Nuqta a uchun toklar tenglamasini yozamiz

$$I_2 = I_1 + I_{12}, \quad (3.5)$$

$$\text{yoki } I_{12} = I_2 - I_1, \quad (3.6)$$

ya'ni, wax oʻramdan I₂ va I₁ toklarning algebraik yigʻindisiga teng boʻlgan I₁₂ toki oqadi. Agan avtotransformator transformatsiyalash koeffitsienti $k_A = w_{AX}/w_{ax}$, birga yaqin boʻlsa, u holda I₁ i I₂ bir-biridan farqi kam boʻladi, ular algebraik yigʻindisi esa juda kichik qiymat hisoblanadi. Bu vaziyat wax oʻramlarni kichik kesim yuzasiga ega boʻlgan simdan yasash imkonini beradi. Birlamchi chulgʻamdan ikkilamchi chulgʻamga uzatilayotgan avtotransformatorning uzatish quvvati $S_{uzat} = U_2 I_2$ tushunchasini kiritamiz. Bundan tashqari, birlamchi chulgʻamdan ikkilamchi chulgʻamga magnit oqimi orqali oʻtkazilayotgan hisobiy quvvat degan miqdor ham qoʻllaniladi. Bu quvvatni hisobiy deyishlaridan maqsad, transformatorning ogʻirligi va gabaritlari shu quvvatga bogʻliqdir. Transformatorlarda barcha uzatiluvchi quvvat elektromagnit quvvatidir, chunki ularda transformator chulgʻamlari orasida faqat magnit bogʻlanish mavjuddir. Avtotransformatorlarda esa, birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlar orasida magnit bogʻlanishdan tashqari, elektrik bogʻlanish ham mavjuddir. Shu sababli hisobiy quvvat uzatiluvchi quvvatning bir qisminigina tashkil etadi, qolgan qismi bir chulgʻamdan ikkinchisiga uzatilishda magnit oqim ta'sirisiz oʻtadi. Buning isboti sifatida avtotransformatorning uzatiluvchi quvvatini tashkil etuvchilarga ajratamiz $S_{uzat} = U_2 I_2$. Buning uchun (3.5)dan foydalanamiz. Bu ifodani uzatish quvvati ifodasiga qoʻysak, quyidagini hosil qilamiz

$$S_{uzat} = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_{12}) = U_2 I_1 + U_2 I_{12} = S_e + S_{xisob}. \quad (3.7)$$

bunda $S_e = U_2 I_1$, —elektrik bogʻlanish natijasida avtotransformator birlamchi zanjiridan ikkilamchi zanjiriga uzatilayotgan elektr quvvati.

Shunday qilib, avtotransformatorning $S_{\text{xtsob}} = U_2 I_{12}$ hisobiy quvvati, uzatilayotgan quvvatning bir qisminigina tashkil etar ekan. Bu esa, avtotransformator ishlab chiqarish uchun magnit o'zakni transformatorlardagiga nisbatan kichik kesim yuzasi tanlash imkonini berar ekan.

Chulg'amning o'rtacha uzunligi ham kamayadi; natijada mis sarflanishi kamayadi. Shu bilan birga, magnit o'zak va misdagi energiya isrofi kamayadi, avtotransformator f.i.k. ortadi.

Shunday qilib, avtotransformator bir hil quvvatli transformatoridan quyidagi afzalliklari bilan farqlanadi:

aktiv materiallar (mis, elektrotexnik po'lat)ning kam sarflanishi;

f.i.k.ning yuqoriligi (katta quvvatli avtotransformatordagi f.i.k. 99,7% gacha bo'ladi);

gabaritining kichikligi;

narxining pastligi.

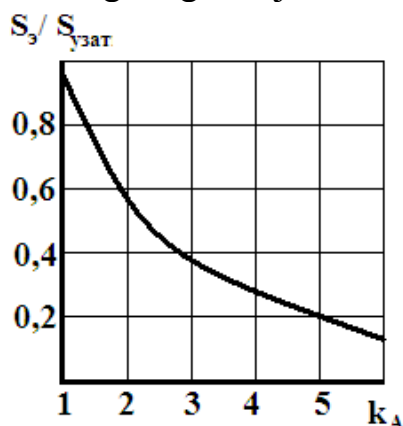
Avtotransformatorning o'rnatilgan quvvati oshgan sari, uning yuqorida keltirilgan afzalliklari kattaroq bo'ladi.

Birlamchi zanjirdan ikkilamchi chulg'amga elektrik bog'lanish tufayli o'tkazilayotgan elektrik quvvat SE , quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

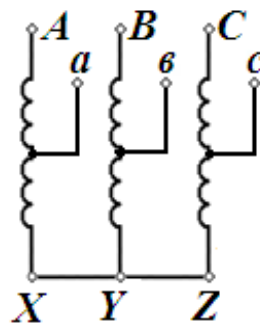
$$S_e = U_2 I_1 = U_2 I_2 / k_A = S_{pr} / k_A, \quad (3.8)$$

ya'ni, SE transformatsiyalash koeffitsienti k_A ga teskari proporsional ekan.

3.3-rasmdan ko'rinadiki, kichik transformatsiyalash koeffitsienti bo'lganda oddiy transformatorlarning o'rniga avtotransformatorni qo'llash bilan katta yutuqlarga erishish mumkin. Masalan, $k_A = 1$ bo'lganda avtotransformatorning barcha quvvati ($SE/S_{\text{uzat}} = 1$) ikkilamchi chulg'amga zanjirlar orasidagi elektrik bog'lanish tufayli o'tadi.



3.3-rasm. S_3 / S_{uzat} qiymatning Transformatsiyalash koeffitsiyentiga bog'liqligi



3.4-rasm. Uch fazali avtotransformator

Avtotransformatordagi qo'llashning eng maqsadga muvofiq rejimi transformatsiyalash koeffitsientining $k_A < 2$ dir. Transformatsiyalash koeffitsienti katta bo'lganda avtotransformator eng katta kamchiliklari quyidagilardan iborat:

1. Avtotransformator pasaytiruvchi bo'lganda q.t. toki kattaligidir. 3.2-rasmdagi a va x klemmlar qisqa tutashtirilganda U_1 kuchlanish chulg'amning juda kichik q.t. qarshiligiga ega bo'lgan o'ramlar soni Aa ga qo'yilgan bo'ladi. Bunda avtotransformator q.t.ning xavfli ta'siridan o'z-o'zini himoya qila olmaydi. Shu sababli, q.t. toklari avtotransformator zanjiriga ulangan boshqa elektr qurilmalar hisobiga cheklanadi.

2. YUK chulg'ami va QK tomoni orasidagi elektrik bog'lanish; bu barcha chulg'amlarni kuchaytirilgan darajada elektr izolyasiyalashni talab etali.

3. Avtotransformatorlar kuchlanishni pasaytiruvchi sxemalarda qo'llanilganda QK tarmog'i o'tkazgichlari va zaminlovchi o'tkazgichlar orasida, YUK tomonidagi faza va zamin orasidagi kuchlanishga yaqin bo'lgan kuchlanish hosil bo'ladi.

4. Xizmat ko'rsatuvchi personalning xavfsizligini ta'minlash maqsadida, YUK tarmog'i kuchlanishini bevosita iste'molchiga ulangan QK zanjiri qiymatigacha pasaytirishda avtotransformatordan foydalanish mumkin emas.

Avtotransformatorlar katta quvvatli elektr motorlarining ishga tushirish toklarini pasaytirish uchun o'zgaruvchan tok elektr yuritmalarida qo'llaniladi, shuningdek elektr metallurgik pechlarning ishlash rejimlarini boshqarish uchun ham ishlatiladi. Kichik quvvatli avtotransformatorlar radio, axborotlashtirish va avtomatika tizimlarida ham ishlatiladi.

Texnikada o'zgaruvchan transformatsiyalash ko'effitsientiga ega bo'lgan avtotransformatorlar keng qo'llaniladi. Bunday vaziyatlarda ikkilamchi kuchlanish qiymatini o'zgartirish uchun, avtotransformator o'ramlar soni waxni o'zgartiruvchi qurilma bilan jihozlanadi (3.2-rasm). Buni amalga oshirish uchun yoki qayta ulagichdan, yoki izolyasiyadan tozalangan chulg'am o'ramlarida sirpanuvchi kontakt (shchetkalar)dan foydalaniladi. Bunday transformatorlar kuchlanish rostlagichlari deyiladi va bir fazali va uch fazali bo'lishi mumkin.

8-mavzu. O'zgaruvchan tok mashinalarining umumiy masalalari. O'zgaruvchan tok mashinalarining stator chulg'ami qismlari, sxemalari.

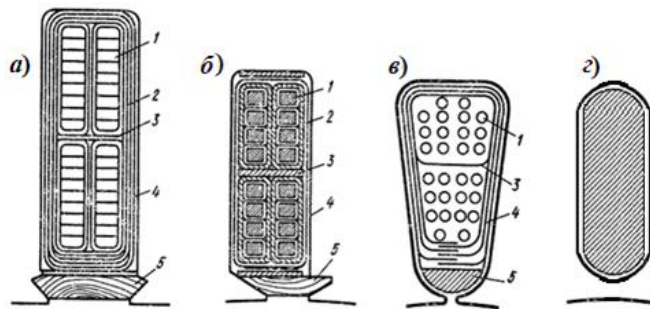
O'zgaruvchan tok mashinalari ikki turga bo'linadi. *Asinxron va sinxron* mashinalari. Bu mashinalar qo'zg'almas qism - *stator*dan va uning ichiga podshipniklar va podshipnik qalqonlari vositasida mahkamlangan aylanuvchi qism - *rotor*dan iborat. Stator va rotor bir-biridan *havo oralig'i* bilan ajratilgan. Havo oralig'ining o'lchami mashinaning ish xossalariga jiddiy ta'sir qiladi. Masalan, sinxron mashinalarda u o'ta yuklanish qobiliyatini oshirsa, asinxron mashinalarda havo oralig'ining katta bo'lishi ularning quvvat ko'effitsienti $\cos\varphi$ va aylantiruvchi momentni kamaytiradi. O'zgaruvchan tok elektr mashinalari - asinxron va sinxron mashinalar bir-biridan rotorining tuzilishi bilan farq qilsa ham, *ularning statorlarida prinsipial farq bo'lmastligi*, ishlash prinsipi va nazariyasi *o'xshashlik jihatlari* mavjud. Bulardagi fizik jarayonlarning umumiyliigi ular nazariyasi o'xshashligini, o'zgaruvchan tok chulg'amlari konstruksiyasi hamda statorlari tuzilishining prinsipial o'xshashligini keltirib **Attiq qismlari.**

Magnit o'zak va chulg'amlar o'zgaruvchan tok mashinalarining *aktiv qismlari* hisoblanadi. O'zgaruvchan magnit oqim o'tadigan mashinaning magnit o'zagi, aniqrog'i asinxron mashina stator va rotor hamda sinxron mashina statori magnit o'zaklari elektrotexnik izotrop (magnit o'tkazuvchanligi po'latning jo'valanish yo'nalishiga bog'liq bo'lmagan) sovuq- jo'valangan po'lat tunuka (list)laridan yig'iladi. Stator o'zagining ichki silindrik yuzasi (havo oralig'i) tomonida *stator chulg'ami joylashtirish* uchun shtamplash vositasida po'lat listlarga bir xil andozali pazlar qirqiladi.

Elektr mashinalarining rotorini valga mahkamlangan podshipniklar vositasida aylanadi. Quvvati 1000 kVt gacha bo'lgan elektr mashinalarida podshipnik qalqonida joylash-

tiriladigan *sharikli va rolikli dumalash podshipniklari*, quvvati $R \geq 1000$ kVt bo'lganda esa mashina korpusidan tashqarida bo'lgan tayanchda *sirpanish podshipniklari* qo'llaniladi.

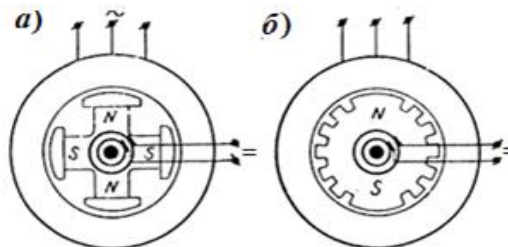
Asinxron mashinaning rotor o'zagi uning valiga (katta quvvatli mashinalarda esa rotor vtulkasiga) presslanadi va maxsus siquvchi shaybalar bilan mahkamlanadi. Rotor po'lat o'zagining tashqi silindrik yuzasi (havo oralig'i) tomonidagi pazlarda rotor chulg'ami joylashadi.



4.1-rasm. Statorning ochiq (a), yarim ochiq (b), yarim yopiq (d) hamda rotorning yopiq (e) shakldagi pazlar kesimlari

Po'lat o'zak tishlari va pazlarining shakllari mashina turiga va uning quvvatiga bog'liq. *Katta quvvatli* mashinalarda stator va rotor chulg'amlarini to'g'riburchak kesimli o'tkazgichlardan bajariladi; bu holda o'tkazgichlarni pazda yaxshi joylashtirish va ishonchli izolyasiyalashni ta'minlash imkoniyati yaxshilangani sababli to'g'riburchak shaklli *ochiq pazlar* qo'llaniladi. *Kichik va o'rta quvvatli* mashinalarda rotor va stator chulg'amlari, aksariyat aylana kesim yuzali o'tkazgichlardan yasilib, pazlar *yopiq* yoki trapetsiyaga o'xshash *yarim yopiq* shaklda qirqiladi. Ayrim hollarda to'g'riburchak kesimli o'tkazgich ishlatilganda *yarim ochiq* pazlar qo'llaniladi (4.1-rasm).

Sinxron mashinalar rotorining tuzilishiga ko'ra: ayon qutbli va noayon qutbli turlarga bo'linadi.



4.2-rasm. Sinxron mashinasining rotorlari tuzilishi: ayon qutbli (a) va noayon qutbli (b) rotorlar

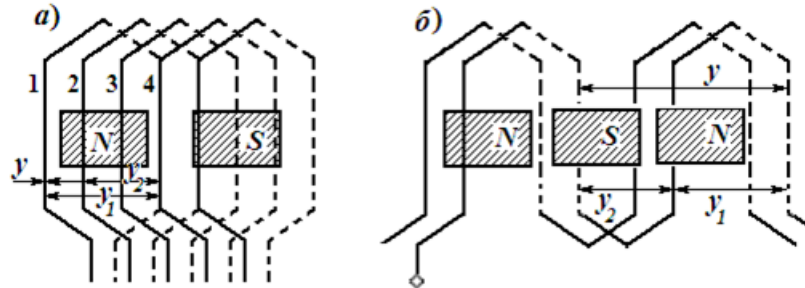
Noayon qutbli sinxron mashinalarda rotor massiv (yaxlit po'lat to'sin) qilib bajariladi (4.2,a-rasm). Unda frezerlab qirqilgan pazlarida qo'zg'atish chulg'ami joylashtiriladi va rotorga nisbatan qo'zg'almas bo'lgan magnit oqimi hosil qilinadi.

Mashina havo orlig'ida magnit induksiyaning taxminan sinusoidal bo'lishini ta'minlash maqsadida, qo'zg'atish chulg'ami o'tkazgichlari rotor aylanasiining 2/3 qismidagi pazlarda taqsimlangan holda joylashtiriladi.

Ayon qutbli sinxron mashinalarda qutb o'zagiga maxsus shakl beriladi. Uning chekkalaridagi havo oralig' $\delta_{\max}$ qutb o'rtasidagi δ ga nisbatan $1,5 \div 2$ baravar katta qilib tayyorlanadi. Ayon qutbli sinxron mashinalarda rotorning markazdan qochirma kuchlari katta bo'lganligi sababli qutb ulanish joylari sinishining oldini olish uchun rotor aylanish tezligi nisbatan kichik - qutblar soni katta ($2r \geq 4$) qilib tayyorlanadi (4.2,b-rasm).

O'zgaruvchan tok mashinasi stator chulg'ami sxemalari

O'zgaruvchan tok mashinalarida stator chulg'ami magnit o'zak pazlariga ma'lum tartibda joylashtiriladi. Bir xil pazlarda joylashgan o'ramlar bir-biri bilan ketma-ket ulanib *g'altak (seksiya)* larni hosil qiladi (4.3,a-rasm). Qo'shni pazlarda joylashgan g'altaklar ketma-ket ulanib *g'altaklar guruhini* hosil qiladi. Ular mashinaning bitta fazasi va juft qutbga to'g'ri keladi. Chulg'amning har bir fazasi A-X, V-U, S-Z bir necha parallel (faza toki katta bo'lgan hollarda) yoki ketma-ket ulangan g'altaklar guruhidan tashkil topadi.



4.3-rasm. Sirtmoqsimon (a) va to'liqinsimon (b) chulg'amlar

O'zgaruvchan tok chulg'amlarini tushunishda darslikda chulg'am fazasi boshi A, V, S va keti X, Y, Z lotin harflari bilan belgilanadi. Ta'kidlash lozimki, bunday uslubiy yondashish chulg'amlarni nazariy o'rganishda yaqqollikni ta'minlaydi (amalda esa standartda belgilangan shartlarga rioya qilinadi).

Ilgari uch fazali stator chulg'ami (ba'zan yakor chulg'ami ham deyiladi) ning klemmalari S1–S4 (A-faza), S2–S5 (V-faza), S3–S6 (S-faza) belgilangan. Xalqaro standartga ko'ra (ГОСТ 26772-85), 1.01.1997 dan boshlab MDH mamlakatlari elektr mashinasozlik zavodlarida ishlab chiqarilgan o'zgaruvchan tok mashinalari stator chulg'ami fazasining boshi va keti uchun yangicha belgilanish joriy qilingan: U1–U2 (A-faza), V1–V2 (V-faza), W1–W2 (S-faza). Statorning faza chulg'amlari yulduz (Y) yoki uchburchak (Δ) usulida ulanishi mumkin, shu maqsadda klemmalar qutichasida chulg'am uchlarining boshi va keti ma'lum tartibda joylashtiriladi.

Chulg'amning *eng oddiy elementi o'ram* (4.3,a- rasm) hisoblanadi. O'ram bir-biridan yakor aylanasi chulg'am qadami «y» ga teng bo'lgan masofadagi pazlarda joylashgan ikkita o'tkazgichning ketma-ket ulanishidan hosil bo'ladi. Chulg'am qadami taxminan qutb bo'linmasiga teng: $u \approx \tau = \pi D / (2r)$; (bunda D– stator ichki diametri; 2r – qutblar soni).

Qutb bo'linmasi τ ni pazlar soni Z orqali ham aniqlash mumkin, bu holda chulg'am qadami:

$$y = \tau = Z / (2p) = \pi D_1 / 2p, \quad (4.1)$$

Agar $u = \tau$ bo'lsa, chulg'am diametral yoki to'la qadamli; $y < \tau$ bo'lsa – qisqartirilgan qadamli; $y > \tau$ bo'lganda esa uzaytirilgan qadamli chulg'am deyiladi.

Qo'shni pazlarda joylashgan bitta g'altak guruhidagi g'altak tomonlari q ta pazlarni egallab faza siljish

$$\alpha = 2\pi \cdot r \cdot q / Z \quad (4.2)$$

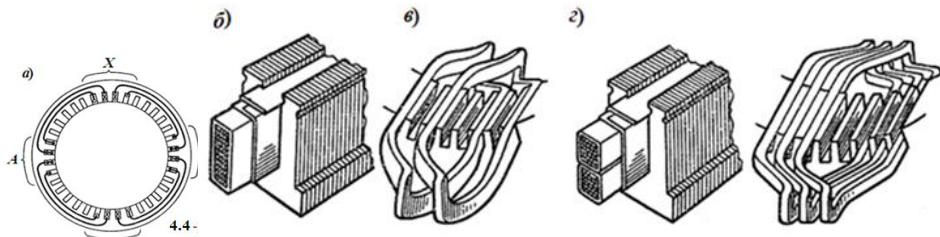
bilan faza zonasini hosil qiladi

$$q = Z / (2r \cdot m), \quad (4.3)$$

bunda m – fazalar soni.

4.4,g-rasmda ko'rsatilgan stator chulg'amining har bir fazasi A-X, V-U, S-Z uchta g'altakdan tashkil topgan bo'lib, tomonlari uchta pazlarda joylashgan, ya'ni $q = 3$. Umuman uch fazali chulg'amda bitta qutb bo'linmasida $3q$ pazlar joylashgan bo'ladi, $q=1$ bo'lganda esa har bir qutb ostida bir fazaning bitta g'altagi joylashgan bo'ladi.

Seksiya tomonlarining pazlarda joylashish tartibi va pazlardan tashqari qismining joylashtirilishiga qarab chulg'amlar *bir qatlamli*, (4.4,b,d-rasm) *ikki qatlamli* (4.4,g-rasm) va *bir-ikki (kombinatsiyalangan) qatlamli* bo'ladi. Agar pazda seksiyaning faqat bitta tomoni joylashgan bo'lsa – *bir qatlamli*, pazda seksiyaning yuqorgi qatlami va boshqa seksiyaning pastki qatlami ustma-ust joylashsa – *ikki qatlamli* chulg'am deyiladi.



4.4-rasm. Uch fazali bir qatlamli stator ($Z=36$, $2p=4$, $q=3$) chulg'amida "A" fazasi g'altaklarini joylashtirish sxemasi (a) hamda bir qatlamli (b) va ikki qatlamli (d,e) chulg'amlar joylanishi

Bir-ikki qatlamli konsentrik chulg'amlarda bir qatlamli chulg'am g'altaklarini pazlarga joylashtirishda mexanizatsiyani qo'llashning engilligi va ikki qatlamli chulg'amlarda esa qisqartirilgan qadam qo'llash mumkinligi kabi afzalliklarini o'zida mujassamlashtirgan. Bunday chulg'amlar quvvati $15 \div 100$ kVt ($q \leq 6$) bo'lgan mashinalarda qo'llaniladi.

Bir qatlamli chulg'amni qisqartirilgan qadamli qilib bo'lmaydi, bu ularning *asosiy kamchiligi* hisoblanadi. Chulg'am qadami qisqartirilmagan bo'lsa, mashina havo oralig'idagi magnit maydonning shaklida yuqori garmonikalarning bo'lishi, qo'shimcha isroflarning ortishiga, mexanik tavsifda o'pirilish (ya'ni keskin pasayish)lar vujudga kelishiga va mashina shovquni oshishiga olib keladi.

Lekin o'zining oddiyligi, arzonligi va chulg'am seksiyalarini pazlarga joylashtirish texnologiyasida mexanizatsiyani to'la qo'llash mumkinligi tufayli bir qatlamli chulg'amlar kam quvvatli (ya'ni quvvati $10 \div 15$ kVtgacha bo'lgan) mashinalarning stator chulg'ami uchun keng qo'llanilmoqda. Misol tariqasida bir qatlamli chulg'amning amalda keng qo'llaniladigan turi, ya'ni bir qatlamli konsentrik chulg'am sxemasini ko'rsatish mumkin ($Z=24$, $2p=4$, $q=2$, $a=1$).

O'zgaruvchan tok elektr mashinalarining chulg'amlari fazalar soniga ko'ra bir, ikki va uch fazali bo'lishi mumkin; seksiyalarining shakliga va ulanishiga ko'ra esa *sirtmoqsimon* va *to'lqinsimon* turlarga bo'linadi; ularning qadamlari tegishli 4.3-rasmlarda ko'rsatilgan.

Stator chulg'amini hisoblash

Ikki qatlamli sirtmoqsimon chulg'amlar turbogeneratorlarda va umum maqsad o'zgaruvchan tok elektr mashinalarida keng qo'llaniladi.

Mashinaning har bitta qutbiga va fazasiga to'g'ri keladigan pazlar so-ni q butun songa teng bo'lgan sirtmoqsimon chulg'am o'zgaruvchan tok mashinalarida keng qo'llanishini e'tiborga olib quyidagi misolda ko'rib chiqamiz.

4.1-misol. Berilgan: pazlar soni $Z=24$, qutblar soni $2r=4$ bo'lgan uch fazali ($m=3$) chulg'amni hisoblash, yoyilgan sxemasini chizish va uning asosida parallel shoxobchalar hosil qilish hamda chulg'amning pazlardagi EYK lar yulduzini qurish talab etiladi.

Bu holda mashinaning har bitta qutbiga va fazasiga to'g'ri keladigan pazlar soni « q » quyidagicha aniqlanadi

$$q = Z / (2p \cdot m) = 24 / (4 \cdot 3) = 2. \quad (4.4)$$

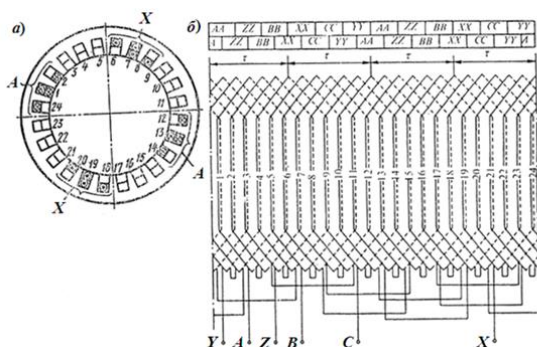
Tish bo'linmasida ifodalangan qutb bo'linmasi quyidagicha topiladi

$$\tau = Z / (2r) = 24 / (2 \cdot 2) = 6. \quad (4.5)$$

O'zgaruvchan tok mashinasida MYK (yoki EYK) ning o'zgarish shaklini sinusoidal shaklga yaqinlashtirish maqsadida chulg'amning qadami taxminan $u \approx 0,833 \cdot \tau$ ga teng bo'lgan qisqartirilgan qadam tanlanadi. Shu sababli chulg'amning tish bo'linmasida ifodalangan qadami quyidagiga teng bo'ladi

$$u = 0,833 \cdot \tau = 0,833 \cdot 6 = 5.$$

Bu chulg'amning sxemasi 4.5-rasmda ko'rsatilgan. Bu chulg'am sxemasining tuzilishi quyidagicha tushuntiriladi: dastavval pazlarning ustida joylashgan g'altaklar tomonlarini har qaysi zonada ikkita pazda joylashgan tomonni ($q=2$) faza zonalari bo'yicha taqsimlab chiqamiz.



4.5-rasm. Uch fazali ikki qatlamli chulg'am g'altaklari stator pazlarida joylanishi (a) va sirtmoqsimon chulg'am ($Z=24$, $m=3$, $2p=4$) yoyma sxemasi (b)

Agar 1 va 2-pazlarni «A» faza zonasi uchun ajratilsa, u holda «V» faza zonasiga 5 va 6-pazlarni ajratish kerak bo'ladi, chunki «V» faza «A» fazaga nisbatan 120° ga siljigan bo'ladi, ya'ni 2 ta zona 60° dan yoki 4 ta ($120^\circ / \alpha = 120^\circ / 30 = 4$) pazga ciljigan bo'lishi kerak ($1+4 = 5$; $2+4 = 6$). "S" faza zonasi ham "V" faza zonasiga nisbatan 120° ga siljib, $5+4=9$ va $6+4=10$ pazlarni egallaydi. Keyingi juft qutb bo'linmasi davomida ham (pazlar $13 \div 24$) «A», «V» va «S» zonalarning almashib kelishi shunday tartibda amalga oshadi («A» faza zonasiga 13, 14-pazlar; «V» faza zonasiga 17, 18-pazlar; «S» faza zonasiga 21, 22-pazlar to'g'ri keladi). Demak, ustki qatlam shu tarzda taqsimlanadi.

Boshqa faza zonalarni ham «A», «V», «S» fazalar bo'yicha taqsimlab chiqamiz va ularni mos ravishda «X», «U», «Z» bilan belgilaymiz. Bunda «A» fazaga tegishli «X» zona uchun «A» zonaga nisbatan $\tau=6$ taga siljigan pazlarni ajratamiz, ya'ni $1+6=7$, $2+6=8$, $13+6=19$, $14+6=20$ -pazlar. Xuddi shunday «U» zonaga $5+6=11$, $6+6=12$, $17+6=23$, $18+6=24$ -pazlarni, «Z» zona uchun esa $9+6=15$, $10+6=16$, $21+6=27-24=3$, $22+6=28$

$-24 = 4$ pazlarni ajratamiz. Shu tarzda pazlarning ustki qatlamidagi g'altaklar tomonlarini fazalar zonasi bo'yicha tarqalishiga ega bo'lamiz.

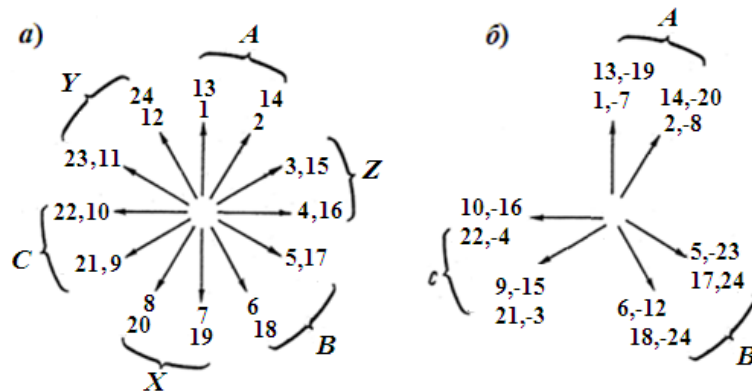
«A», «V», «S» va «X», «U», «Z» zonalar orasidagi farq shundaki, g'al-taklarning tomonlaridagi EYKlar faza bo'yicha 180° siljigan bo'ladi, chunki ular magnit maydonda bir yoki toq son qutb bo'linmasiga siljigan bo'ladi. Ko'rayotgan misolimizda qadam bir tish bo'linmasiga qisqartirilgan, shuning uchun pazlarning pastki qatlamidagi g'altaklar tomonlari, 4.5-rasm yuqori qismining pastki qatorida ko'rsatilganidek, chap tomonga bir tish bo'linmasiga siljiydi. Pastki tomonlarni zonalar bo'yicha bo'lib chiqmasa ham bo'ladi, chunki g'altaklarning pazlardan tashqari qismlarini chizganda o'z-o'zidan kelib chiqadi.

Shuni ta'kidlash lozimki, 4.5-rasmdagi «A», «Z», «V», «X», «S», «Y» zonalarining har bir zonada q ta paz bilan qo'sh qutb bo'linmasi davomida almashib kelishi faza zonasi 60° bo'lgan har qanday uch fazali chulg'am uchun taalluqli bo'lib, yuqoridagi hisoblashlarga hojat yo'qdir.

Faza bo'yicha pazlarning tarqalishini chulg'am pazlaridagi g'altak (yoki o'tkazgich)larning EYK lari yulduzi (4.6-rasm) yordamida ham amalga oshirish mumkin.

Qo'shni pazlar o'tkazgichlaridagi EYK larning faza bo'yicha siljish burchagi α ko'rilayotgan misolda quyidagicha topiladi:

$$\alpha = r \cdot 360^\circ / Z = 2 \cdot 360^\circ / 24 = 30^\circ.$$



4.6-rasm. Avvalgi rasmda tasvirlangan chulg'amning pazlaridagi o'tkazgichlar EYK lari vektor diagrammalari

Pazlardagi g'altaklar tomonlari EYK larining vektorlari qo'sh qutb bo'linmasi davomida aylanib kelishi (1÷12 vektorlar) EYK vektorlarining yulduzi q butun son bo'lganda, mos keluvchi pazlarning (1 va $1+12=13$ hamda shunga o'xshashlar) EYK lari ustma-ust tushganligi uchun faza bo'yicha takrorlanadi. Agarda birinchi ikki vektorni «A» zonasi uchun (1; 2 va 13; 14-vektorlar) ajratsak, u holda «V» va «S» zonalaridagi vektorlar «A» zona vektorlariga nisbatan 120° va 240° ga siljigan bo'ladi. «X», «U», «Z» zonalarining vektorlari esa «A», «V», «S» zonalar vektorlariga nisbatan 180° ga siljigan bo'ladi. Natijada 4.5-rasmdagi yuqori qatorda ko'rsatilgan zonalar bo'yicha pazlarning tarqalishiga ega bo'lamiz.

Sxemada har bir paz uchun ikkita o'tkazgich (g'altak tomonlari) chizilgan. Ularning chap tomonlari yuqori qatlamga, o'ng tomonlari esa pastki qatlamga joylashgan deb hisoblaymiz. g'altaklarni yuqori tomonlaridan boshlab nomerlab chiqamiz. Qo'shni pazlardagi g'altaklarning EYK lari ham 30° ga siljigan bo'ladi, demak, pazlardagi g'altaklar o'tkazgichlarining EYK lari yulduzini (4.6,a-rasm) g'altaklar EYK lari yulduzi (4.6,b-rasm) deb qarash mumkin. Har bir g'altak guruhlariga chegarasida $q=2$ g'altaklar ketma-ket ulanadi.

Shunday qilib, «A» faza uchun (4.6,*a*-rasm) 4 ta, ya'ni 1–2, 7–8, 13–14 va 19–20 g'altaklar guruhiga ega bo'lamiz. Barcha guruh EYK lari bir-biri bilan qo'shilishi uchun ular ketma-ket ulangan, 7–8 va 19–20 guruhlar esa 1–2 va 13–14 (1–2 guruh oxirlari 7–8 guruh oxirlari bilan ulangan) guruhlariga nisbatan teskari bo'ladi (4.6,*b*-rasm)da *minus* «–» ishorali paz raqamlari). Boshqa fazalardagi guruhlarining ulanishi ham xuddi shunday usul bilan amalga oshiriladi.

«X», «U», «Z» zonalaridagi g'altak guruhlarining chulg'amda teskari ulanishi shu zonalaridagi g'altak EYK vektorlarining 180° ga burilganiga ekvivalent (teng kuchli)dir. Bunda 4.6,*a*-rasm o'rniga 4.6,*b*-rasm)idagi g'altaklar EYK lari diagrammasiga ega bo'lamiz. Bu diagramma uchta sektordan tuzilgan bo'lib, $q = 2$ yoy va fazdagi g'altaklar soniga mos holda $2p \cdot q = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ vektordan iborat. Har bir fazadagi EYK lar mos sektordagi g'altaklar EYK lari vektorlarining yig'indisiga teng. Demak, hamma fazadagi EYK lar bir biriga teng va faza bo'yicha 120° ga siljigan bo'ladi.

4.6-rasm)da «A», «V» va «S» fazalarning bosh uchlari o'rnida bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan 1, 5 va 9 g'altaklarning bosh uchlari olingan. «X», «U» va «Z» fazalarning oxirgi uchlari o'rnida 19, 23 va 3 g'altaklarning boshlanishi mos keladi.

Faza zonasi $\alpha = 60^\circ$ bo'lgan ikki qatlamli chulg'amning har bitta faza-sidagi g'altaklar guruhlarining soni qutblar soni $2r$ ga teng. Har bitta qutbga va fazaga to'g'ri kelgan pazlar soni q butun son bo'lsa $a = 2r$ gacha bo'lgan bir xil qiymatli va fazalari mos bo'lgan EYK lar hosil bo'ladigan parallel shoxobchalar (a) ni bajarish mumkin. Masalan, ko'rilayotgan ($2r=4$) chulg'amda $a = 1; 2$ yoki 4 ta parallel shoxobcha bajarish mumkin.

Sinxron va asinxron mashinalarda aylanma magnit maydon hosil qilish usullari har xil bo'lsa ham (masalan, *sinxron generator*da rotor bilan birga aylanadigan qo'zg'atish chulg'amiga o'zgaras tok berib aylanma magnit maydon hosil qilinsa, *uch fazali asinxron motor*da esa bunday maydon stator chulg'amidan uch fazali tok o'tganda hosil bo'ladi), stator chulg'amida *elektromagnit induksiya qonuniga* asosan aylanma magnit maydon tufayli EYK larning hosil bo'lish jarayoni bir xil kechadi.

Sinxron generatorlarning stator chulg'ami o'tkazgichlariga (o'ramlariga ham) nisbatan har xil qutblar davriy ravishda (navbatma-navbat) o'tishi tufayli hosil bo'ladigan EYK o'z yo'nalishini o'zgartirib turadi, ya'ni o'zgaruvchan bo'ladi. Magnit maydon bir marta aylanganida o'tkazgichdagi EYK ning davri « r » ga, « n » ta aylanganida esa « rn » ga teng bo'ladi; demak, uning chastotasi: $f_1 = rn / 60$.

Mashina havo oralig'ining « x » nuqtasidagi o'tkazgich EYK ning oniy qiymatini aniqlash formulasi umumiy hol uchun quyidagicha yoziladi:

$$e_{o'tkaz.x} = V_{\delta x} l_{\delta} v. \quad (4.7)$$

Bundan, rotorning burchak tezligi v ni o'zgaras va stator chulg'ami o'tkazgichining aktiv (magnit maydon ta'siridagi) uzunligi $l_{\delta} = \text{const}$ bo'lganligi e'tiborga olsak, EYK magnit maydonga proporsional o'zgarib, uning vaqt bo'yicha o'zgarish shakli mashina havo oralig'idagi magnit induksiya V_{δ} ning juft qutb bo'linmasi (2τ)dagi taqsimlanishini takrorlaydi.

Umumiy holda induksiyaning taqsimlanish shakli nosinusoidal xarak-terda bo'ladi. Induksiyaning egri chizig'i absissa o'qiga va qutblar o'qiga nisbatan simmetrik bo'lganligi sababli, bu egri chiziqni Fure qatoriga yoyganda, unda faqat toq garmonikalar bo'ladi. Ularni *fazoviy garmonikalar* deyiladi, chunki bu garmonikalar induksiya-sining taqsimlanishi fazoviy koordinatalarga bog'liq bo'lib, vaqtga esa bog'liq emas. Bu garmonikalarga oid qutblar sonining oshishi va mos ravishda qutblar bo'linmasining

kamayishi ularning tartibiga bog'liq bo'ladi; *bu esa ularning o'ziga xos xususiyati hisoblanadi.*

Magnit maydon 1-garmonikasining o'tkazgichda hosil qilgan EYK ning 1-garmonikasi ($e_{o'tkaz.x\ 1}$), uning amplitudasi ($E_{o'tkaz.x\ 1}$) va ta'sir etuvchi ($E_{o'tk1}$) qiymatlari quyidagilarga teng bo'ladi:

$$e_{o'tkaz.x\ 1} = E_{o'tkaz.x\ 1} \sin \omega t; \quad (4.8)$$

$$E_{o'tkaz.x\ 1} = V_{\delta \max 1} \cdot l_{\delta} \cdot v; \quad (4.9)$$

$$E_{o'tk1} = E_{o'tkaz.x\ 1} / \sqrt{2} = (B_{\delta \max 1} / \sqrt{2}) \cdot l_{\delta} \cdot v, \quad (4.10)$$

bunda: $B_{\delta \max 1}$ —mashina havo oralig'i magnit oqim induksiyasi 1-garmonikasi, T; l_{δ} —o'tkazgichning aktiv magnit maydon ta'siridagi uzunligi, m; v —aylanuvchi magnit maydonning burchak tezligi, m/s

EYKni hisoblashda qutb bo'linmasidagi magnit oqim F_{δ} dan foydalanish zarur. Uning 1-garmonikasi quyidagiga teng

$$F_{\delta 1} = V_{\delta (o'rt).1} \cdot \tau \cdot l_{\delta}, \quad (4.11)$$

bu erda: $V_{\delta (o'rt).1}$ —magnit induksiyaning o'rtacha qiymati; $\tau = \pi D_1 / (2r)$ —qutb bo'linmasi; D_1 —statorning ichki diametri.

Sinusoida uchun $V_{\delta (o'rt).1} = (2/\pi) \cdot V_{\delta \max 1}$ bo'lganligi tufayli (4.11) ifodadan quyidagiga ega bo'lamiz

$$V_{\delta \max 1} = \pi F_{\delta 1} / (2 \tau \cdot l_{\delta}). \quad (4.12)$$

$V_{\delta \max 1}$ ning bu qiymatini (4.10) ga qo'yib va

$$v = \pi D_1 \cdot n_1 / 60 = \tau \cdot 2r \cdot n_1 / 60 = 2\tau \cdot f$$

tenglikni hisobga olgan holda, quyidagiga ega bo'lamiz

$$E_{o'tk.1} = 2 [\pi / (2\sqrt{2})] \cdot f \cdot F_{\delta 1} = 2,22 \cdot f \cdot F_1. \quad (4.13)$$

Magnit maydon shakli nosinusoidal bo'lganda o'tkazgichdagi EYK quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$E_{o'tk} = 2 k_v \cdot f \cdot F_{\delta}; \quad (4.14)$$

bu erda: $k_B = V_{\delta \max 1} / V_{o'rt}$ —magnit maydon shaklining koeffitsienti. Magnit maydon sinusoidal shaklga ega bo'lganda $k_B = \pi / (2\sqrt{2}) = 1,11$ ga teng.

Taqsimlangan chulg'amda qo'shni pazlarda joylashgan o'tkazgichlar o'zaro fazoviy (geometrik) burchak ($\alpha = 360^\circ / Z$) ga siljiganligidan, ularning EYK lari fazasi bo'yicha mos bo'lmaydi. Qo'shni pazlardagi o'tkazgichlar EYK larining vektorlari bir-biridan o'zaro

$$\alpha_e = 360 r / Z = \alpha r$$

elektr burchakka siljigan bo'ladi.

G'altak o'ramining EYK

Agar g'altak o'ramlari bir-biridan qutb bo'linmasiga teng ($u = \tau$) bo'lgan masofadagi pazlarda joylashgan o'tkazgichlardan yasalgan bo'lsa, ulardagi EYKlar o'zaro 180° ga siljigan bo'ladi, chunki o'ramning aktiv tomonlari (o'tkazgichlari) qarshi ulangan, ya'ni chap tomondagi o'tkazgichning keti o'ng tomondagi o'tkazgich keti bilan ulangan. Shu sababli o'ram EYKi ($E_{o'r.1}$) o'tkazgichlardagi EYKlarning geometrik (vektor) ayirmasiga teng bo'ladi. Bu vektor

diagrammadan ko‘rinishicha, chulg‘am qadami diametral ($u = \tau$) bo‘lganda o‘tkazgichlar EYK larining geometrik ayirmasi ($E_{o'r.1(d)} - o'ram\ EYK$) ularning arifmetik yig‘indisiga teng bo‘ladi, ya’ni

$$E_{o'r.1(d)} = 2 E_{o'tk.1} = 4,44 f F_{\delta 1}. \quad (4.15)$$

Chulg‘am qadami qisqartirilgan ($u < \tau$) da o‘tkazgichlar EYKlarining geometrik ayirmasi ($E_{o'r.1(qis)} - o'ram\ EYK$), chulg‘am qadami diametral bo‘lgandagi ularning arifmetik yig‘indisidan kichik ($E_{o'r.1(qis)} < E_{o'r.1(d)}$) bo‘ladi

$$E_{o'r.1(qis)} = 2 E_{o'tk.1} \cdot \sin(\beta\pi/2) = 4,44 f F_{\delta 1} k_{qis.1}, \quad (4.16)$$

bunda

$$k_{qis.1} = \sin(\beta\pi/2)$$

(4.17)– *chulg‘am qisqartirish koeffitsientining 1-garmonikasi*; $\beta = (u / \tau)$ – chulg‘am-ning nisbiy qadami.

Qisqartirish koeffitsienti ν -garmonika uchun quyidagicha yoziladi

$$k_{qis.\nu} = \sin(\nu\beta\pi / 2). \quad (4.18)$$

O‘ramlar soni w_s bo‘lgan stator chulg‘ami seksiyasi (g‘altagi)da hosil bo‘ladigan EYK ning qiymati quyidagiga teng bo‘ladi:

$$E_{s.1(qis)} = w_s \cdot E_{o'r.1(qis)} = 4,44 f F_{\delta 1} w_s \cdot k_{qis.1}. \quad (4.19)$$

G‘altaklar guruhining EYK

Agar g‘altaklar guruhidagi barcha seksiyalar bir-biridan chulg‘am qadami $u = \tau$ masofada joylashgan ikkita pazga to‘plansa, u holda EYK lar faza jihatdan mos tushadi, barcha seksiyalar guruhining EYK esa, shu guruhni hosil qiluvchi seksiyalar EYK larining arifmetik yig‘indisiga teng bo‘lar edi. Lekin, amalda statorlarning taqsimlangan holdagi, ya’ni g‘altaklar guruhi qo‘shni pazlarda joylashgan q ta bir xil g‘altak (seksiya)laridan tashkil topgan chulg‘ami ishlatiladi. Ularda har qaysi g‘altaklar guruhidagi seksiyalarning aktiv tomonlari har bitta qutb ostidagi $q > 1$ pazni egallaydi. Shuning uchun g‘altaklar guruhining seksiyalarida hosil bo‘ladigan EYK lar faza jihatdan bir-biriga nisbatan qo‘shni pazlar orasidagi α_e burchakka siljigan bo‘ladi.

Seksiyalar guruhining hamma seksiyalari o‘zaro ketma-ket ulanganligi sababli seksiyalar guruhining EYK lari yig‘indisi E_{g1} alohida seksiyalar EYK larining geometrik yig‘indisi ($E_{g.1} = \sum_1^q E_{s.1(qis)}$)ga teng bo‘ladi. Bu yig‘indi chulg‘am diametral qadamli bo‘lgandagi ularning arifmetik yig‘indisi ($E_{g1(d)} = q E_{s.1(d)}$)dan kichik bo‘ladi. Bu EYK larning nisbati

$$k_{t.1} = E_{g1} / E_{g1(d)} = \sin(q\alpha_e/2) / [q \sin(\alpha_e/2)], \quad (4.20)$$

– *chulg‘am taqsimlanish koeffitsientining 1-garmonikasi* deyiladi.

Taqsimlanish koeffitsienti ν -garmonika uchun quyidagicha yoziladi:

$$k_{t.\nu} = \sin(q\nu\alpha_e/2) / [q \sin(\nu\alpha_e/2)]. \quad (4.21)$$

Seksiyalar guruhining EYK E_{g1} quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$E_{g1} = q E_{s.1} k_{t.1} = 4,44 f F_1 w_s \cdot q k_{qis.1} k_{t.1}. \quad (4.22)$$

Chulg'am fazasining EYK

Hozirgi zamonda o'zgaruvchan tok mashinalari stator chulg'ami uchun ikki qatlamli qisqartirilgan qadamli taqsimlangan chulg'am turi keng qo'llanilmoqda. Yuqorida ta'kidlanganidek, faza chulg'ami seksiyalar guruhlaridan tarkib topgan; bu guruhlar ham, o'z navbatida, bitta qutblar jufti ostida joylashgan q ta seksiyadan iborat. Demak, barcha guruhlar bir xil magnit sharoitlarda bo'lgan bir xil sondagi seksiyalardan tashkil topadi.

Bunday elektr mashinaning faza chulg'amida hosil bo'ladigan EYK shu fazaning tarkibidagi barcha g'altaklar (seksiyalar) EYK larining yig'in-disiga teng bo'ladi. Fazaning ikki qatlamli chulg'ami $2r$ ta g'altaklar guruhi-dan, bir qatlami esa r ta guruhi-dan iborat bo'ladi. G'altaklar guruhlarini o'zaro ketma-ket, parallel yoki aralash (ketma-ket va parallel) ulanishi mumkin. Agar seksiya (g'altak) guruhlarini, o'ramlar soni w_s bo'lgan q ta seksiyadan iborat bo'lib, ular ketma-ket ulanganda chulg'amning har bitta shoxobchasi (a) va fazasida hosil bo'ladigan EYK ta'sir etuvchi qiymatining 1-garmonikasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \cdot k_{qis,1} \cdot k_{t,1} \cdot F_1 = 4,44 f w_1 \cdot k_{ch,1} \cdot F_1, \quad (4.23)$$

$$\text{bunda} \quad k_{ch,1} = k_{qis,1} \cdot k_{t,1} \quad (4.24)$$

– o'rta va katta quvvatli mashinalar chulg'am koeffitsientining 1-garmonikasi.

Chulg'am magnit yurituvchi kuchlari

O'zgaruvchan tok mashinasi havo oralig'idagi induksiya stator aylanasi bo'ylab magnit yurituvchi kuchning taqsimlanishi bilan aniqlanadi. Mashinaning statorida yoki rotorida joylashgan barcha o'zgaruvchan tok chulg'amlarining natijaviy magnit yurituvchi kuchlari (MYK) havo oralig'ida aylanuvchi magnit maydonni hosil qiladi. Shuning uchun sinusoidal kuchlanish ulanayotgan har bir chulg'am, fazoda sinusoidal taqsimlangan MYKga ega bo'ladi. Agar bu shartlar bajarilmasa (berilayotgan kuchlanish nosinusoidal yoki MYK nosinusoidal taqsimlangan bo'lsa), u holda magnit maydoni tarkibida yuqori garmonikali tashkil etuvchilar hosil bo'lib, ular mashinaning energetik ko'rsatkichlarini pasaytiradi.

O'zgaruvchan tok mashinasi stator chulg'amlari MYKlarini tahlil qilishda quyidagi farazlar qabul qilinadi:

- 1) o'zgaruvchan tok chulg'amining MYKi vaqt bo'yicha o'zgaradi va fazoda (stator aylanasi bo'ylab) taqsimlangan bo'ladi;
- 2) stator chulg'amidagi tokning vaqt bo'yicha o'zgarishi sinusoidal shaklda, demak, chulg'am MYK ham sinusoidal shaklda o'zgaradi;
- 3) mashina havo oralig'i stator perimetri bo'yicha o'zgarmas, ya'ni rotor o'zagi silindrik shaklda;
- 4) rotor chulg'amida tok yo'q va rotor magnit maydon hosil qilmaydi.

Mujassamlangan chulg'am MYK

MYKning taqsimlanishini mujassamlangan chulg'amli ikki qutbli mashina misolida ko'rib chiqamiz.

Bunda A-X faza chulg'amining hamma o'ramlari diametral holatdagi ikkita pazda joylashgan. Agar tok faza chulg'amining boshi A dan keti X ga yo'nalgan bo'lsa, kuch chiziqlari rasmda ko'rsatilgandek yo'nalgan ikki qutbli magnit oqimi hosil bo'ladi. Bu

oqimning har bitta kuch chizig'i faza g'altagining hamma o'ramlari ($w = w_g$) ni kesib o'tadi, shu sababli g'altak hosil qilgan MYK $F_{g'} = I \cdot w$ ga teng bo'ladi. Tok maksimal qiymatga ega bo'lganda MYK ham maksimal qiymatga erishadi.

$$G'_{g', \max} = I_{\max} \cdot w = \sqrt{2} I w, \quad (5.1)$$

bunda $I_{\max}$, I – tokning maksimal va effektiv qiymatlari.

Agar magnit zanjiri ferromagnit qismlarining magnit qarshiligini nolga teng deb qabul qilinsa, u holda MYKning taqsimlanishi stator aylanasi bo'ylab to'g'ri burchakli to'rtburchak shaklida bo'ladi.

Statorning mujassamlangan chulg'ami ikkita pazda joylashganligi sababli, uning MYK ikkita (musbat va manfiy) to'g'riburchak ko'rinishida bo'ladi. Ulardan har birining qiymati magnit zanjirining bitta havo oralig'idan magnit oqimini o'tkazish uchun zarur bo'lgan MYK ga mos keladi, ya'ni:

$$F = F_{g', \max} / 2 = (\sqrt{2} \cdot I \cdot w) / 2 = (\sqrt{2} / 2) \cdot I \cdot w \quad (5.2)$$

To'g'ri burchakli to'rtburchak shakldagi MYKni Fure qatoriga yoyib sinusoidalar yig'indisi ko'rinishida yozish mumkin

$$F_x = (\sqrt{2} / 2) \cdot I \cdot w \cdot (4 / \pi) \cdot [\cos(\pi x / \tau) + (1 / 3) \cdot \cos(3\pi x / \tau) + (1 / 5) \cdot \cos(5\pi x / \tau) + \dots + (1 / n) \cdot \cos(n\pi x / \tau)], \quad (5.3)$$

bunda: x – chulg'am simmetriya o'qi (faza o'qi)dan tekshirilayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa; $(\sqrt{2} / 2) \cdot I \cdot w = F$ – mashina magnit zanjirida bitta havo ora-lig'idan magnit oqimini o'tkazish uchun zarur bo'lgan MYK.

Tok maksimal qiymatga ega bo'lganda, mujassamlangan chulg'am MYK ning birinchi garmonikasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_1 = (2 \sqrt{2} / \pi) \cdot I \cdot w = 0,9 \cdot I \cdot w. \quad (5.4)$$

Demak, mujassamlangan chulg'amning MYK sinusoida shaklidan ancha farq qilar ekan, shu sababli bunday chulg'amlar amalda kam ishlatiladi.

Taqsimlangan chulg'amning MYK

Magnit maydonning taqsimlanish egri chizig'ini sinusoidaga yaqinlashtirish maqsadida, har bir faza g'altak-lari bir nechta pazlarga joylashtiriladi. Bunda chulg'amning sovitilishi ham yaxshilanadi.

6 ta pazga ($q = 3$) joylashtirilgan ikki qutbli mashina chulg'ami ko'rsatilgan. Bunday chulg'am MYK ning taqsimlanish shakli pog'onasimon bo'ladi. Taqsimlangan chulg'amning MYK o'ramlar soni $w = w' / 3$ bo'lgan va fazoda $\alpha = \pi \beta / \tau$ burchakka (bunda β – qo'shni pazlar o'qlari orasidagi masofa) siljigan uchta mujassamlangan chulg'am MYKlarining geometrik yig'in-disidan iborat bo'ladi.

Taqsimlangan chulg'am MYK 1-garmonikasi quyidagicha ifodalanadi:

$$F_{t,1} = 0,9 \cdot I \cdot w \cdot k_{t,1}, \quad (5.5)$$

bunda $k_{t,1} = \sin(q\alpha/2) / [q \sin(\alpha/2)] \quad (5.6)$

– *birinchi garmonika uchun chulg‘amning taqsimlanish koeffitsienti* ($q=3$).

Umumiy holda ν -garmonika uchun chulg‘amning taqsimlanish koeffitsienti quyidagicha topiladi:

$$k_{t,\nu} = \sin(q\nu\alpha/2) / [q \sin(\nu\alpha/2)], \quad (5.7)$$

bunda $\nu\alpha$ – alohida g‘altaklar MYKlarining ν -garmonika tashkil etuvchilari orasidagi siljish burchagi.

CHulg‘am g‘altaklarini pazlar bo‘yicha taqsimlab joylashtirish, uning natijaviy MYK egri chizig‘idagi yuqori garmonikalar amplitudalarini ancha kamaytiradi va mashina havo oralig‘idagi magnit oqim shaklini sinusoidaga yaqinlashtiradi.

Qadami qisqartirilgan chulg‘amning MYK

Taqsimlangan chulg‘amda MYK 5 va 7-garmonikalarining ta’siri ancha kamayadi, lekin ayrim garmonikalar juda oz miqdorda kamayadi. Shuning uchun taqsimlangan chulg‘amda chulg‘am qadami qisqartiriladi ($y < \tau$). Bu holda chulg‘am ikki qatlamli qilib o‘raladi, har bir seksiyaning bir tomoni pazning pastki qismida, ikkinchi tomoni esa boshqa pazning ustki qismida yotadi.

Ikki qutbli mashina stator pazlarida $q = 3$ bo‘lganda joylashtirilgan ikki qatlamli qadami qisqartirilgan chulg‘am berilgan bo‘lsin. Har bir faza chulg‘ami oltita g‘altakdan iborat. Birinchi, ikkinchi va uchinchi g‘altak tomonlari 1, 2, 3 pazlarning pastki qatlamlarida va 2', 3', 4' pazlarning ustki qatlamlarida, to‘rtinchi, beshinchi va oltinchi g‘altak tomonlari esa – 2, 3, 4 pazlarning ustki qatlamlarida va 1', 2', 3' pazlarning pastki qatlamlarida yotadi.

Qadami qisqartirilgan taqsimlangan chulg‘amning MYKni hisoblashda o‘ramlar soni $w' = w/2$, diametral qadamli, taqsimlangan, bir-biriga nisbatan $\pi(1-\beta)$ burchakka (bunda $\beta = u/\tau$ – *nisbiy qadam*) siljigan 2 ta chulg‘am MYK (F'_x va F''_x) larining geometrik yig‘indisi orqali aniqlanadi. Bu chulg‘amlardan bittasi 1–1', 2–2', 3–3' pazlarning pastki qatlamlarida joylashgan uchta g‘altakdan, ikkinchi chulg‘ami esa 2–2', 3–3' va 4–4' pazlarning ustki qatlamlarida joylashgan uchta g‘altakdan iborat. Natijaviy MYK 1-garmonikasining amplitudasi ko‘rsatilgan chulg‘amlarning F'_1 va F''_1 MYK lari birinchi garmonika amplitudalarini vektor qo‘shish yo‘li bilan aniqlanadi. Faza tokining qiymati maksimal bo‘lganda bu MYKlar $F'_1 = F''_1 = 0,45 I w k_{t,1}$ bo‘ladi.

Demak, pazlarda taqsimlangan qadami qisqartirilgan chulg‘am MYK 1-garmonikasining qiymati quyidagicha aniqlanadi

$$F_1 = 2 F'_1 \cos(\pi\beta/2) = 0,9 \cdot I w \cdot k_{t,1} \cdot k_{qis,1}, \quad (5.8)$$

bunda $k_{qis,1} = \cos(\pi\beta/2) \quad (5.9)$

– *birinchi garmonika uchun chulg‘amning qisqartirish koeffitsienti* deyiladi.

YUqori (v) garmonika uchun chulg'amning qisqartirish koeffitsienti quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$k_{qis.v} = \cos(\nu\beta/2). \quad (5.10)$$

Shunday qilib, chulg'am qadami qisqartirilganda MYK va induksiyaning taqsimlanishi sinusoidal shaklga yaqinlashar ekan.

Pulslanuvchi, elliptik va aylana shakldagi aylanuvchi magnit maydon. Bir fazali chulg'amning magnit maydon

Bir fazali chulg'am o'zgaruvchan tok manbaiga ulansa, vaqt bo'yicha tok chastotasi f_1 bilan o'zgaradigan *pulslanuvchi magnit maydon* hosil bo'ladi. Bu holda MYK sinusoidal taqsimlangan bo'lsa chulg'am o'qidan biror «x» masofada joylashgan havo oralig'ining har bir nuqtasiga quyidagi MYK to'g'ri keladi.

$$F_x = F_0 \cos(\pi x/\tau) = F_{max} \sin \omega t \cos(\pi x/\tau), \quad (5.11)$$

bunda: $F_0 = F_{max} \sin \omega t$ - chulg'am o'qida joylashgan nuqtadagi MYK.

Bu ifodani quyidagicha yozish mumkin

$$F_x = 0,5F_{max} \sin(\omega t - \pi x/\tau) + 0,5F_{max} \sin(\omega t + \pi x/\tau). \quad (5.12)$$

Tenglamaning o'ng tomonidagi har qaysi tashkil etuvchisi aylanuvchi MYKning tenglamasini ifodalaydi. Demak, fazoda sinusoidal taqsimlangan pulslanuvchi magnit maydon, bir-biriga nisbatan teskari tomonga aylanuvchi ikkita (F'_x va F''_x) MYK yig'indisidan iborat ekan,

$$\text{ya'ni } F'_x = 0,5F_{max} \sin(\omega t - \pi x/\tau); F''_x = 0,5F_{max} \sin(\omega t + \pi x/\tau). \quad (5.13)$$

MYK F'_x to'liqlinining aylanish yo'nalishi soat mili (strelkasi) bo'yicha, F''_x to'liqlinining aylanishi esa unga teskari deb qabul qilamiz.

MYKlarining maksimal qiymatlari vaqtning istalgan onida o'zgarmay qoladi. Agarda bu MYKlar yig'indisini fazoda vektor ko'rinishida tasavvur qilsak, u holda bu vektorning keti aylanani chizadi. Bunday maydonga *aylanasimon maydon* deyiladi. Bu maydonning chiziqli tezligi quyidagicha aniqlanadi

$$v = dx/dt = \omega\tau/\pi = 2f\tau. \quad (5.14)$$

Maydonning aylanish chastotasi esa quyidagiga teng, (ayl/min):

$$n_1 = 60v/(\pi D) = 60 \cdot 2f\tau/(\pi D) = 60f/p, \quad (5.15)$$

bu erda $r = \pi D/(2\tau)$ – mashinaning juft qutblari soni.

Demak, mashinaning qutblar soni $2r$ ni o'zgartirib magnit maydonning har xil aylanish chastotani olish mumkin ekan.

Uch fazali chulg'amning aylanuvchi magnit maydoni

Agarda elektr mashinasining statoriga simmetrik bo'lgan uch fazali chulg'am (o'qlari 120° ga siljigan A–X, V–U va S–Z faza chulg'amlari) joylashtirilsa va unga uch fazali simmetrik tok berilsa, u holda bu chulg'amda *aylanuvchi magnit maydon* hosil bo'ladi. Bunda har bir fazada hosil bo'lgan MYK sinusoidal taqsimlangan deb hisoblanadi.

Ko'rilayotgan chulg'am fazalarining o'qlari bir-biriga nisbatan fazoda $(2/3)\tau$ ga siljirilgan, ulardagi toklar esa vaqt bo'yicha $(2/3)\pi$ burchakka siljiganligidan har qaysi

fazaviy chulg'am o'qidan x uzoqlikdagi nuqtada MYK tashkil etuvchilar uchun quyidagi ifodalarga ega bo'lamiz:

$$F_{xA} = F_{\max} \sin \omega t \cdot \cos(\pi x / \tau) = 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \pi x / \tau); \quad (5.16)$$

$$F_{xB} = F_{\max} \sin(\omega t - 2\pi / 3) \cdot \cos(\pi x / \tau - 2\pi / 3) = 0,5 F_{\max} \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{\max} \sin(\omega t + \pi x / \tau - 4\pi / 3); \quad (5.17)$$

$$F_{xC} = F_{\max} \sin(\omega t - 4\pi / 3) \cdot \cos(\pi x / \tau - 4\pi / 3) = 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{\max} \cdot \sin(\omega t + \pi x / \tau + 4\pi / 3). \quad (5.18)$$

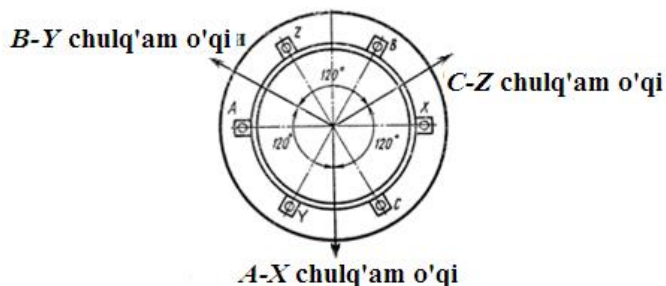
MYK ning natijaviy qiymatini uning F_{xA} , F_{xB} , F_{xC} tashkil etuvchilarini qo'shish yo'li bilan olinadi. Bunda MYKning teskari aylanuvchi to'liqlari yo'qoladi, MYKning natijaviy qiymati esa quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi

$$F_{x(nat)} = 1,5 F_{\max} \sin(\omega t - \pi x / \tau). \quad (5.19)$$

Uch fazali mashinalar, odatda aylana shakldagi aylanuvchi magnit maydonda ishlaydi.

Ikki fazali chulg'amning aylanuvchi magnit maydoni

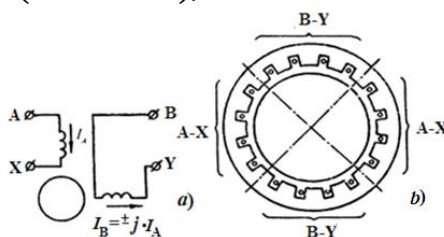
Ikki fazali simmetrik chulg'amning A-X va V-U fazalari fazoda bir-biriga nisbatan qutb bo'linmasi τ ning yarmiga siljigan bo'ladi. Agar bunday chulg'amning har bir fazasiga bir-biriga nisbatan vaqt bo'yicha $\beta=90^\circ$ burchakka siljigan ($I_V = \pm j I_A$) tok berilsa, u holda aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi.



5.1-rasm. Uch fazali ikki qutbli mashina statorida chulg'amlar (pazlar) joylanishi chulg'am o'qi

Bu toklar hosil qilgan MYK tashkil etuvchilari mashina havo oralig'ida ixtiyoriy x nuqta uchun quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$F_{xA} = F_{\max, A} \sin(\omega t) \cdot \cos(\pi x / \tau) = 0,5 F_{\max, A} \sin(\omega t - \pi x / \tau) + 0,5 F_{\max, A} \sin(\omega t + \pi x / \tau); \quad (5.20)$$



5.2-rasm. Ikki fazali ikki qutbli mashina sxemasi (a) va stator chulg'ami pazda joylanishi (b)

$$F_{xV} = F_{\max.V} \cdot \sin(\omega t - \pi/2) \cdot \cos(\pi x/\tau - \pi/2) = 0,5F_{\max.V} \cdot \sin(\omega t - \pi x/\tau) + 0,5F_{\max.V} \cdot \sin(\omega t + \pi x/\tau - \pi). \quad (5.21)$$

Bunda aylanuvchi maydon tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$F_{x,nat} = F_{xA} + F_{xB} = F_{\max} \sin(\omega t - \pi x/\tau). \quad (5.22)$$

Bunday chulg'amda hosil bo'lgan doiraviy magnit maydonning aylanish chastotasi ham (5.22) tenglama bo'yicha topiladi.

Ikki fazali mashinada aylanuvchi magnit maydon olish uchun ikkita fazaning to'g'ri F'_{xA} va F'_{xB} yoki teskari F''_{xA} va F''_{xB} MYKlari bir-birini kompensatsiya qilishlari kerak, bu shart esa ko'rsatilgan MYKlar amplitudalari teng, lekin fazalari qarama-qarshi, ya'ni $\alpha \pm \beta = \pi$ bo'lishi kerak bo'ladi.

Aylanuvchi magnit maydon quyidagi xossalarga ega:

a) natijaviy MYK va induksiyaning maksimumlari doimo tok maksimumiga erishgan faza chulg'aming o'qi bilan mos bo'ladi;

b) natijaviy magnit maydonning siljishi maydonning keyingi maksimumi qaysi qo'shni faza chulg'ami o'qi bilan mos bo'lsa, shu tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bu xossa to'g'ridan-to'g'ri oldingi a banddan kelib chiqadi;

d) maydonning aylanish yo'nalishini teskariga o'zgartirish uchun faza-lar ketma-ketlik tartibini o'zgartirish lozim. Uch fazali mashinalarda buning uchun tarmoqqa ulangan uchta fazadan xohlagan ikkitasini almashtirib ulash, ikki fazali mashinalarda tarmoq fazalariga ulangan o'tkazgichlarni almashtirish lozim bo'ladi.

Elliptik maydon

Fazoda bir-biriga nisbatan simmetrik joylashgan chulg'amlardan vaqt bo'yicha o'zaro mos siljigan toklar o'tganda aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Agarda bu shartlardan birortasi bajarilmasa, aylanuvchi magnit maydon emas, balki *elliptik maydon* hosil bo'ladi. Bunday maydon MYKning faza vektori ellipsni chizadi.

Ellips shaklidagi aylanuvchi magnit maydonda natijaviy MYK va induksiyaning maksimal qiymati vaqtning har xil onida o'zgaruvchan bo'ladi (aylanuvchi magnit maydonda esa bu qiymat o'zgarmas bo'ladi).

Ellips shaklidagi maydonni qarama-qarshi yo'nalishlarda aylanayotgan ikkita bir xil (ekvivalent) aylana shaklidagi aylanuvchi magnit maydon ko'rinishda tasavvur qilish mumkin. Natijaviy elliptik maydon yo'nalishida aylanayotgan maydonni - *to'g'ri maydon*, qarama-qarshi tomonga aylanayotganni esa *teskari maydon* deyiladi. Ellips shaklidagi maydonni to'g'ri va teskari aylanuvchi maydonlarga ajratish simmetrik tashkil etuvchilar usuli bilan amalga oshiriladi va bu orqali to'g'ri va teskari ketma-ketliklar MYKlari aniqlanadi.

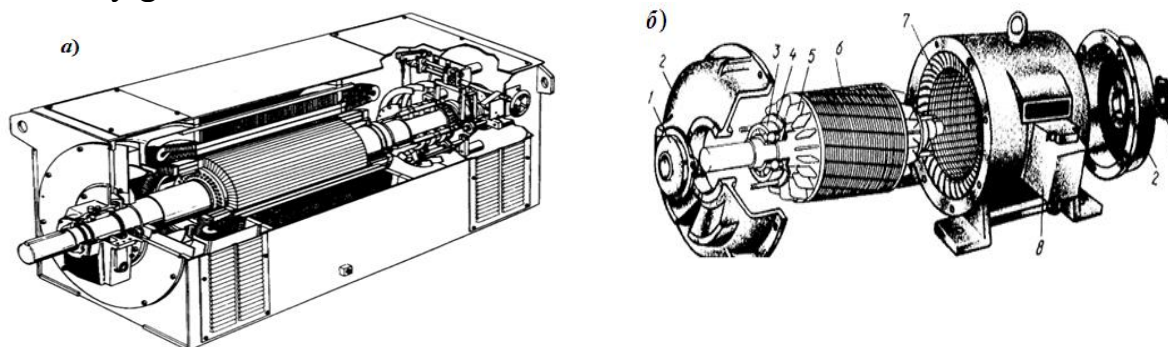
9-mavzu. Asinxron mashina turlari, tuzilishi va ishlash prinsipi

Asinxron motorlar elektr yuritmaning asosini tashkil etib, xalq xo'jaligining barcha sohalaridagi boshqarilmaydigan va avtomatik boshqarish jarayonlarida, kon ishlaridagi yirik, o'rta va kichik quvvatli elektr jihozlari yuritmalarida, qishloq xo'jaligida va boshqa sohalarda keng qo'llaniladi. Asinxron mashinalari motor, generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlash imkoniga ega bo'lsalar xam, aksariyat motor rejimiga

mo'ljallanib ishlab chiqarilmoqda. Rotor aylanish tezligini o'zgartirib boshqarish imkoni bo'lgan faza rotorli asinxron motorlar sanoatning ba'zi sohalarida ishlatilsa, yaqin o'tmishgacha boshqarish imkoniyati cheklangan deb kelingan, eng arzon, ekspluatatsiyasi eng qulay deb topilgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlari xalq xo'jaligining barcha sohalarida eng ko'p tarqalgan elektr motori sifatida ishlatilmoqda. Yarim o'tkazgichli o'zgartkichlar texnikasi va elektromexanika fanlarining keyingi 20-30 yillar mobaynidagi keskin rivojlanishi natijasida chastotali boshqarish imkoniyati ochib berilgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlari xalq xo'jaligining ko'plab sohalarida o'z o'rnini topmoqda.

Asinxron mashinaning tuzilishi

Asinxron mashina ikki qism: qo'zg'almas (rotor) va aylanuvchi (stator) qismlardan iborat. Rotor stator ichiga o'rnatiladi. U val, magnit o'zak (magnit o'tkazgich) va uning tashqi silindrik yuzasidagi pazlariga joylashtirilgan qisqa tutashgan (ko'p fazali) chulg'am yoki uch fazali chulg'amdand iborat. Stanina, magnit o'zak va uning ichki silindrik yuzasidagi pazlarida joylashgan bir, ikki yoki uch fazali chulg'amdand iborat. Stator va rotorlarning magnit o'zaklari maxsus elektrotexnik po'latdan tayyorlangan yupqa tunukalardan yig'iladi.

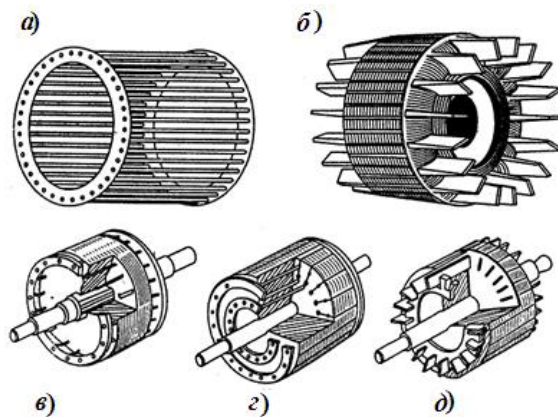


6.1-rasm. "BROWN BOVERI" (Shvetsariya) firmasi ishlab chiqargan katta quvvatli faza rotorli asinxron motori (a); qisqa tutashgan rotorli asinxron motori (b)

Asinxron motor rotorining tuzilishiga qarab ikki xil bo'ladi:

- 1) qisqa tutashgan rotorli asinxron motor;
- 2) faza rotorli asinxron motor.

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor – rotorining magnit o'zagi pazlariga eritilgan alyuminiy quyilib chulg'am o'tkazgichlari (sterjenlar) hosil qilinadi va ularning pazlardan tashqari uchlari ikki tomondan quyma alyuminiy halqalar orqali qisqa tutashgan bo'ladi. Natijada, yaxlit "olmaxon katagi" (6.2,a,b-rasmlar) ko'rinishidagi qisqa tutashgan chulg'am hosil qilinadi.



6.2-rasm. Qisqa tutashgan rotor chulgʻamlari turlari: a) olmaxon qafasi; b) quyma alyuminiyli rotor; d) bir katakli; e) ikki katakli; f) chuqur katakli chulgʻamlar

Faza rotorli asinxron motori ham val, valga oʻrnatilgan magnit oʻzak, uning pazlariga bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan uch fazali chulgʻam joylashtiriladi. Rotorning faza chulgʻamlari keti yulduz usulida ulangan boʻladi va boshlari esa valning bir tomonida oʻrnatilgan uchta mis yoki jez (mis va rux aralashmasi) halqalarga ulanib, shchetskalar yordamida tashqi zarjir bilan ulanadi.

Ishlash prinsipi

Uch fazali asinxron motorning stator chulgʻamiga uch fazali tarmoqqa ulanganda vujudga kelgan magnit yurituvchi kuch (MYK) statorda aylanish chastotasi $n_1 = 60f / p$ boʻlgan aylanuvchi magnit maydoni hosil qiladi. Bu maydon kuch chiziqlari stator chulgʻami oʻramlarini va rotorning qisqa tutashgan chulgʻam sterjenlarini yoki uch fazali chulgʻami oʻramlarini kesib oʻtib, ularda EYK lar hosil qiladi. Agar rotor chulgʻami qisqa tutashgan boʻlsa, undagi EYK taʼsirida qisqa tutashgan rotor chulgʻamlari sterjenlaridan tok oʻtib, bu tokning stator hosil qilgan aylanuvchi magnit maydoni bilan oʻzaro taʼsiri natijasida rotor chulgʻami oʻramlariga elektromagnit kuch taʼsir qiladi. Bu kuch hosil qilgan aylantiruvchi (elektromagnit) moment tormozlovchi momentdan katta boʻlsa, rotorni aylanuvchi magnit maydon yoʻnalishida aylantiradi.

Aylanuvchi magnit maydonning aylanish chastotasi n_1 bilan rotorning aylanish chastotasi n orasidagi nisbiy farq sirpanish (s) deyiladi va u quyidagicha aniqlanadi

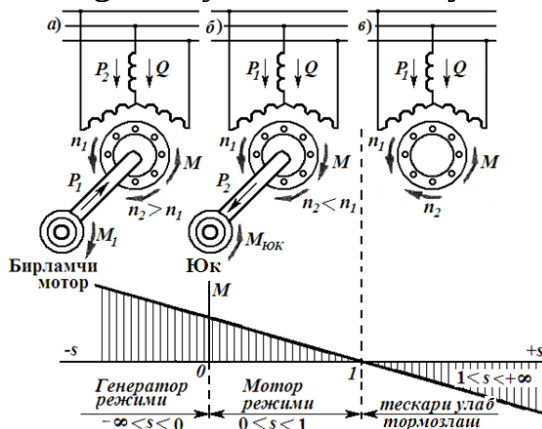
$$a) s = (n_1 - n) / n_1; \quad b) s = (n_1 - n) / n_1 \cdot 100 \quad (6.1)$$

Asinxron mashinaning ishlash rejimlari

Stator magnit maydonining aylanish chastotasi n_1 va rotorining aylanish chastotasi n larning qiymatlariga bogʻliq holda asinxron mashina motor, generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlashi mumkin. Asinxron mashina motor rejimida (6.3,a-rasm) ishlaganida rotorning aylanish chastotasi stator aylanuvchi magnit maydoni chastotasidan kichik ($n_1 > n$) boʻlib, sirpanish esa $0 < s < 1$ oraliqda boʻladi. Bu holda stator chulgʻami tarmoqdan elektr energiya bilan taʼminlanadi va rotorning vali biror ishchi mexanizmiga mexanik energiya beradi. *Mashina elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantiradi.*

Asinxron mashina stator chulgʻami tarmoqqa ulangan, motor rejimining chegaraviy sirpanishida $s = 1$ da, rotor toʻxtagan ($n = 0$) holatni *qisqa tutashuv rejimi* deyiladi. Agar asinxron mashina stator chulgʻami tarmoqqa ulangan, motor rejimining chegaraviy sirpanishida $s = 0$ da, yaʼni rotorning aylanish chastotasi stator chulgʻami aylanuvchi magnit maydoni chastotasi (sinxron chastotasi) bilan teng ($n = n_1$) boʻlsa, bunda aylantiruvchi

moment hosil bo'lmaydi, chunki aylanuvchi maydon rotor chulg'amini kesib o't-maydi. Bunday rejimni asinxron mashinaning *ideal yuksiz ishlash rejimi* deyiladi.



6.3-rasm. Asinxron mashinaning ishlash rejimlari

Agar asinxron mashinaning rotorini birorta mexanizm yordamida stator magnit maydoni aylanish chastotasidan katta ($n > n_1$) bo'lgan chastotada aylantirilsa rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYK, tokning aktiv tashkil etuvchisi va sirpanishlar o'z yo'nalishini o'zgartiradilar. Bunda elektromagnit moment M ham o'z yo'nalishini o'zgartirib *tormozlovchi* bo'ladi, ya'ni asinxron mashina *generator rejimiga* o'tadi. Asinxron mashina generator rejimda birlamchi motordan mexanik energiya olib, uni elektr energiyaga aylantirib tarmoqqa uzatadi. Bunda sirpanish $0 > s > -\infty$ oraliqda o'zgaradi.

Agar asinxron mashinaning rotorini boshqa motor bilan stator magnit maydoni aylanishiga teskari yo'nalishda aylantirilsa, rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYK va tokning aktiv tashkil etuvchisi motor rejimidagi singari yo'nalgan bo'ladi, ya'ni mashina tarmoqdan energiya oladi. Lekin bu rejimda elektromagnit moment rotor aylanishiga teskari yo'nalib, *tormozlovchi* bo'ladi (6.3,s-rasm). Bu rejim – asinxron mashinaning *elektromagnit tormoz rejimi* deyiladi. Bunda rotorning aylanish yo'nalishi aylanuvchi magnit maydonnikiga nisbatan teskari bo'lgani uchun rotor aylanish chastotasi $n < 0$, sirpanishi esa $1 < s < +\infty$ oraliqda o'zgaradi. Bu rejimda asinxron mashina rotor tomonidan mexanik energiya, stator tomonidan esa elektr energiya oladi.

Asinxron mashinaning elektromagnit tormoz rejimi amaliyotda kranlarda va ko'targich mexanizmlarda yukni tushirish jarayonida uning tezligini kamaytirish yoki zarur bo'lganda ularni tezda to'xtatish uchun qo'llaniladi. Bu maqsadda stator chulg'amiga tarmoqdan ulangan xohlagan ikki faza simining o'rnini almashtirib ulash kerak bo'ladi. Bu holda statorning aylanuvchi magnit maydoni o'z yo'nalishini o'zgartiradi va tormoz momentini hosil qiladi. Bu rejimda sirpanish katta ($s = 1$) bo'lganligidan, rotor chulg'amidagi EYK, demak, tok ham katta bo'ladi. Bu tokni kamaytirish uchun faza rotorli motorda rotor chulg'amini aktiv qarshilikka – tormozlovchi reostatga ulaydilar.

Sanoatda qo'llanilayotgan asinxron motorlar nominal yuklama bilan ishlaganda sirpanish $s_N = 3 \div 5 \%$ ni, maxsus asinxron motorlarning ayrimlarida esa $s_N = 12 \div 15\%$ ni tashkil qiladi.

10-mavzu. Asinxron mashinaning vektor diagrammalari va almashtirish sxemasi. Asinxron mashinaning energetik diagrammasi Elektromagnit (aylantiruvchi) momenti va mexanik tavsifi

Rotori qo'zg'almas bo'lgan asinxron mashina ishlash rejimi transformator ishlash rejimidan farq qilmaydi. Rotori qo'zg'almas bo'lganda (bunda, $s = 1$) mashinaning stator va rotor chulg'amlarida chastotalari teng ($f_2 = f_1$) bo'lgan EYKlar induktivlanadi va ular quyidagicha aniqlanadi

$$E_1 = 4,44 f_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot F_{max}; \quad (6.2)$$

$$E_2 = 4,44 f_1 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot F_{max}, \quad (6.3)$$

bunda: $k_{ch.1}$, $k_{ch.2}$ – stator va rotorning chulg'am ko'effitsientlari; w_1 , w_2 – stator va rotor chulg'ami bitta fazasining o'ramlar soni; F_{max} – magnit oqimning maksimal qiymati. Ifoda (6.2) ning (11.3) ga nisbati

$$E_1 / E_2 = w_1 \cdot k_{ch.1} / (w_2 \cdot k_{ch.2}) = k_E \quad (6.4)$$

- rotor ko'zg'almas asinxron mashinada *kuchlanish transformatsiyalash ko'effitsienti* deyiladi.

Agar faza rotorli asinxron mashinaning rotor chulg'ami ochiq bo'lsa undan chulg'amda tok oqmaydi va bu holatni *yuksiz ishlash rejimi* deyiladi. Bunday rejim statorda bo'ladigan elektromagnit jarayonga ta'sir qilmaydi.

Yuksiz ishlayotgan asinxron mashina statorining faza chulg'amlari EYKlar muvozanat tenglamasi transformatoridagi kabi quyidagicha yoziladi:

$$\underline{U}_1 + \underline{E}_1 + \underline{E}_{\sigma 1} = \underline{I}_0 \cdot r_1, \quad (6.5)$$

$$\text{bu erda:} \quad E_{\sigma 1} = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot F_{\sigma 1} \quad (6.6)$$

tarqoq magnit oqimi $F_{\sigma 1}$ stator chulg'amida hosil qilgan tarqoq EYK; $I_0 r_1$ – stator chulg'ami aktiv qarshiligida kuchlanish pasayuvi.

Ifoda (6.5) va yuksiz ishlashda stator tok $\underline{I}_0 = \underline{I}_{0,r} + \underline{I}_{0,a}$ ekanligini hisobga olgan holda, asinxron mashinaning vektor diagrammasini qurish mumkin. Bu diagramma yuksiz ishlayotgan transformator diagrammasidan (3.2,b-rasm) vektorlar uchun tanlangan masshtab bilan farq qiladi, xolos. Bunga sabab, asinxron mashinada havo oralig'i mavjudligidan yuksiz ishlash toki I_0 transformatoridagidan taxminan 10÷12 marta katta, ya'ni asinxron motorlar seriyasida nominal toki I_N ning 20÷40% ni tashkil qiladi.

Asinxron mashinalarda yuksiz ishlash toki I_0 ning katta bo'lishi ulardagi eng *asosiy kamchilik* bo'lib, u stator chulg'amidagi Joul isrofini oshiradi va mashinaning quvvat ko'effitsienti $\cos\phi$ ni kamaytiradi. Yuksiz ishlash toki I_0 ni kamaytirish uchun asinxron mashinalardagi havo oralig'i ishlab chiqaruvchi tomonidan imkon qadar (konstruktiv va texnologik nuqtai nazardan) kichik qilib tayyorlanadi. Masalan, quvvati 5 kVt.gacha bo'lgan asinxron motorlarda stator va rotor orasidagi havo oralig'i 0,1÷0,3 mm ni tashkil qiladi.

Rotor chulg'ami parametrlarini stator chulg'amiga keltirish. Asinxron mashinalarda rotor va stator chulg'amlar o'ramlari soni har xil bo'lganligi sababli ulardagi elektromagnit jarayonni taqqoslash qiyin kechadi. Buni bartaraf etish maqsadida hisoblash usulidan foydalaniladi, ya'ni rotor chulg'aming o'ramlar soni stator chulg'ami o'ramlar soniga keltiriladi. Bu holda asinxron mashinaning tarmoqdan olayotgan aktiv va reaktiv quvvatlari, FIK va $\cos\phi$ o'zgarmay qolishi kerak.

Stator va rotor chulg'amlarining tegishlicha F_1 va F_2 MYK lari to'lqinlarining aylanish chastotalari o'zaro teng bo'lgandagina asinxron mashina ishlay oladi. Demak,

stator va rotor bir xil juft qutblari soni ($r_1 = r_2 = r$)ga ega bo'lishi kerak. Bu shart bajarilganda rotor MYK to'liqini stator MYK to'liqiniga nisbatan qo'zg'almas bo'lib o'zaro ta'sir paydo bo'ladi. Natijada asinxron motorda statordan rotorga elektromagnit quvvat uzatiladi.

Asinxron motorning ishlash jarayonida stator va rotor chulg'amlaridagi toklar mashinada tegishli F_1 va F_2 MYK larni hosil qiladi. Bu MYK larning birgalikda ta'sir etishidan statorga nisbatan sinxron chastota n_1 bilan aylanadigan umumiy magnit oqim vujudga keladi. Uning qiymati quyidagiga teng

$$\Phi = (\underline{F}_1 + \underline{F}_2) / R_m = \underline{F}_0 / R_m, \quad (6.7)$$

bunda R_m – motor magnit zanjirining oqim F ga ko'rsatadigan magnit qarshiligi; F_0 – miqdor jihatdan yuksiz ishlashdagi stator chulg'ami MYK ga teng bo'lgan motorning natijaviy MYK:

$$F_0 = 0,45 m_1 I_0 w_1 k_{ch.1} / p; \quad (6.8)$$

I_0 – stator chulg'amida yuksiz ishlash toki, A.

Valiga yuklama ulangan ish rejimida motorning bitta qutbiga to'g'ri keladigan stator va rotor chulg'amlarining MYK lari quyidagilarga teng bo'ladi:

$$F_1 = 0,45 m_1 I_1 w_1 k_{ch.1} / p; \quad (6.9)$$

$$F_2 = 0,45 m_2 I_2 w_2 k_{ch.2} / p; \quad (6.10)$$

bunda: m_2 – rotor chulg'amida fazalar soni; $k_{ch.2}$ – rotor chulg'aming chulg'am koeffitsienti; r - mashina juft qutblari soni; w_2 - rotor chulg'ami o'ramlari soni.

Motor valiga qo'yilgan yuk o'zgarganda stator va rotor chulg'amlaridagi I_1 va I_2 toklar o'zgaradi, bu esa shu chulg'amlardagi MYKlar (F_1, F_2)ning tegishli o'zgarishiga olib keladi. Lekin bunda asosiy magnit oqim F o'zgarmay qoladi, chunki stator chulg'amiga berilgan kuchlanish $U_1 = \text{const}$ va stator chulg'aming EYK E_1 bilan deyarli to'la muvozanatlashadi

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1). \quad (6.11)$$

EYK E_1 asosiy magnit oqim F ga proporsional bo'lganligidan mazkur oqim, valdagi yuk o'zgarishidan qat'iy nazar, deyarli ($F \approx \text{const}$) o'zgarmaydi. Shu sababli F_1 va F_2 larning o'zgarishiga qaramasdan, natijaviy MYK o'zgarmay qoladi, ya'ni $\underline{F}_0 = \underline{F}_1 + \underline{F}_2 = \text{const}$ bo'ladi.

Keltirilgan (hisobiy) chulg'am va haqiqiy chulg'am o'ramlari sonida mashinaning magnit oqimi $F_{\max}$ o'zgarmay qolishi kerak, ya'ni:

$$F_{\max} = E_2 / (4,44 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot f_1) = E'_2 / (4,44 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot f_1) = \text{const}, \quad (6.12)$$

bunda rotor torozlangan holatda ($s = 1$) uning chulg'amidagi EYK chastotasi $f_2 = f_1$ bo'lusligi hisobga olingan.

Ifoda (6.12) shartdan rotor chulg'aming keltirilgan EYK E'_2 quyidagiga teng bo'ladi:

$$E'_2 = E_2 [w_1 k_{ch.1} / (w_2 k_{ch.2})] = k_E E_2 = E_1, \quad (6.13)$$

$$\text{bu erda: } k_E = (w_1 k_{ch.1}) / (w_2 k_{ch.2}) \quad (6.14)$$

– rotori tormozlangan asinxron mashina EYK lari va kuchlanishlari uchun keltirish koeffitsienti.

Transformatordagi singari keltirilgan va haqiqiy chulg'am MYK larining o'zgarmay qolishi $[(m_1 w_1 k_{ch.1}) I'_2 = (m_2 w_2 k_{ch.2}) I_2]$ shartidan rotor chulg'aming keltirilgan toki I'_2 ni aniqlaymiz:

$$I'_2 = [(m_2 w_2 k_{ch.2}) / (m_1 w_1 k_{ch.1})] \cdot I_2 = I_2 / k_I = I_1, \quad (6.15)$$

$$\text{bu yerda } k_I = (m_1 w_1 k_{ch.1}) / (m_2 w_2 k_{ch.2}) = (m_1 / m_2) \cdot k_E \quad (6.16)$$

– rotor tormozlangan asinxron mashina toklari uchun keltirish koefitsienti.

Shunga e'tibor berish kerakki, asinxron mashinada $k_I \neq k_E$, chunki umumiy holda stator chulg'ami fazalari soni m_1 bilan rotor chulg'ami fazalari soni m_2 bir xil emas (faqat $m_1 = m_2$ bo'lgan faza rotorli asinxron motorlarda bu koefitsientlar bir-biriga teng bo'ladi).

Rotor chulg'ami zanjiridagi quvvat isroflarining o'zgarmay qolishi $[(m_2 I'^2_2 r_2) = m_1 (I'_2)^2 r'_2]$ shartidan keltirilgan aktiv qarshilik r'_2 ni hisoblashda (6.15) dan I'_2 ning qiymatini qo'yib topamiz, ya'ni:

$$r'_2 = (m_2 / m_1) \cdot (I_2 / I'_2)^2 \cdot r_2 = k_E k_I \cdot r_2 = k_z \cdot r_2. \quad (6.17)$$

Rotorning haqiqiy va keltirilgan chulg'amlaridagi nisbiy induktiv kuchlanish pasayishlarining tengligi (ya'ni reaktiv quvvatning o'zgarmay qolishi) $[I_2 x_2 / E_2 = I'_2 x'_2 / E'_2]$ shartidan rotor chulg'amining keltirilgan induktiv qarshiligi x'_2 ni aniqlaymiz:

$$x'_2 = (E'_2 / E_2) \cdot (I'_2 / I_2) x_2 = k_E k_I x_2 = k_z \cdot x_2. \quad (6.18)$$

(6.17) va (6.18) ifodalardagi $k_E \cdot k_I = k_z$ – rotor chulg'ami qarshiliklarini keltirish koefitsienti deyiladi.

«Olmixon katagi» turidagi qisqa tutashgan chulg'am uchun k_E , k_I va k_z koefitsientlarni aniqlashda $w_2 = 0,5$; $m_2 = Z_2$ va $k_{ch.2} = 1$ deb qabul qilinadi. U holda $k_E = 2 w_1 k_{ch.1}$; $k_I = 2 m_1 \cdot w_1 k_{ch.1} / Z_2$; $k_z = 4 m_1 \cdot (w_1 k_{ch.1})^2 / Z_2$. Bunda Z_2 – rotor chulg'ami sterjenlari soni (har bitta pazda bittadan sterjen), demak, rotor chulg'amida bir-biridan $\alpha = 2\pi / Z_2$ burchakka siljigan $m_2 = Z_2$ ta «fazalari» bo'lib, juft qutblar soni r_2 esa hamma vaqt aylanuvchi magnit maydon juft qutblari soni r_1 ga teng ($r_2 = r_1$) bo'ladi.

Chulg'am parametrlari stator chulg'amiga keltirilgan, rotor qo'zg'almas bo'lganda asinxron mashinaning EYKlari va toklarining muvozanat tenglamalari transformatornikiga o'xshagan holda quyidagicha yoziladi

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + jx_1); \\ \dot{E}'_2 &= \dot{I}'_2 (r'_2 / s + jx'_2); \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2). \end{aligned} \quad (6.19)$$

Shunday qilib, rotor qo'zg'almas bo'lgan asinxron mashinalarning nazariyasi transformatorlarniki kabi bo'lar ekan.

Rotor qo'zg'almas bo'lgan asinxron mashinalar asosan *induksion rostlagich va faza rostlagichi* sifatida ishlatiladi.

Rotori aylanayotgan mashina elektromagnit jarayoni.

Asinxron mashina normal sharoitda ishlayotganda uning rotor stator chulg'ami hosil qilgan aylanuvchi magnit maydon yo'nalishida $n < n_1$ aylanish chastota bilan aylanadi. Shuning uchun stator aylanuvchi magnit maydonining rotorga nisbatan aylanish chastotasini $n_1 - n$ ayirma deb aniqlanadi. Bu holatda stator chulg'amining asosiy magnit oqimi F rotorni $n_s = n_1 - n$ aylanish chastotasi bilan kesib o'tib, uning chulg'amida EYK E_{2s} ni hosil qiladi («s» indeksi – sirpanishga tegishli parametr ekanini bildiradi)

$$E_{2s} = 4,44 \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot F_{\max}. \quad (6.20)$$

Bundagi rotor chulg'ami EYK E_{2s} ning chastotasi f_2 quyidagicha aniqlanadi

$$f_2 = r \cdot n_s / 60 = r(n_1 - n) / 60. \quad (6.21)$$

Bu tenglamaning o'ng tomonini n_1 / n_1 ga ko'paytirub, $r n_1 / 60 = f_1$ va $(n_1 - n) / n_1 = s$ larni hisobga olgan holda (6.21) ni quyidagicha yozish mumkin

$$f_2 = f_1 \cdot s, \quad (6.22)$$

ya'ni rotor chulg'amidagi EYK chastotasi sirpanishga proporsional bo'lar ekan.

Aylanuvchi rotor chulg'amining EYK E_{2s} ni quyidagicha aniqlash mumkin

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{ch,2} F_{\max} = 4,44 f_1 \cdot s \cdot w_2 k_{ch,2} F_{\max} = E_2 \cdot s. \quad (6.23)$$

bunda $E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_2 k_{ch,2} \cdot F_{\max}$ – rotor tormozlangan asinxron mashina EYK.

Asinxron mashinaning vektor diagrammasi (6.19) tenglamalar tizimi asosida qurilib, transformator diagrammasini qurish tartibiga o'xshash bo'ladi.

Lekin asinxron mashinada aylanuvchi magnit maydon mavjudligi birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardagi toklarning o'zaro ta'sirida ayrim o'ziga xos xususiyatlarni yuzaga keltiradi. Rotor chulg'ami fazalari fazoda siljigan, toklari esa vaqt bo'yicha siljigan bo'lgani uchun, ular rotorda MYK F_2 ning yuguruvchi to'liqlini yaratadi (6.5-rasm). Uning aylanish chastotasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$n_{F_2} = 60 f_2 / p_2 = 60 f_1 / p_1, \quad (6.24)$$

bunda: f_2 va p_2 – rotor tokining chastotasi va juft qutblari soni; rotor qo'zg'almas bo'lganda stator va rotor EYK lari chastotasi $f_2 = f_1$ bo'ladi.

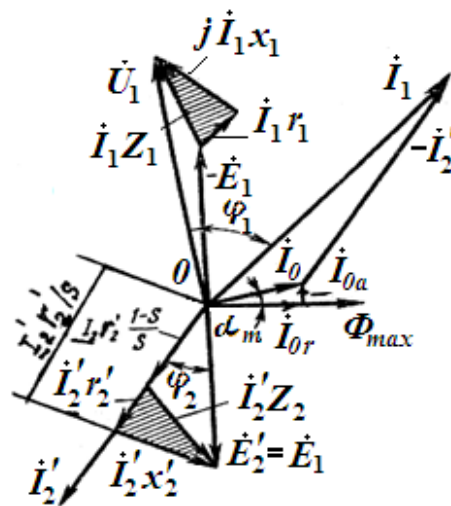
Asinxron mashina ishlashi uchun stator va rotor yuguruvchi F_1 va F_2 MYK to'liqlarining aylanish chastotalari teng bo'lishi zarur. Demak, ro-torning fazalari soni qanday bo'lishidan qat'iy nazar, uning juft qutblari soni bir xil (ya'ni $r_2 = r_1 = r$) bo'lishi shart.

Vektor diagrammani rotor zanjiri uchun qurishda EYK E'_2 va tok I'_2 vektorlari orasidagi siljish burchagi quyidagicha hisoblanadi

$$\psi_2 = \arctg(x'_2 s) / r'_2. \quad (6.25)$$

6.4-rasmda asinxron motorning vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Bu diagramma transformatorning vektor diagrammasidan faqat shu bilan farq qiladiki, rotor chulg'amida (ikkilamchi chulg'amda) kuchlanish pasayuvi yig'indisi $n = 0$ bo'lganda rotor chulg'ami EYK E'_2 bilan muvozanatlashadi. Bunga sabab, rotor chulg'ami transformatorning ikkilamchi chulg'ami singari yuklamaga ulangan emas, balki qisqa tutashtirilgan.

Lekin, agar kuchlanish pasayuvi $\overline{OA} = \dot{I}'_2 \cdot r'_2[(1-s)/s]$ ni rotor chulg'ami klemmlariga ulangan ma'lum yuklama $r'_2[(1-s)/s]$ dagi kuchlanish sifatida qaralsa, u holda asinxron motorning vektor diagrammasini ikkilamchi chulg'amning klemmlariga o'zgaruvchan qarshilik $r'_2[(1-s)/s]$ ulangan transformatorning vektor diagrammasi sifatida qarash mumkin. Boshqacha qilib aytganda, asinxron motor elektr jihatdan aktiv yuklama $r'_2[(1-s)/s]$ da ishlaydigan transformatorga o'xshaydi.



Asinxron motorda magnitlovchi tok transformator magnitlovchi tokidan katta bo'lgani sababli, ularning almashtirish sxemalari bir-biridan farq qiladi. Agar transformator nazariyasida magnitlovchi konturni ayrim hollarda amaliy hisoblarda e'tiborga olinmasa, asinxron motor ishini tahlil qilganda bunday yondoshib bo'lmaydi, chunki bu holda katta xatolikka yo'l qo'yilgan bo'ladi.

Asinxron mashinalarining toki, quvvati va kuchlanish pasayuvini aniqlash uchun almashtirish sxemasidan foydalanish mumkin. Mashinaning almashtirish sxemasi uning asosiy (6.19) tenglamalari asosida quriladi. Almashtirish sxema bir-biriga elektromagnit vositasida bogʻlangan stator va rotor zanjirlari parametrlarining qarshiliklari orqali koʻrsatiladi.

T-simon almashtirish sxemasi. 6.5-rasmda asinxron mashinaning T-simon almashtirish sxemasi ko‘rsatilgan.

Bu sxema uchta asosiy shoxobchadan iborat:

- 1) qarshiliklari r_1, x_1 va toki I_1 bo'lgan stator zanjiri;

2) qarshiliklari r_0, x_0 va toki $\dot{I}_0$ bo'lgan magnit zanjiri;

3) qarshiliklari $r'_2 + r'_2 \cdot (1-s)/s = r'_2/s$, x'_2 , va toki $(-\dot{I}'_2)$ bo'lgan rotor zanjiri.

Asinxron motorning magnit jihatdan bog'langan stator va rotor chulg'amlari T-simon almashtirish sxemasida (a-rasm) stator va rotor elektr zanjirlari bilan almashtirilgan. Bunda aktiv qarshilik $r'_2 \cdot (1-s)/s$ ni qo'zg'almas rotor chulg'amiga ulangan tashqi qarshilik sifatida qarash mumkin. Bu holda asinxron mashina aktiv yuklama ulangan transformator sifatida ishlaydi va bu jarayonda sxemadagi $r'_2 \cdot (1-s)/s$ qarshilik yagona o'zgaruvchan parametr hisoblanadi.

Bu qarshilikning qiymati sirpanish bilan, demak, asinxron motorning valiga qo'yilgan mexanik yuk bilan aniqlanadi. Masalan, agar motor validagi foydali (yuk) momenti $M_2=0$ bo'lsa, u holda sirpanish $s \approx 0$ bo'lganligidan $r'_2 \cdot (1-s)/s = \infty$ bo'lib, bu hol motorning yuksiz ishlash rejimiga mos keladi. Agar valdagi yuk momenti aylantiruvchi momentdan katta bo'lsa, u holda motor rotori to'xtaydi va $s=1$ bo'ladi. Bunda $r'_2 \cdot (1-s)/s=0$ bo'lib, asinxron motorning qisqa tutashuv rejimiga mos keladi.

T-simon almashtirish sxema ish jarayonni to'la aks ettiradi, lekin unda bir-biriga ta'sir etuvchi konturlar mavjud bo'lib, ularni hisobga olish ancha murakkabligi, bu sxemaning kamchiligi hisoblanadi. Shu sababli amaliyotda soddalashtirilgan G-simon almashtirish sxema ishlatiladi (6.6, b-rasm). Bunday soddalashtirish magnitlovchi kontur ($Z_0 = r_0 + jx_0$)ni sxema ichidan tashqariga - umumiy klemmalarga olib chiqish bilan amalga oshiriladi. U holda magnitlovchi tokning qiymati o'zgarmay qolishi uchun bu konturga r_1 va x_1 qarshiliklar ketma-ket ulanadi. Natijada hosil bo'lgan sxemada stator va rotor konturlarining qarshiliklari ketma-ket ulangan bo'lib, ular ish konturini hosil qiladi. Magnitlovchi kontur ana shu konturga parallel ulangan bo'ladi; bu holda konturlar bir-biriga ta'sir etmaydi.

G-simon almashtirish sxemasi ish konturining parametrlarini hisoblashda aniqlik kiritishni talab etadi. Ideal yuksiz ishlashda ($s=0$) tarmoq kuchlanishi U_1 ning stator chulg'ami EYK E_1 ga nisbati bilan aniqlanadigan ($s_1=U_1/E_1$ kompleks koeffitsientini hisoblash ifodalariga kiritish bilan amalga oshiriladi.

G-simon almashtirish sxema uchun quyidagilarni yozish mumkin

$$\dot{I}'_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2); \dot{I}''_2 = \dot{I}'_2 / \bar{c}_1, \quad (6.26)$$

bunda: $\underline{I}'_1$ va $\underline{I}'_2$ – mos ravishda, T-simon va G-simon almashtirish sxemalari konturining toklari; hisoblashlarda $\underline{I}''_0 \approx \underline{I}_0$ deb olganda xatolik kam bo'ladi;

$$\bar{c}_1 = 1 + (r_1 + jx_1)(r_0 + jx_0), \quad (6.27)$$

– G-simon almashtirish sxemaga kiritilgan kompleks son.

Bu sxemada kompleks $\bar{c}_1$ ni uning moduli s_1 bilan almashtirish mumkin. Quvvati 10 kVt dan katta bo'lgan asinxron mashinalar uchun $c_1=1,02 \div 1,05$.

Asinxron mashinalarni loyihasida bu qiymat ahamiyatli bo'lsa, elektromagnit jarayonlarni tahlil qilishda $s_1=1$ deb olinsa katta va hato bo'lmaydi. G-simon almashtirish sxemasi magnitlovchi konturi ko'chirilgan yoki soddalashtirilgan almashtirish sxemasi deyiladi.

Aylanayotgan rotor elektr zanjiri toklari sirpanish s ning (6.22) va (6.23) dagi qiymatlarini hisobga olgan holda quyidagicha bo'ladi

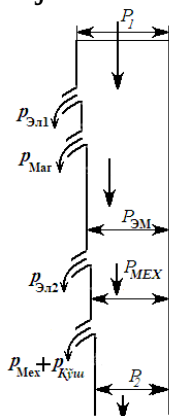
$$\dot{I}'_{2s} = \dot{E}_2 \cdot s / \sqrt{r_2^2 + (x_2 \cdot s)^2} . \quad (6.28)$$

G-simon almashtirish sxema yordamida konturlardagi tok qiymati quyidagicha hisoblanadi

$$\dot{I}'_2 = \dot{U}_1 / \sqrt{(r_1 + \bar{c}_1 r'_2 / s)^2 + (x_1 + \bar{c}_1 x'_2)^2} \quad (6.29)$$

7.1. Asinxron mashina energetik diagrammasi

Asinxron mashina motor rejimida ishlaganda (7.1-rasm) tarmoqdan elektr



7.1-rasm. Asinxron motor energetik diagrammasi

energiyani oladi va mexanik energiyaga aylantiradi. Bu jarayonda motorda energiya isroflari bo'ladi. Asinxron motor tarmoqdan

$$P_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (7.1)$$

aktiv quvvat oladi. Bu quvvatning bir qismi stator chulg'amidagi elektr isroflari (7.1-rasm)

$$p_{1n1} = m_1 \cdot I_1^2 r_1 \quad (7.2)$$

va stator magnit o'zagidagi magnit isroflariga sarf bo'ladi

$$p_{Mar} = \varphi(U_1, f_1).$$

Aylanuvchi magnit maydon vositasida rotorga elektromagnit quvvat P_{1M} uzatiladi

$$P_{1M} = P_1 - p_{1n1} - p_{Mar} . \quad (7.3)$$

Elektromagnit quvvatning bir qismi rotor elektr zanjiridagi isrofga sarf bo'ladi

$$p_{1n2} = m_2 \cdot I_2^2 r_2 = m_1 \cdot (I'_2)^2 r'_2, \quad (7.4)$$

qolgan qismi esa foydali mexanik quvvatga aylanadi

$$P_2 = P_{1M} - p_{1n2} . \quad (7.5)$$

Rotor aylanishida podshipniklardagi ishqalanish va aylanuvchi qismlarining havoda ishqalanishi natijasida mexanik quvvat isrofi bo'ladi.

Bundan tashqari tarqoq magnit oqimlari, stator va rotor po'lat o'zagi tishlarida hamda yaxlit po'lat qismlarida magnit maydonning o'zgarib turishi natijasida ham qo'shimcha quvvat isroflari bo'ladi. Asinxron motorning to'la mexanik quvvati R_2 mexanik isrof p_{Mex} va qo'shimcha p_{Kyuu} isroflarni ayirib, motor orqali ishchi mexanizmga uzatilayotgan foydali quvvat R_2 aniqlanadi

$$P_2 = P_{MEX} - (p_{Mex} - p_{Kyuu}) . \quad (7.6)$$

7.2. Elektromagnit moment

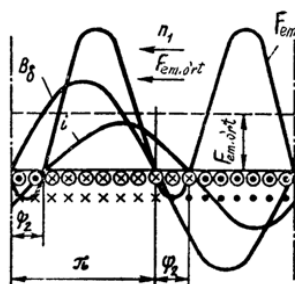
Elektromagnit momentning analitik ifodasini birnecha usullar - elektromagnit kuchlar ifodasi yordamida yoki elektromagnit quvvat ifodasi yordamida aniqlash mumkin. Quyida shularni alohida ko'rib chiqamiz.

Elektromagnit momentni elektromagnit kuchlar yordamida aniqlash. Asinxron mashinaning elektromagnit momenti rotor chulg'ami o'tkazgichlaridan oqib o'tayotgan tokning aktiv tashkil etuvchisi ($I_2 \cos \psi_2$) va stator chulg'ami aylanuvchi magnit maydon $F_{\max}$ bilan ta'siri natijasida (Amper qonuni asosida) elektromagnit $F_{em} = B_\delta l i_2$ kuch tufayli (7.1-rasm) vujudga keladi.

Bu kuch hosil qilgan elektromagnit moment quyidagicha aniqlana

$$M = S_M F_{\max} I_2 \cos \psi_2, \quad (7.7)$$

bunda: $S_M = r \cdot m_2 \cdot k_{ch.2} / \sqrt{2}$ – o'zgarmas kattalik; $F_{\max}$ – magnit oqimning maksimal qiymati. Ushbu ifoda faqatgina asinxron mashinalar uchungina taalluqli bo'lmay, balki elektr mashinalarining barcha turlari uchun ham tegishlidir. Bu ifoda moment qiymatining motorda sodir bo'ladigan fizik hodisalar orasidagi bog'lanishni o'rnatadi. Undan motorning har xil rejimlardagi ish jarayonini sifat jihatdan tahlil qilishda foydalanish qulay hisoblanadi.



7.2-rasm. Havo oralig'idagi magnit induksiya (B_δ), rotor chulg'ami toki (i_2) va elektromagnit kuch (F_{em})

Lekin bu ifodaga kirgan ($F_{\max}$, I_2 va $\cos \psi_2$) kattaliklar to'g'ridan-to'g'ri tarmoq kuchlanishi va mashinaning ish rejimi bilan bog'lanmagan, ularni tajribada aniqlash esa ancha murakkabdir. Shu sababli quyida elektromagnit momentning qiymatini eng oddiy aniqlash, unga mashinaning har xil parametrlari va ekspluatatsion rejimlarining ta'sirini hisobga olish imkonini beradigan boshqa ifodasi keltirib chiqariladi.

Elektromagnit momentni elektromagnit quvvat orqali aniqlash.

Energetik diagrammadan aniqlangan elektromagnit (R_{EM}) va mexanik quvvat (R_{MEX})larni elektromagnit moment orqali ifodalaymiz

$$\begin{aligned} R_{EM} &= M \omega_1; \\ R_{MEX} &= M \omega, \end{aligned} \quad (7.8)$$

bunda $\omega_1 = 2\pi n_1 / 60 = 2\pi f_1 / p$ va $\omega = 2\pi n / 60$,

mos ravishda, statordagi aylanuvchi magnit maydon va rotor burchak tezliklari. (7.8) ga asoslanib, elektromagnit moment quyidagiga teng bo'ladi

$$M = P_{EM} / \omega_1. \quad (7.9)$$

Shunday qilib, asinxron motorning elektromagnit momenti, uning elektromagnit quvvatiga proporsional ekan. Energetik diagrammadan foydalanib rotor chulg'amidagi isroflarni aniqlash uchun quyidagi ifodalarini yozish mumkin

$$p_{\mathfrak{A}2} = P_{\mathfrak{A}M} - P_{Mex} \quad (7.10)$$

yoki

$$p_{\mathfrak{A}2} = M\omega_1 - M\omega = M(\omega_1 - \omega). \quad (7.11)$$

(7.11) ifodaning o'ng tomonini (ω_1 / ω_1) kasrga ko'paytirib quyi-dagini olamiz

$$p_{\mathfrak{A}2} = M\omega_1 \cdot s. \quad (7.12)$$

(7.112) ifodadan quyidagini olamiz

$$M = p'_{\mathfrak{A}2} / (\omega_1 \cdot s) = m_1 (\dot{I}'_2)^2 r'_2 / (\omega_1 s), \quad (7.13)$$

ya'ni asinxron motorning elektromagnit momenti rotor chulg'amidagi elektr quvvat isroflariga proporsional ekan.

Agar G-simon almashtirish sxemasidan foydalanib (6.29) bo'yicha aniq-langani rotor toki I'_2 ning qiymatini (7.13) ga qo'yib, $(\omega_1 = 2\pi f_1 / p)$ ni ham e'tiborga olsak, asinxron mashinaning elektromagnit momenti ifodasining umumiy ko'rinishi hosil bo'ladi

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 r'}{2\pi \cdot f \cdot s [(r_1 + r'_2 / s)^2 + (x_1 + x'_2)^2]}. \quad (7.14)$$

Nominal quvvati 10 kVt dan katta bo'lgan asinxron motorlari uchun (7.14) ifodada $s_1 \approx 1$ deb qabul qilingan. Elektromagnit momentni hisoblashda yuqoriroq aniqlik talab qilinganda kompleks son $s_1 \approx 1,02-1,03$ hisobga olinadi

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 r'}{2\pi \cdot f \cdot s \cdot [(r_1 + c_1 r'_2 / s)^2 + (x_1 + c_1 x'_2)^2]}. \quad (7.14,a)$$

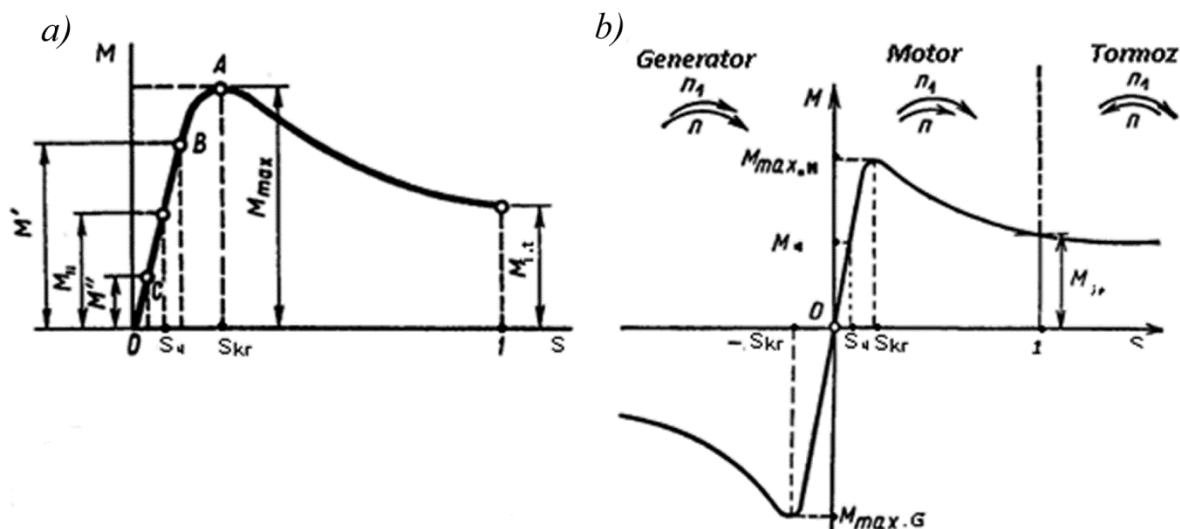
Ifodalar (7.14) va (7.14,a) larda sirpanish s dan boshqa hamma kattaliklar o'zgaras deb hisoblanib, u valdagi mexanik yukka proporsional ravishda o'zgaradi.

7.3. Mexanik tavsif

Ko'rilayotgan asinxron mashinani ideal mashina deb hisoblab, undagi mexanik isroflar (qiymati kichik) e'tiborga olinmasa, elektromagnit moment M valdagi moment MYK ga teng deb bo'ladi. Bundan buyon, elektr motori uchun qilinayotgan tahlillarda «elektromagnit moment M » iborasi o'rniga «aylantiruvchi moment M » iborasi ishlatiladi.

Stator chulg'ami kuchlanishi nominal $U_1 = U_{1N}$ bo'lgandagi $M = f(n)$ yoki $M = f(s)$ bog'lanish asinxron motorning mexanik tavsifi (7.3,a-rasm) deyiladi.

Aylantiruvchi momentning sirpanishga bog'liqligi (yoki mexanik tavsif) $M = f(s)$. Mexanik tavsifni qurish uchun (7.14) ifodadan foydalanish mumkin. Bunda parametrlar o'rniga qiymatlari qo'yilib, so'ngra sirpanish s ga xar hil qiymatlar berib, asinxron motor uchun izlangan mexanik tavsifni quriladi (7.3,a-rasm).



7.3-rasm. Asinxron mashinaning motor (a) va barcha rejimlari uchun qurilgan mexanik tavsiflari (b)

Maksimal momentga to'g'ri keladigan sirpanishni *kritik sirpanish* s_{kr} deyiladi. Uning qiymatini aniqlash uchun (parametrlari o'zgarmas deb hisoblagan holda) momentdan sirpanish bo'yicha birinchi hosila olib, uni nolga tenglaymiz ($dM / ds = 0$), bunda umumiy hol uchun quyidagi natijaga ega bo'lamiz

$$s_{kr} = \pm c_1 r_2' / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}. \quad (7.9)$$

Agarda $c_1 \approx 1$ va qiymati ancha kichik bo'lgani uchun $r_1 \approx 0$ deb hisoblansa, u holda kritik sirpanish s_{kr} ni aniqlash ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$s_{kr} = \pm r_2' / (x_1 + x_2') = r_2' / x_{qt}, \quad (7.9,a)$$

Maksimal (kritik) moment M_{max} ning qiymatini aniqlash uchun (7.9) dan s_{kr} ning qiymatini (7.8,a) ga qo'yib hisoblanadi

$$M_{max} \approx \pm \frac{1}{2} \frac{m_1 \cdot p \cdot U_1}{2\pi f_1 \cdot c_1 [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}]}, \quad (7.10)$$

(7.9), (7.9,a) va (7.10)larda musbat (+) ishora motor rejimiga, manfiy (−) ishora esa generator rejimiga taalluqli (7.2,b-rasm).

Umumiy qo'llanish asinxron mashinalar uchun stator chulg'aming aktiv qarshiligi induktiv qarshiliklar yig'indisidan [$r_1 \ll (x_1 + x_2')$, ya'ni taxminan 10÷12 foizini tashkil qiladi] ancha kichik bo'lgani sababli $r_1 \approx 0$ deb, hamda $s_1 \approx 1$ ekanligini e'tiborga olib M_{max} ning soddalashgan ifodasini aniqlaymiz

$$M_{max} \approx \pm \frac{1}{2} \frac{m_1 \cdot p \cdot U_1}{2\pi f_1 \cdot (x_1 + x_2')}. \quad (7.10,a)$$

Ifoda (7.10)ning tahlili shuni ko'rsatadiki, asinxron mashina generator rejimida ishlaganida, uning maksimal momenti $M_{max.G}$ motor rejimdagi maksimal momenti $M_{max.M}$ ga nisbatan kattaroq bo'ladi. Asinxron motorning maksimal momenti tarmoq kuchlanishi kvadratiga proporsional ekan, ya'ni $M \propto U_1^2$. Bu esa uning kamchiligi hisoblanadi, chunki

kuchlanish, masalan, 10 % ga kamaysa elektromagnit moment $M' = 0,9^2 \cdot M = 0,81 \cdot M_N$ ga, ya'ni 19 % ga kamayadi va motor ishlashining turg'un bo'lmashligiga olib keladi.

Asinxron motor maksimal momentining karraligi $k_M = M_{\max}/M_N$ Davlat standarti tomonidan qat'iy belgilangan, ya'ni $k_M \geq 1,8$. Ayrim maxsus asinxron motorlarda k_M ning qiymati 3,0 gacha etadi. Bu koeffitsient asinxron motorning o'ta yuklanish qobiliyatini xarakterlaydi.

Ifodalar (7.9) va (7.10) ning tahlilidan quyidagi muhim xulosalarga kelimiz

1) kritik sirpanish s_{kr} rotor zanjirining aktiv qarshiligi r'_2 ga proporsional ravishda o'zgaradi;

2) maksimal moment $M_{\max}$ ning qiymati rotor zanjiri aktiv qarshiligi r'_2 ga bog'liq emas;

3) asinxron motorning maksimal momenti $M_{\max}$ va o'ta yuklanish qobi-liyati k_M asosan stator va rotor chulg'amlari tarqoq induktiv qarshiliklari (mos ravishda x_1 va x'_2) yig'indisiga teskari proporsional;

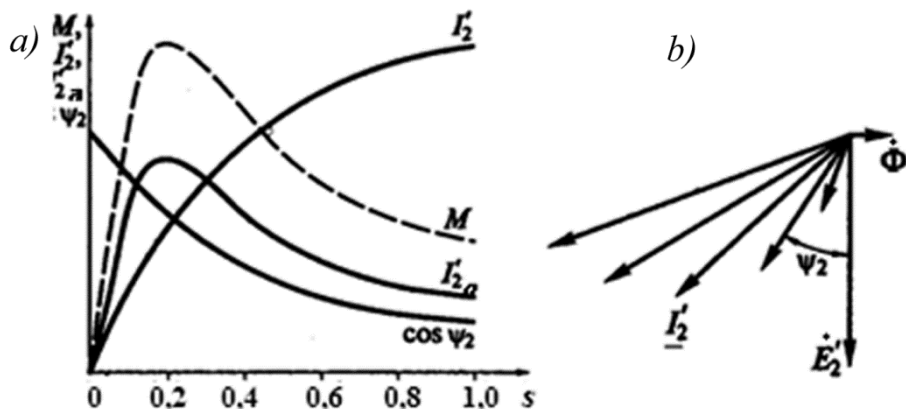
4) maksimal moment $M_{\max}$ har qanday sirpanishdagi moment singari U_1^2 ga proporsionaldir, ya'ni berilayotgan kuchlanish kamayganda motorning o'ta yuklanish qobiliyati keskin pasayadi.

$M = f(s)$ - mexanik tavsifning motor rejimida o'zgarish xarakteri quyidagicha tushuntiriladi. YUk momenti yuksiz ishlash rejimidan oshi-rilsa, sirpanish s ortadi. Bunda aktiv-induktiv xarakterli rotor zanjiri qarshiligidan o'tadigan tok I'_2 ni va uning shu zanjirdagi EYK $\dot{E}'_2$ dan orqada qoluvchi ψ_2 burchakni hisoblash uchun quyidagi ifodalar etarli asosan rotor toki $\dot{I}'_2$ va faza siljish burchagi ψ_2 ortadi, sos ψ_2 esa kamayadi.

$$\dot{I}'_2 = \frac{s \cdot \dot{E}'_2}{(r'_2 + js \cdot x'_2)} = \frac{\dot{E}'_2}{\frac{r'_2}{s} + jx_2}, \quad (7.11)$$

$$\psi_2 = \arctg \frac{x_{2s}}{r_2} = \arctg \frac{s \cdot x_2}{r_2} = \arctg \frac{x_2}{r_2 / s}, \quad (7.12)$$

Sirpanish ortib borishi bilan rotor tokining induktiv xarakteri ortadi, uning aktiv tashkil etuvchisi esa avval (ψ_2 kichik paytda) ortib, so'ngra (umumiy tokning ortishidan qat'iy nazar) kamaya boradi (7.4,b-rasm), chunki EYK $\dot{E}'_2$ va tok $\dot{I}'_2$ orasidagi siljish burchak ψ_2 ortadi.



7.4-rasm. Asinxron motor mexanik tavsifi (a); valdagi yuk o'zgarishida rotor tokining vektor diagrammasi

$M = f(s)$ bog'lanishning o'zgarish xarakterini asinxron motorning ishlash prinsipidan kelib chiqqan holda analitik yo'l bilan ham tushuntirish mumkin, ya'ni (7.1) ga asosan uning elektromagnit momenti magnit oqim F va rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi I'_{2a} larning ko'paytmasiga proporsionaldir. Bundan, $F = \text{const}$ bo'lganda mexanik tavsifning o'zgarish xakteri $I'_{2a} = f(s)$ grafigi bilan aniqlanar ekan.

Ishga tushirish momenti. Asinxron motorni ishga tushirish uchun stator chulg'amini elektr tarmog'iga ulanadi. Bunda, rotor aylanish tezligi miqdori tarmoqqa ulanish onidadayoq 0 dan nominalgacha o'zgarib qolmaydi. Tezlikning bunday o'zgarishi uchun biror "ishga tushirish davomiyligi" deb nomlangan (t_{IsTush}) muddat o'tishi zarur. Shu muddatning boshlanishida, ya'ni stator tarmoqqa ulangan, ammo rotor aylanma harakat olishga ulgurmagan onda rotor sirpanishi $s=1,0$ bo'ladi. Motorning elektromagnit momenti (7.14) ifodasiga $s=1,0$ qo'ysak, motorning ishga tushirish quvvati $M_{i.t}$ aniqlanadi

$$M_{\text{IshTush}} = \frac{m_1 p U_1^2 r_2'}{(r_1 + c_1 r_2')^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}. \quad (7.13)$$

Bunda, maxrajdagi qarshiliklar $r_{qt}^2 + x_{qt}^2 = z_{qt}^2$ ekanligini e'tiborga olsak, ishga tushirish momentining quyidagi ifodasi hosil bo'ladi

$$M_{\text{IshTush}} = \frac{m_1 p U_1^2 r_2'}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot z_{qt}^2} = \frac{p m_1}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{it}^2 \cdot r_2'}, \quad (7.14)$$

bunda $I_{i.t}$ – sirpanish $s=1$ bo'lgandagi ishga tushirish toki.

Ifoda (7.14) dan ko'rinadiki, motorning ishga tushirish momenti asosan ishga tushirish tokining kvadrati $I_{i.t}^2$ ga proporsional bo'lar ekan. Undan tashqari zarurat tug'ilganda qisqa tutashgan rotorli asinxron mashinada «olmaxon katagi» turidagi chulg'am qarshiligini oshirish mumkin bo'lgan maxsus konstruksiyada ishlab chiqarib, faza rotorli motorda esa rotor chulg'amiga qo'shimcha aktiv qarshilik ulash yo'li bilan ishga tushirish mumkin bo'lib, $s=1$ bo'lgandagi momentini oshirish va tokni kamaytirish imkoniyatini hosil qilish mumkin ekan.

Davlat Standartining talabiga ko'ra, asinxron motor nominal yukda ishga tushishi uchun quyidagi shart bajarilishi, ya'ni ishga tushirish momentining karraligi $k_{i.t} = M_{i.t}/M_{\text{max}} \geq 1$ bo'lishi kerak.

Mexanik tavsifni katalog qiymatlari yordamida qurish. (7.7) va (7.28) ifodalarga asosan asinxron motorning elektromagnit momenti quyidagiga teng

$$M = \frac{p_{\text{Эн2}}}{\omega_1 \cdot s} = \frac{m_2 \cdot I_2'^2 \cdot r_2'}{\omega_1 \cdot s} = \frac{m_2 \cdot s E_2'^2 \cdot r_2}{\omega_1 (r_2^2 + s^2 x_2^2)}. \quad (7.15)$$

Motor validagi mexanik yukning o'zgarishi bilan magnit oqim o'zgarmaydi, shu sababli $E_2' \approx \text{const}$ deb hisoblash mumkin. Ifoda (7.8)dan aniqlangan momentdan sirpanish bo'yicha birinchi hosila olinib, uni 0 ga tenglashtirib, kritik sirpanish s_{kr} qiymatini topish mumkin, ya'ni $s_{kp} = \pm r_2' / x_2'$. U holda maksimal moment quyidagiga teng bo'ladi

$$M_{max} = \pm \frac{m_2 E_2'^2}{2\omega_1 x_2'} \quad (7.16)$$

Ifoda (7.15) ni (7.16) ga bo'lib ixchamlashtirishdan keyin nisbiy birliklarda hisoblashga qulay bo'lgan quyidagi soddalashgan bog'lanishga ega bo'lamiz

$$\frac{M}{M_{max}} \approx \frac{2}{s_{kp} / s + s / s_{kp}} \quad (7.17)$$

Bu ifodani Kloss formulasi deyiladi va u ba'zi amaliyotdagi taxminiy hisoblarda qo'llaniladi.

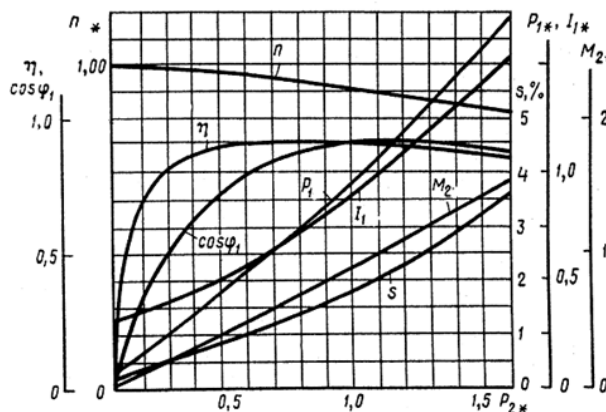
Ifoda (7.17) bo'yicha hisoblashda aniqlik katta bo'lmaydi, chunki stator chulg'amidagi kuchlanish pasayishi e'tiborga olmagan. Ammo asinxron motorning sirpanish kichik qiymatlarida ($s=0$ dan s_{kr} gacha) tekshirishda magnit oqim juda kam o'zgarishi sababli, bu ifoda amaliyotda dastlabki tahlil uchun etarli bo'lgan tezkor natija beradi.

11-mavzu. Asinxron motorning ish tavsifi. Asinxron motorni ishga tushirish

Ishchi tavsiflari deb, $U_1 = const$ va $f_1 = const$ bo'lganda, valdagi yuk (foydali quvvat) R_2 ni o'zgartirib, rotorning aylanish chastotasi n , sirpanish s , stator toki I_1 , foydali moment M_2 , quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ va F.I.K. η larning $n, s, I_1, M_2, \cos\varphi, \eta = f(R_2)$ bog'lanishga aytiladi (8.6-rasm).

Motor validagi yuk ortishi bilan sirpanish s o'sib boradi. Nominal yuklama bo'lganda sirpanish $s_N = 1,5 \div 5\%$ ni tashkil qiladi. Rotorning aylanish chastotasi (6.1,a) dan quyidagiga teng bo'ladi

$$n = n_1 \cdot (1 - s) = 60 f_1 \cdot (1 - s) / p \quad (8.19)$$



8.6-rasm. Nominal qiymati 50 kVt, 220/380 V, 1470 ayl/min bo'lgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning ishchi tavsiflari

Ifoda (7.12)ga ko'ra yuklama (moment M) ortishi bilan sirpanish s ortadi, natijada (8.3)ga ko'ra rotorning aylanish chastotasi n kamayadi.

Asinxron motorning nominal yuk bilan ishlagandagi foydali momenti

$$M_{2N} = 9,55 \cdot P_{2N} / n_N, \quad [N \cdot m] \quad (8.20)$$

Agar $n = const$ bo'lsa, $M_2 = f(R_2)$ ifodaning grafigi taxminan to'g'ri chiziqli bo'lardi. Lekin yuklama ortishi bilan n kamayadi, shu sababli yuklamaning ortishi bilan moment

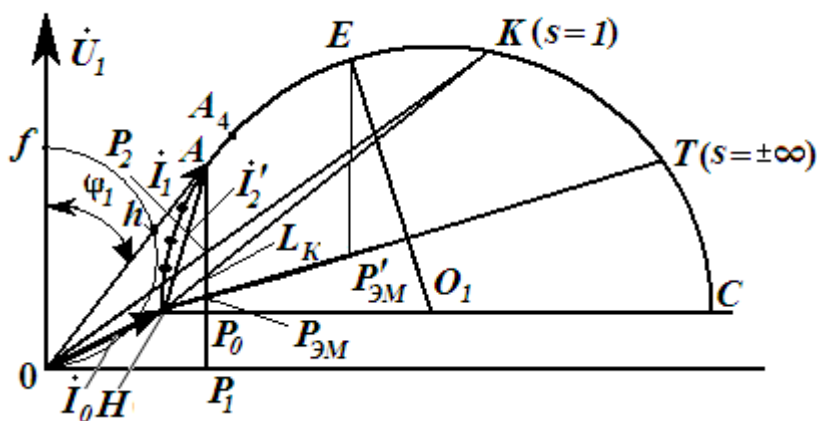
M_2 foydali quvvat R_2 ga qaraganda tezroq o'sadi va uning o'zgarishi yuqoriga og'gan egri chiziqdan iborat bo'ladi.

Motoring validagi yuk ortishi bilan stator toki I_1 ning aktiv tashkil etuvchisi ootib boradi. Kuchlanish $U_1 = \text{const}$ bo'lganligidan tok I_1 ning reaktiv tashkil etuvchisi I_{1r} esa o'zgarmaydi. Shu sababli yuklama o'zgarganda motor magnit oqimi sezilarli o'zgarmaydi va $I_1 = f(P_2)$ bog'lanish deyarli bir xilda qoladi.

Motor kichik yuk bilan ishlaganda stator toki tarkibidagi reaktiv tashkil etuvchisi, aktiv tashkil etuvchisiga nisbatan katta bo'ladi. Shu sababli motoring quvvat koeffitsienti kichik ($0,1 \div 0,2$) bo'ladi. Yuklamaning ortishi bilan tokning aktiv tashkil etuvchisi orta boradi. Bunda kuchlanish U_1 va stator toki I_1 vektorlari orasidagi burchak kichiklashib, $\cos\varphi$ esa o'sib boradi. Motoring validagi yuk nominal qiymatga yaqinlashganda $\cos\varphi_1$ katta qiymatga erishadi ($\cos\varphi_1 = 0,8 \div 0,85$). Yuklamaning yanada ortishi natijasida rotorning aylanish chastotasi n kamayadi, sirpanish s va rotorning induktiv qarshiligi x_2 lar ortishi tufayli $\cos\varphi_1$ bir oz kamayadi.

F.I.K.ning P_2 ga bog'liq o'zgarishi, boshqa elektr mashinalari yoki transformatordegidek xarakterga ega. Yuksiz ishlash rejimida F.I.K. nolga teng ($\eta = 0$). Yuklamaning ortishi bilan η oshib boradi va o'zgaras isroflar (yuklamaga bog'liq bo'lmagan mexanik va yuksiz ishlash isroflari) o'zgaruvchan isroflarga (yuklamaga bog'liq ravishda o'zgaradigan chulg'amlardagi elektr va qo'shimcha isroflar) teng bo'lganda o'zining maksimal qiymatiga erishadi va yuklamaning ortishda davom etishi natijasida o'zgaruvchan isroflarning parabolik ortishi sababli η bir oz kamayadi.

Ishchi tavsifni aylana diagrammasi yordamida qurish. Asinxron motoring nominal rejimda ishlashini ta'minlaydigan parametrlarini, hamda ishchi tavsiflarni aylana diagramma yordamida qurish tartibini ko'raylik. Motoring ishchi rejimini ifodalovchi aylana diagramma zonasi 8.5-rasmda juda kichik joy egallagan. Unda grafik ishlarini bajarish va o'lchovlar o'tkazish ishlarining noqulayliklari sababli, 8.7-rasmda keltirilgan aylana diagrammaning shu qismi biroz kattaroq qilib ko'rsatilgan.



8.7-rasm. Ishchi tavsiflarni aylana diagrammalarni yordamida qurish

Ishchi tavsiflarni aylana diagramma yordamida qurish uchun unga qo'shimcha (yordamchi) chiziqlar kiritamiz.

Stator chulg'ami toki I_1 ni tokning masshtabi m_i da

$$\overline{OA} = I_1 / m_i, \text{ (mm)} \quad (8.21)$$

So'ngra, A nuqtani N bilan birlashtirib, toklar uchburchagi OAN ni hosil qilamiz. Bunda yu.i. toki $\dot{I}_0 = m_i OH$, rotorning keltirilgan toki $\dot{I}'_2 = m_i HA$ va stator toki $\dot{I}_1 = m_i OA$.

A nuqtadan absissa o'qiga perpendikulyar (AR_1) o'tkazamiz va to'g'ri burchakli uchburchak hosil qilamiz. Undan stator tokining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarini hisoblaymiz

$$\dot{I}_{1a} = m_i AP_1; \dot{I}_{1p} = m_i OP_1. \quad (8.22)$$

Agar $U_1 = \text{const}$ va $f_1 = \text{const}$ bo'lsa, u holda R_1 quvvat stator chulg'ami tokining aktiv tashkil etuvchisiga ($R_1 \equiv I_{1a}$) proporsional bo'ladi. Aylana diagrammada I_{1a} ning qiymati AR_1 kesma bilan aniqlanadi, shuning uchun motorga keltirilgan R_1 quvvat quyidagicha aniqlanadi (Vt)

$$P_1 = m_p AP_1, \quad (8.22)$$

bunda, $m_p = m_1 U_1 m_i$ - quvvat masshtabi, Vt/mm.

Motorga tarmoqdan kelayotgan quvvatni keltirilga quvvat chizig'i deb nomlangan absissa o'qidan toklar aylanasi joylashgan ishchi nuqtasi A gacha bo'lgan masofa bilan aniqlanadi.

Motorning foydali quvvati R_2 aylana diagrammasida A nuqtadan tushirilgan vertikalda AR_2 kesma bilan aniqlanadi

$$P_2 = m_p AP_2, \quad (8.23)$$

Elektromagnit quvvat va elektromagnit moment aylana diagrammasida A nuqtadan R_{EM} nuqtagacha bo'lgan kesma bilan aniqlanadi

$$P_{\text{EM}} = m_p AP_{\text{EM}}, \quad (8.24)$$

$$M_{\text{EM}} = m_M AP_{\text{EM}}, \quad (8.25)$$

bunda $m_M = 9,55 m_p / n_1$ - moment masshtabi, N·m/mm.

Quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_1$ ni aniqlash uchun ordinata o'qida ixtiyoriy Of diametrda yarim aylana quriladi. Stator toki $\dot{I}_1$ vektori yangi yarim aylana bilan kesishgan nuqtani h deb belgilaymiz. Quvvat koeffitsienti

$$\cos\varphi_1 = Oh / Of \quad (8.26)$$

Foydali ish koeffitsienti foydali quvvat P_2 ni keltirilgan quvvat P_1 ga nisbati kabi olinadi

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{AP_2}{AP_1}. \quad (8.27)$$

Bu usulda hisoblangan f.i.k. katta xatolikka olib keladi, chunki unda barcha turdagi quvvat isroflari e'tiborga olingan deb bo'lmaydi. Shu sababli f.i.k.ni (7.3) - (7.5) yordamida yu.i. va q.t. tajribalaridan foydalanib hisoblagan maqbul. Magnit va mexanik quvvat isroflarining yig'indisi

$$p_{\text{maz}} + p_{\text{mex}} = P_{01} - m'_1 I_0^2 r_1; \quad (8.28)$$

Stator chulg'amidagi elektr isroflar (7.1), rotor chulg'ami elektr isroflari esa (7.2) yordamida; qo'shimcha isroflar $R_{\text{qo'sh}}$ Davlat standartiga ko'ra motor nominal yuklanish bilan ishlaganda motorga keltirilayotgan quvvatning 0,5% tashkil etadi. Qo'shimcha quvvat

isroflari stator toki I_1 ning kvadratiga proporsional deb hisoblash qabul qilingan. Unda, qo'shimcha isroflar

$$p'_{\text{kyu}} = p_{\text{kyu}} (I_1 / I_{\text{HOM}})^2. \quad (8.29)$$

Motorning o'ta yuklanish qobiliyati maksimal moment M_{max} ning nominal moment M_{NOM} ga nisbatiga aytiladi. Maksimal momentni aniqlash yuqorida (8.5-rasm) ko'rsatilgan

$$M_{\text{max}} = m_M EP'_{\text{EM}}. \quad (8.30)$$

Agar toklar aylanasiidagi A nuqta (8.7-rasm) nominal rejimga mos bo'lsa, u holda motorning o'ta yuklanish qobiliyati quyidagiga teng bo'ladi

$$M_{\text{max}} = EP'_{\text{EM}} / AP_{\text{EM}}. \quad (8.31)$$

Sirpanish quyidagicha aniqlanadi

$$s = p_{\text{EM2}} / P_{\text{EM}}, \quad (8.32)$$

bunda R_{EM} (8.24) dan hisoblanadi.

Ishchi tavsiflarini qurish uchun aylana diagrammasida stator tokining birnecha qiymatlarini $0,5 \cdot I_{\text{1NOM}}$; $0,75 \cdot I_{\text{1NOM}}$; I_{1NOM} ; $1,15 \cdot I_{\text{1NOM}}$ tok masshtabiga ko'paytirib, aylana diagrammasiga qo'yiladi (8.7-rasm) va yuqorida keltirilganidek, xar bir (A_1 ; A_2 ; A_3 ; A_4 ; A_5) nuqta uchun qiymatlar aniqlanadi, jadvalga kiritiladi va tavsiflar chiziladi (8.6-rasm).

ASINXRON MOTORNI ISHGA TUSHIRISH

9.1. Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish

Asinxron motorni ishga tushirish jarayoni, bu stator chulg'amini tarmoqqa ulagandan so'ng, rotor va maxkamlangan ijro mexanizmi aylanuvchi qismlarining to'xtab turgan bir turg'un holatidan, ikkinchi turg'un holatiga – motorning aylantiruvchi momenti bilan unga aks ta'sir etuvchi qarshilik momentlari muvozanatlangandagi ravon aylanuvchi holatiga etishdagi o'tkinchi jarayondan iborat.

Motorning ishga tushirishdagi xususiyatlari, birinchi galda uning ishga tushirish toki $I_{\text{H.T.}}$ qiymati hamda uning karraligi $I_{\text{H.T.}} / I_{\text{HOM}}$ va ishga tushirish momenti $M_{\text{H.T.}}$ qiymati hamda uning karraligi $M_{\text{H.T.}} / M_{\text{HOM}}$ qiymatlari bilan belgilanadi. Yaxshi ishga tushirish xususiyatlariga ega bo'lgan motor, nisbatan kichik ishga tushirish toki va etarli darajadagi katta ishga tushirish momentini hosil qiladi. Biroq, bunday yaxshi xususiyatlarning mujassamligiga erishish mushkul. Chunki kichik ishga tushirish toki $I_{\text{H.T.}}$ va katta ishga tushirish momenti $M_{\text{H.T.}}$ istagi - bu bir-biriga zid bo'lgan shartlardir. Agar motorni loyihalashda maxsus qurilmalarsiz $I_{\text{H.T.}}$ ni kamaytirishga erishilsa, unda $M_{\text{H.T.}}$ ham kamayadi va, aksincha, motor sxemasiga qo'shimcha element kiritmasdan $M_{\text{H.T.}}$ ni oshirishga erishilsa, u holda $I_{\text{H.T.}}$ ham ortadi. Bu fikrlarni quyida $I_{\text{H.T.}}$ va $M_{\text{H.T.}}$ uchun keltiriladigan ifodalardan ham anglam olish mumkin.

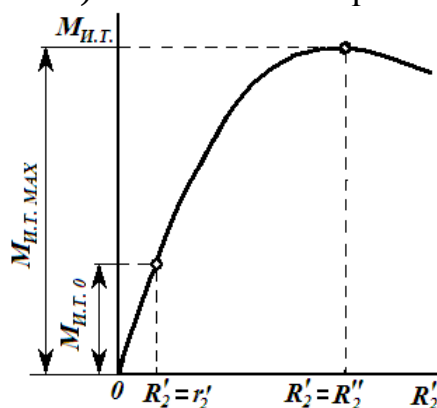
Stator chulg'ami tarmoqqa ulagandan so'ng, ishga tushirishning dastlabki onlarida sirpanish $s = 1$ bo'lganda, yu.i. toki e'tiborga olinmasa, ishga tushirish tokini va momenti (7.14) va (7.19) dan quyidagicha bo'ladi:

$$I_{H.T.} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}}; \quad (9.1)$$

$$M_{H.T.} = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{2\pi f_1 [(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2]}. \quad (9.2)$$

Ifoda (9.1) va (9.2)dan ko'rinadiki, motorning ishga tushirish xususiyatlarini yaxshilashni rotor zanjiridagi aktiv qarshilikni oshirib erishish mumkin ekan, chunki bu vaziyatda ishga tushirish tokini kamaytirish bilan ishga tushirish momentini oshirish birgalikda amalga oshiriladi. Shu bilan birga, stator kuchlanishi U_1 motorning ishga tushirish parametrlariga xar hil ta'sir o'tkazadi: U_1 ni kamaytirish $I_{H.T.}$ kamayishiga olib keladi va motor ishga tushirilishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi, biroq, U_1 ning kamayishi ishga tushirish momentini ham kamaytiradi. Ishga tushirish xususiyatlarini yaxshilash usullaridan qay birini tanlash motor ekspluatatsiyasining muayyan sharoitlari va ishga tushirishga qo'yiladigan talablarga bog'liq.

Ishga tushirish toki $I_{H.T.}$ va momenti $M_{H.T.}$ qiymatlaridan tashqari motorni ishga tushirish ko'rsatkichlariga - ishga tushirishning davomiyligi va ravonligi, ishga tushirish jarayonining murakkabligi, uning samaradorligi (narxi, ishga tushirish apparatlarining ishonchliligi va undagi quvvat isroflari) – ham e'tiborni qaratish zarur.

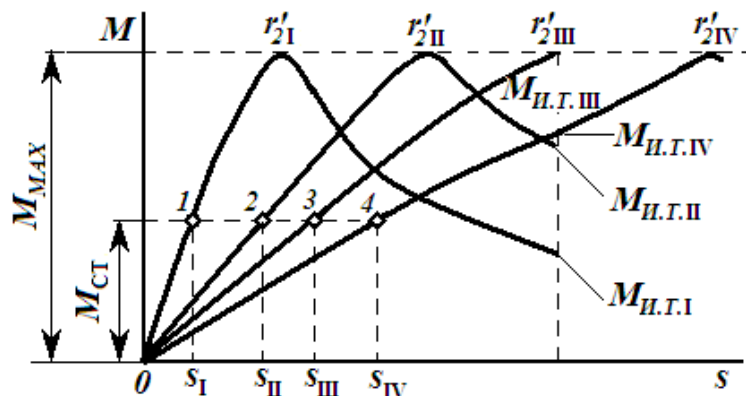


9.1-rasm. Ishga tushirish momentining rotor aktiv qarshiligiga bog'liqligi

Faza rotorli asinxron motorlarda kontakt xalqalar mavjud bo'lib, ular rotor valiga bir-biridan va valdan elektr izolyasiyalangan holda maxkamlanadilar va ularning har biriga rotorning faza chulg'amlarining boshlari ulanadi, chulg'am ketlari esa yulduzcha usulda o'zaro ulanadi. Mashina ishlaganda rotor bilan birga aylanuvchi kontakt halqalar maxkamlangan shchetskalar yordamida rotor chulg'amini tashqi zanjir bilan bog'laydilar. Motorni ishga tushirishda rotor chulg'amiga kontakt halqalar vositasida ishga tushirish reostati (ITR) ulanadi. Bunda rotor chulg'ami zanjirining aktiv qarshiligi $R_2 = r_2' + r'_{KVIII}$, bunda r'_{KVIII} - ITRning rotor chulg'amiga keltirilgan qo'shimcha elektr qarshiligi. Rotor chulg'amidagi aktiv qarshilikning ta'sirini (9.2) ifodadan ko'rish mumkin. Bunday ta'sirni 9.1-rasmdagi grafikdan ko'rish mumkin. Uning tahlilidan shunday xulosaga kelamiz: agar ITRsiz ishga tushirilsa, ya'ni rotor zanjiri aktiv qarshiligi $R'_2 = r_2'$ bo'lsa va ishga tushirish momenti $M_{H.T.} = M_{H.T.0}$ bo'lsa, rotor zanjiriga qo'shimcha r'_{KVIII} aktiv qarshilik ulansa va

$R_2'' = r_2' + r_{KVIII}' = x_1 + x_2'$ bo'lsa, u holda $M_{H.T.}$ maksimal qiyma-ti $M_{H.T.MAX}$ ga erishadi. Rotor qarshiligi undan $R_2' > x_1 + x_2'$ ortsa, $M_{H.T.}$ kamayadi.

ITRning qarshiligi r_{KVIII}' ni tanlashda motorni ishga tushirish shartlaridan kelib chiqiladi: agar motor ishga tushirilishida valdagi yuklanish momenti katta bo'lsa, r_{KVIII}' ni tanlashda eng katta ishga tushirish momenti bo'lishini ta'minlash asosiy talab qilib olinadi (9.2-rasm).



9.2-rasm. Rotor chulg'ami qarshiligining motor mexanik $M = f(s)$ tavsifiga ta'siri

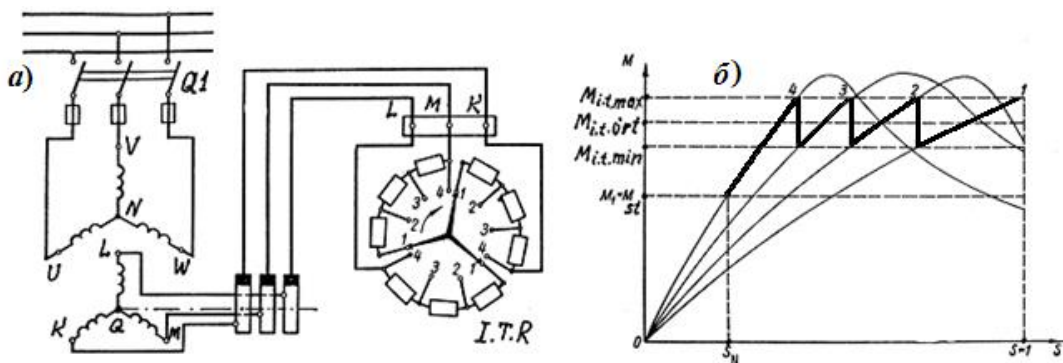
Ifoda (7.10) dan ko'rinadiki, motorning maksimal momenti M_{MAX} rotorning aktiv qarshiligi r_2' ga bog'liq emas ekan. Kritik sirpanish s_{KP} esa, (7.9)ga ko'ra qarshilik r_2' ga proporsional. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, asinxron motorning rotor aktiv r_2' qarshiligini asta-sekin oshirilsak, maksimal momentning qiymati o'zgarishsiz qolar ekan, kritik sirpanish esa ortib borar ekan (9.2-rasm). Bunda r_2' ortishi bilan ishga tushirish momenti $M_{H.T.}$ ma'lum miqdorgacha ortib boradi. 9.2-rasmda bu holat r_{2III}' qarshilikka mos kelmoqda va ishga tushirish momenti maksimal momentga teng bo'layapti. Qarshilik r_2' ning ortishi davom etaversa ishga tushirish momenti kamayadi.

9.2-rasmda keltirilgan $M = f(s)$ grafikning tahlili ko'rsatadiki, r_2' qarshilikning o'zgarishi bilan birga rotor aylanish chastotasi xam o'zgaradi: o'zgaras yuklanish momenti bo'lganda ($M_{CT} = const$) sirpanish ortadi, ya'ni rotor aylanish chastotasi kamayadi (1, 2, 3, va 4 nuqtalar).

Ishga tushirish reostatini rotor chulg'amiga ulash sxemasi 9.3,a-rasmda keltirilgan. Dastlab motor 1-tavsif (9.3,b-rasm) bo'yicha ishga tushiriladi. Bu holda ITRning qarshiligi $R_{i,t} = R_1 + R_2 + R_3$ bo'lib, aylantiruvchi moment maksimal momentga teng bo'ladi ($M = M_{max}$).

Motorning aylanish chastotasi oshib borgan sari aylantiruvchi moment M ham kamaya boradi va $M_{i,t,min}$ momentdan kichik ($M < M_{i,t,min}$) bo'ladi.

$M = M_{i,t,min}$ bo'lganda ITRning bir qismi (R_1) sxemadan chiqariladi. Shu onda aylantiruvchi moment keskin $M_{i,t,max}$ qiymatgacha yana ortadi, so'ngra aylanish chastotasining ortishi 2-tavsif (qalin chiziq) bo'yicha o'zgaradi. Bu holda ishga tushirish reostatining qarshiligi $R_{i,t,2} = R_2 + R_3$ bo'ladi.



9.3-rasm. faza rotorli asinxron motorini ishga tushirish sxemasi (a) va ishga tushirish momentining sirpanishiga bog‘liqlik grafigi (b)

Aylantiruvchi moment $M_{i.t.min}$ gacha kamayib boradi, shu vaqtda R_2 qar-shilikni uzadilar, bunda motor 2-tavsif bo‘yicha ishlaydi. Bunda ishga tushirish reostatining qarshiligi $R_{i.t.1} = R_3$ bo‘ladi. Ishga tushirishning so‘ngida ishga tushirish reostati sxemadan butkul chiqariladi va rotor chulg‘amlari qisqa tutashadi. Bu holda motor tabiiy tavsif (4) bo‘yicha ishlaydi (9.3,b-rasm). Sirpanish s_N gacha kamayadi va N nuqtada muvozanat ($M_{CT} = M_N$) holatiga erishiladi.

9.2. Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni ishga tushirish

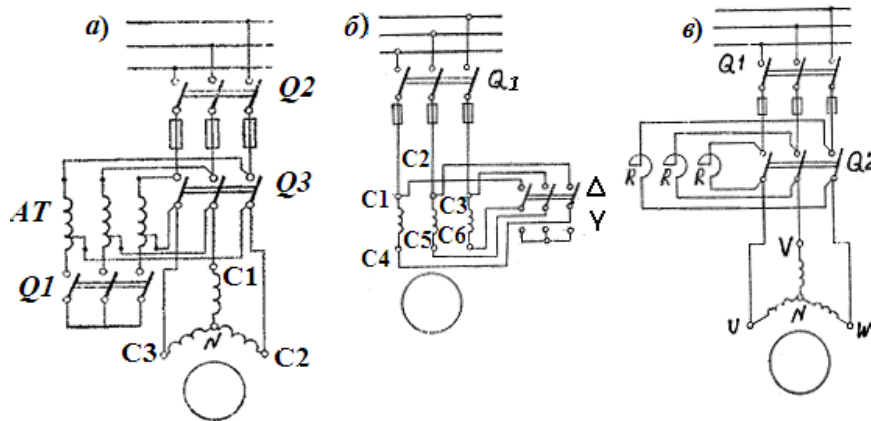
Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarni ishga tushirishning eng asosiy ekspluatatsion muammasi - ishga tushirish toki miqdorini kamaytirish va ishga tushirish davomiyligini qisqartirishdir. Ishga tushirish momentini oshirish muammosi esa motorni loyihalash jarayonida hal qilinadi va zaruriy konstruksion echimlar taklif etilib, motorni ishlab chiqarish jarayonida muammo bartaraf etiladi. Shu sababli, ko‘pgina q.t. rotorli asinxron motorlar (asosan kichik quvvatli – 50 kVt.gacha) bevosita tarmoqqa ulash tarmoqqa ulab, ishga tushiriladi. Bunda ishga tushirishning boshlang‘ich holatlarida tokning miqdori nominal qiymatidan 5-7 marta ortib ketadi (9.3-rasm).

Katta quvvatli tarmoqlarga ulanadigan kichik quvvatli motorlarda ishga tushirish toki miqdorining qisqa muddat ortishi katta muammo tug‘dirmaydi. Ammo tarmoq cheklangan quvvatga ega bo‘lsa, yoki motor quvvati katta bo‘lsa, $I_{H.T.}$ tokining kattaligi, ushbu muammoning echilishini taqozo etadi.

1. Bevosita tarmoqqa ulash usulidan tashqari birnecha usullar mavjudki, ular mohiyatini tushunish uchun (9.1) va (9.2) ifodalardan foydalanish mumkin. Ularaga ko‘ra, yana ikki usul qo‘llaniladi:

1. Stator chulg‘ami kuchlanishi U_1 ni o‘zgartirib ishga tushirish.
2. Stator chulg‘ami toki chastotasi f_1 ni o‘zgartirib ishga tushirish.

Kuchlanish U_1 ni o‘zgartirib ishga tushirish. Bunda barcha usullar qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan vositaga qarab ajratiladi: kuchlanishni ravon oshirib - avtotransformatorli, induksion rostlagichli, yarim o‘tkazgichli to‘g‘rilagichli ishga tushirish; pog‘onali o‘zgartirib - reaktorli, stator chulg‘ami ulanishini yulduzchadan uchburchakka o‘zgartirib ishga tushirish. Har qanday vosita bilan kuchlanish pasaytirilmasin, bu usulning eng asosiy kamchiligi – kuchlanish pasayishi bilan uning kvadratiga proporsional ishga tushirish momentning kamayishidir.



9.4-rasm. stator kuchlanishini pasaytirib ishga tushirish: avtotransformatorli (a); reaktorli (b); stator chulg'amini yulduzcha ulanishdan uchburchak ulanishga o'tkazib

Asinxron motorni avtotransformator yordamida (9.4,a-rasm) ishga tushirish uchun dastlab Q1 ulagich avtotransformatorni yulduzcha zxemasiga ulaydi, so'ngra Q2 ulagich ulanadi. Bunda motorning stator chulg'amiga avtotransformatordan pasaytirilgan kuchlanish (U_{1pas}) beriladi.

Bunda motorning dastlabki $M_{i,t}$ tushirish momenti

$$M_{i,t} = M_{i,t.N_N} (U_1 / U_{1N})^2 \quad (9.1)$$

ishga tushirish toki esa kamayadi va u quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi

$$I_{i,t} = I_{i,t.N_N} (U_1 / U_{1N})^2. \quad (9.2)$$

Rotorning aylanish chastotasi oshgandan keyin Q1 ulagich uziladi va avtotransformator reaktorga aylanadi. Bunda statordagi kuchlanish biroz ortadi, ammo nominal qiymatidan pastroq bo'ladi, motor tezligi ortadi. Q3 ulagich ulangandan so'ng, motor statoriga tarmoqning nominal kuchlanishi beriladi. Shunday qilib, avtotransformator yordamida ishga tushirish usuli uch bosqichdan iborat bo'lib, birinchi va ikkinchi bosqichlarda motorga pasaytirilgan $U_1 = (0,5-0,6)U_{1HOM}$, $U_1 = (0,7-0,8)U_{1HOM}$ kuchlanishlar beriladi va nihoyat, uchinchi bosqichda motorga nominal kuchlanish ulanadi.

Stator chulg'amini yulduzcha usulida ulashdan uchburchak usulda ulashga o'tkazib ishga tushirishda (9.4,b-rasm) asinxron motor stator chulg'ami fazalariga dastlabki berilayotgan kuchlanish nominal miqdoridan $\sqrt{3}$ marta kam bo'ladi, xuddi shuningdek faza toklari xam $\sqrt{3}$ marta kamayadi. Liniya toklari esa 3 marta kamayadi. Stator chulg'amlarining ulanish sxemasini o'zgartirish 3 fazali kontaktor yoki ulagich yordamida amalga oshiriladi. Bu usulni qo'llashning asosiy sharti – motorning stator chulg'ami nominal rejimda uchburchak usulda ulangan bo'lishidir.

Asinxron motorni reaktor yordamida ishga tushirishda (9.4,v-rasm) reaktiv qarshiliklarda ishga tushirish tokiga to'g'ri proporsional bo'lgan kuchlanish pasayuvi ΔU vujudga kelib, stator chulg'amlariga pasaygan kuchlanish U_{1ras} beriladi. Bu kuchlanishning qiymati quyidagicha topiladi:

$$\Delta \dot{U}_1 = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 x_p, \quad (9.3)$$

bunda x_r – ishga tushirish reaktiv qarshiligi.

signallarni real vaqt rejimida (“on line” rejimi yoki “v rejim realnogo vremeni”), asinxron motorning chiqish qiymatlarini D1 va D2 yordamida o‘lchab, shu onda mikroprotsessorda maxsus kompyuter dasturlarida qayta ishlov berilib, blshqaru singallari vujudga keladi va elementlarga ularni boshqarish signallari sifatida etkaziladi.

Birnecha o‘n yillar avval bunday sxemalar tizimi qimmat va ekspluatatsiyada ishonchliligi juda kichik bo‘lganligi sababli, sanoatda o‘z o‘rnini topolmadi. Xozirgi kunga kelib, bunday sxemalarni tashkil etuvchi elementlar narxi pasayishi, ishonchliligining ortishi sababli sanoatda o‘z o‘rnini topmoqda.

Bunday ishga tushirishning yana bir afzalligi shundaki, ularni biror qo‘shimcha jihozlarsiz (mikroprotsessorlar dasturiy ta‘minoti o‘zgarishi bundan mustasno) asinxron motor rotor tezligini rostlashda muvaffaqiyatli qo‘llash mumkin.

12-mavzu. Asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash. Asinxron generator, undagi elektromagnit jarayonlar va tavsiflari

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor aylanish tezligini boshqarish

Asinxron motorlarning aylanish tezligini boshqarish muammosi muhim ekspluatatsion ahamiyatga ega. Sanoatning ayrim sohalarida motorlarni boshqarish tavsiflariga juda yuqori talablar (keng diapazon bo‘lishi, ravon rostlanishi va iqtisodiy samarali bo‘lishi) qo‘yiladi.

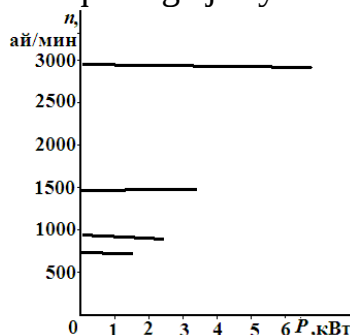
Asinxron motorning aylanish tezligi (9.5) ifoda

$$n = n_1(1 - s) = 60 f_1(1 - s) / p \quad (9.5,a)$$

yordamida aniqlanadi. Bundan ko‘rinadiki, stator tokining chastotasi f_1 va juft qutblar soni p ni o‘zgartirish bilan motorning aylanish tezligini boshqarish mumkin ekan.

A) Motorning aylanish tezligini juft qutblar r sonini o‘zgartirib boshqarish uchun (9.4) asoslanish mumkin. Unga ko‘ra motor aylanish tezligi r ga teskari proporsionaldir. Bugungi kungacha qisqa tutashgan rotorli asinxron mashinalaridagi r ning qiymati stator chulg‘amlari o‘ralayotganda, ya‘ni mashina ishlab chiqarilayotganda konkret miqdori ko‘rsatiladi va uni ekspluatatsiya jarayonida o‘zgartirib bo‘lmaydi.

Ammo, xozirgi kunda elektrotexnika fanining taraqqiyoti natijasida mashina stator chulg‘amlari qutblarini ekspluatatsiya jarayonida boshqarish imkoniyatlari O‘zbekiston olimlari tomonidan kashf etilib, ishlab chiqarishga joriy etish ishlari bajarilmoqda.



9.6-rasm. Ko‘p qutbli asinxron motor rostlash tavsiflari

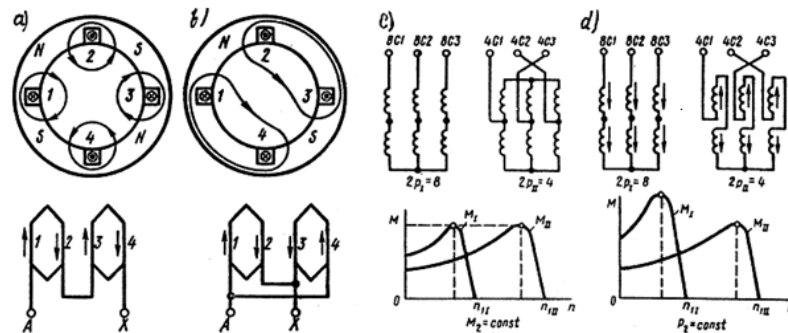
Ekspluatatsiyaga joriy etilgan r ni o‘zgartirib boshqarishda r ning qiymati chulg‘am ulanishi va chulg‘am qadamiga bog‘liq bo‘ladi. Yana shuni e‘tiroz etish zarurki, (9.5) ifodaga ko‘ra, r miqdori o‘zgarganda rotor aylanish tezligi pog‘onali boshqariladi, masalan,

$r=1$ bo'lganda $n_1=3000$ ay/min; $r=2$ bo'lganda $n_1=1500$ ay/min; $r=3$ bo'lganda $n_1=1000$ ay/min; $r=4$ bo'lganda $n_1=750$ ay/min va h.k. (9.6-rasm).

9.7-rasmda stator chulg'ami qutblari sonini o'zgartirishning eng oddiy sxemasi keltirilgan. Bu sxemada stator chulg'ami qutblari soni ikki marta o'zgaradi. Bunda stator chulg'amining har bir fazasi ikkiga bo'linib, ketma-ket ulanishdan parallel ulanishga o'tkaziladi. 1 va 2, 3 va 4-g'altaklarning parallel ulanishi qutblar sonini ikki marta kamaytirib, motorning aylanish tezligini ikki marta oshiradi.

1 va 2, 3 va 4-g'altaklarning parallel ulanishi qutblar sonini ikki marta kamaytirib, motorning aylanish chastotasini ikki marta oshiradi.

Agarda motorning aylanish tezligini uch yoki to'rt karra oshirish lozim bo'lsa, u holda statorga qo'shimcha yana bitta chulg'am joylashtiriladi.



9.7-rasm. Stator chulg'ami qutblar sonini o'zgartirish sxemalari: a) $2p=4$ b) $2p=2$ qayta ulash sxemalari hamda c) $M=const$

Qutblar soni o'zgartirilib, aylanish chastotasi boshqariladigan asinxron motorlarni ko'p tezlikli motorlar deyiladi. Bunday motor rotor qisqa tutashgan bo'ladi. 9.7-rasmda stator chulg'ami qutblari soni 2:1 va 8:4 nisbatlarga o'zgaradigan sxemalar ko'rsatilgan. Bu rasmdagi «c» sxema $M_2=const$, «d» sxema esa $R_2 = const$ hollar uchun qutblar sonini o'zgartiradi va motorning shu rejimlarga mos bo'lgan mexanik tavsiflari ko'rsatilgan.

Katta gabaritli va narxi balandligi ko'p tezlikli asinxron motorlarning asosiy kamchiliklari hisoblanadi.

Bundan tashqari tarmoq kuchlanishi chastotasi o'zgarmas $f=50\text{Hz}$ bo'lganda, motorning aylanish tezligini boshqarish ravon bo'lmay, pog'onali bo'ladi va juft qutblar soni $r = 1; 2; 3; 4$ bo'lganda stator chulg'ami hosil qilgan aylanuvchi magnit maydon aylanish tezligi xam o'zgarmas $n_1 = 3000; 1500; 1000; 750$ bo'ladi. Rotor aylanish tezligi esa yuksiz ishlash rejimida ushbu to'rtta miqdorga yaqin bo'lib, motorning yuklanishi ortishi bilan nishabli (pasayuvchi) bo'ladi (9.6-rasm). Demak, bu usul bilan asinxron motorning rotor aylanish tezligini ravon boshqarib bo'lmaydi.

Usulning yana bir kamchiligi shundaki, ko'p tezlikli asinxron motorining nominal quvvati eng katta aylanish tezligiga mos bo'lib, boshqarish natijasida rotor aylanish tezligining 2, 3 va 4 marta kamayishi, motorning valdagi foydali quvvati shuncha marta kamayishini anglatadi. Demak, bunday asinxron mashinalar o'zining nominal quvvatiga doimo ham erishmas ekan.

B) Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning aylanish tezligini boshqarish usullaridan eng katta diapazonli (10:1 va undan kattaroq) va ravon bo'lishini ta'minlaydigan usul bu chastotaviy boshqarish usuli, ya'ni stator chulg'amiga keltirilgan kuchlanish chastotasini boshqarish hisoblanadi. Buni amalga oshirish uchun o'zgaruvchan

chastotali elektr manbi, masalan, sinxron generator yoki tiristorli (tranzistorli) statik chastota o'zgartgichlardan (CHO') foydalaniladi (9.5-rasm). Yuqorida keltirilganidek, CHO' sifatida mikro- va nanoelektronikaning oxirgi yutuqlaridan foydalanish asosida, tiristorli (tranzistorli) to'g'rilagichlar va invertorlar ishlab chiqilmoqdaki, ularning narxi kun sayin pasayib bormoqda. Bu esa CHO'larning sanoatda keng qo'llanishiga qulay vaziyatlar tug'dirmoqda.

Chastotali boshqarishning asosiy shartlaridan biri shundaki, mexanik tavsifga qo'yiladigan talablarga qarab, stator tokining chastotasi o'zgarishi bilan birga, kuchlanish amplitudasi ham ma'lum bir qonuniyat asosida o'zgartirilishi shart.

Chastotali boshqarishning asosiy qonuniyatini birinchi marta akademik M.P. Kostenko ta'riflab bergan.

Motorning maksimal momenti taxminan (r_1 qarshilik e'tiborga olinmayapti) quyidagicha bo'ladi

$$M_{\max} \approx \frac{m_1 U_1}{2\omega_1(x_1 + x_2'^2)}. \quad (9.6)$$

Bunda $\omega = 2\pi f_1 / p$ va $x_1 = 2\pi f_1 L_1$, $x_2' = 2\pi f_1 L_2'$, quyidagini hosil qilamiz

$$M_{\max} = k_1 \frac{U_1}{f_1^2}, \quad (9.7)$$

bunda k_1 – doimiy koeffitsient.

Chastota f_1 ning ikki qiymatlaridagi maksimal momentlar nisbati

$$\frac{M_{\max(1)}}{M_{\max(2)}} = \left[\frac{U_{1(1)} f_{1(2)}}{U_{1(2)} f_{1(1)}} \right]^2, \quad (9.8)$$

bunda (1) va (2) indekslar xar xil burcha tezliklariga mos keladi.

Ifoda (9.8) ga muvofiq, umumiy hol uchun f_1 chastota o'zgarganda U_1 ning o'zgarish qonuniyatini quyidagicha ifodalash mumkin

$$\frac{U_{1(2)}}{U_{1(1)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}} \sqrt{\frac{M_{\max(2)}}{M_{\max(1)}}}. \quad (9.9)$$

Agar aylanish tezligini boshqarishda ixtiyoriy f_1 uchun mexanik tavsifning $M_{\max}$ qiymati o'zgarmas bo'lishi (o'zgarmas momentli boshqarish) lozim bo'lsa, u holda (9.9) dan quyidagini hosil qilamiz

$$\frac{U_{1(2)}}{U_{1(1)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}} = \text{const}, \quad (9.10)$$

$$\text{yoki} \quad \frac{U_{1(1)}}{f_{1(1)}} = \frac{U_{1(2)}}{f_{1(2)}} = \text{const}. \quad (9.11)$$

(9.9) - (9.11) ifodalarga muvofiq, motorning o'ta yuklanish qobiliyati, quvvat koeffitsienti, aylantiruvchi moment, foydali quvvat va FIKlardan birini yoki birnechtasini talab qilingan qiymatda o'zgarmas holda saqlash zarur bo'lsa, chastota f_1 ni o'zgartirish bilan birga stator chulg'amiga keltirilgan kuchlanish U_1 amplitudasini ham o'zgartirish shart ekan.

Sanoat korxonalaridagi ko‘plab elektr yuritmalarning asinxron motorlarini 9.5-rasmda keltirilgan sxema asosida, na faqat ishga tushirish rejimida, balki ishchi rejimlarida ham rotor aylanish tezligini chastotaviy boshqarish mumkin. Bunda xar hil mexanizmlar va texnologik jarayonlar uchun (9.9) – (9.11) chastotaviy boshqarish qonuniyatlari o‘zgacha va o‘ziga xosligi bilan ajralib turadi.

12 Faza rotorli asinxron motor aylanish tezligini boshqarish

Faza rotorli asinxron motorining xar hil rotor qarshiliklaridagi mexanik tavsiflari 9.2-rasmda keltirilgan. Unga ko‘ra yuklanish statik momenti $M_{CT} = const$ bo‘lganda rotor elektr zanjirining r'_{2I} qiymatiga mexanik tavsifning 1 nuqtasi, sirpanishning S_I qiymati va rotor aylanish tezligining $n_{(I)} = n_1(1-s)$ miqdori mos keladi. Rotor qarshiligining r'_{2II} quymatida, mos ravishda, 2 nuqta, S_{II} sirpanish va $n_{(II)}$ rotor aylanish tezligi to‘g‘ri keladi. Demak, r'_2 ning qiymatlari o‘zgarishi bilan sirpanish $s = S_I \div 0$ gacha va rotor aylanish tezligi $n = n_{(I)}$ dan $n = 0$ gacha o‘zgarar ekan.

Bu usuldan aylanish tezligi kichik $n < n_1$ birlan diapazonda foydalanish mumkin. Rotor zanjiri qo‘shimcha qarshilik oshirilgandi, shu qarshilikdagi elektr isroflar ortadi. Shu bilan birga, rotor chulg‘amida elektr isroflar sinpanishga proporsional bo‘lganligi uchun ($p_{\Sigma} = s \cdot P_{\Sigma M}$), rotor aylanish tezligining kamayishi rotor chulg‘ami elektr quvvat isroflarini oshiradi va motorning F.I.K.ni pasaytiradi. Masalan, motor validagi yuklanish momentining o‘zgarmas qiymati uchun, sirpanishning 0,02 dan 0,5gacha ortishi natijasida, aylanish tezligini boshqarib, ikki marta kamayadi, rotor zanjiridagi elektr isroflar esa motor elektromagnit quvvatining taxminan yarmisiga mos keladi. Bundan tashqari, yana rotor aylanish tezligining pasayishi bilan rotor ventilyasiyasi yomonlashib, motor qizib ketishini ko‘rish mumkin.

13-mavzu. Sinxron generatorning turlari, sinxron mashinalarning tuzilishi ishlash prinsipi.

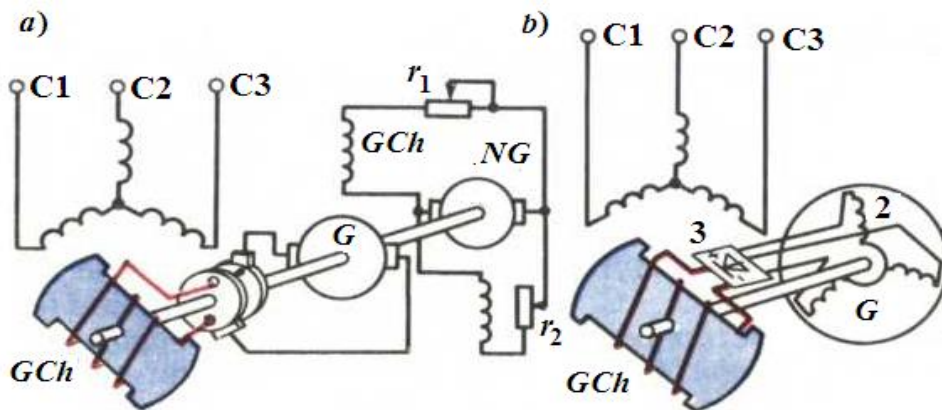
Sinxron generatorning (SG) ishlash prinsipi ko‘rilganda uning rotorida MYK manbai (induktor) joylashgan va u generatorning magnit maydonini hosil qiladi, deb aytilgan edi. Birlamchi motor (BM) yordamida generator rotor sinxron tezlik n_1 bilan aylantiriladi. Bunda rotor magnit maydoni rotor bilan birga aylantiriladi va stator chulg‘amlarini kesib o‘tib, unda EYK induktivlaydi.

Tuzilishiga ko‘ra sinxron motorlar sinxron generatorlardan sezilarli farq qilmaydi. Ularda stator chulg‘ami va rotorda qo‘zg‘atish chulg‘ami mavjud. Shuning uchun, ishlash rejimidan qat’iy nazar, xar qanday sinxron mashinasi magnit maydon qo‘zg‘atish - magnit maydon hosil qilishga ehtiyoji bor.

Sinxron mashinalarda magnit maydon qo‘zg‘atishning asosiy usuli elektromagnit qo‘zg‘otishdir. Uning mohiyati shundaki, rotor qutblarida qo‘zg‘otish chulg‘amlari joylashtiriladi. Bu chulg‘amdan o‘zgarmas tok oqib o‘tganda qo‘zg‘otish MYK hosil bo‘ladi, u o‘z navbatida mashinaning magnit tizimida magnit maydon hosil qiladi. Xozirgi kunga qadar qo‘zg‘otish chulg‘amini o‘zgarmas tok bilan ta’minlash vazifasini maxsus

mustaqil qo'zg'otish chulg'ami bo'lgan qo'zg'otkich (Q) (vozбудitel) deb nomlangan o'zgaras tok generatorlari bajarib kelgan (10.1,a-rasm). Uning mustaqil qo'zg'otish chulg'amini (QCH) esa o'zgaras tok bilan parallel qo'zg'otkichli, nimqo'zg'otkich (NQ) (podvozбудitel) deb nomlangan boshqa maxsus generator ta'minlaydi. Sinxron mashina rotori va qo'zg'otkich xamda nimqo'zg'otkichning yakorlari umumiy valda maxkamlangan va bir vaqtda aylanadi. Bunda SG qo'zg'otish chulg'amiga tok kontakt halqalar va shchetskalar orqali koladi. Qo'zg'otish tokini boshqarish uchun qo'zg'otkichning (r_1) va nimqo'zg'otkichning (r_2) qo'zg'otish chulg'amlariga ulangan boshqaruvchi reostatlar qo'llaniladi. O'rta va katta quvvatli SGlarda qo'zg'otish chulg'ami tokini boshqarish avtomatlashtirilgan. Katta quvvatli sinxron generatorlarda – turbogeneratorlarda – qo'zg'otkich o'rnida ba'zan induktor turdagi o'zgaruvchan tok generatorlari ishlatiladi. Bunday generator chiqish klemmlarida yarim o'tkazgichli to'g'rilagich o'rnatiladi. Kontaktsiz elektromagnit qo'zg'otkichli sinxron generatorlar ham ishlatilmoqda.

Bunday SGlarda rotorida kontakt halqalar bo'lmaydi. Bu holatda ham, qo'zg'otkich sifatida o'zgaruvchan tok generatori ishlatiladi (10.1,b-rasm).

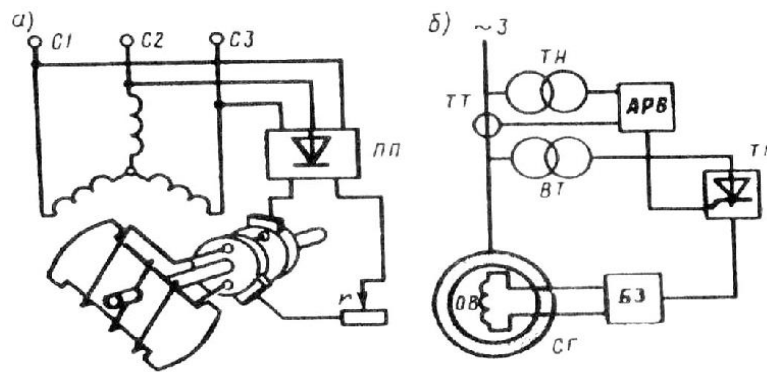


10.1-rasm. Sinxron generator elektromagnit qo'zg'otish kontaktli (a) va kontaktsiz (b) tizmlari

Uning EYK induktivlanadigan yakor 2 chulg'ami rotorda joylashgan, qo'zg'otish chulg'ami 1 esa statorda joylashgan. Natijada qo'zg'otkichning yakor chulg'ami ham, SGning qo'zg'otish chulg'ami ham aylanuvchi qismda bo'lib, ularning elektrik ulanishi bevosita – kontakt halqa va shchetskalaosiz amalga oshiriladi.

Ammo, qo'zg'otkich o'zgaruvchan tok generatori va SGning qo'zg'otish chulg'amini esa o'zgaras tok bilan ta'minlash zarur bo'lgani uchun, qo'zg'otkich yakor chulg'amining chiqish klemmlariga valga maxkamlangan yarim o'tkazgichli to'g'rilagiya 3 ulanadi va u SG qo'zg'otish chulg'ami va qo'zg'otkichning yakor chulg'ami bilan birga aylanadi. Qo'zg'otkichning 1 qo'zg'otish chulg'ami o'zgaras tok bilan ta'minlanishi nimqo'zg'otkich (NQ) – o'zgaras tok generatori yordamida amalga oshiriladi.

Sinxron mashinaning qo'zg'otish zanjirida sirpanish kontaktlarining yo'qligi uning ekspluatatsion ishonchliligini va FIKni oshiradi.



10.2-rasm. Sinxron generatorning o'z-o'zini qo'zg'otish tizimi

Sinxron generatorlarda, shu jumladan, gidrogeneratorlarda o'z-o'zini qo'zg'otish prinsipi tarqalgan (10.2,a-rasm). Unga ko'ra, qo'zg'otish tizimi uchun zarur bo'lgan o'zgaruvchan tok energiyasi SG stator chulg'amidan olinib, pasaytiruvchi transformator va yarim o'tkazgichli (YAO') to'g'rilagich (T) yordamida o'zgarmas tokka aylantiriladi. O'z-o'zini qo'zg'otish prinsipi generatorning birlamchi qo'zg'otilishi mashinadagi qoldiq magnetizmga asoslangandir.

10.2,b-rasmda to'g'rilagichli transformatori (TT) va tiristorli o'zgartkichi (TO') bo'lgan avtomatik o'z-o'zini qo'zg'otuvchi tizimli sinxron generatorning struktura sxemasi ko'rsatilgan. VT va TPlar orqali SG stator zanjiridan o'zgaruvchan tok energiyasi o'zgarmas tokka aylantirilib, SGning qo'zg'otish chulg'amiga beriladi. Tiristorli o'zgartkichni boshqarish qo'zg'otishning avtomatik rostlagichi (QAR) yordamida amalga oshiriladi. QARning kirish klemmasiga SG stator chulg'amidan kuchlanish transformatori KT va tok transformatori (TT) orqali SG kuchlanishi va yuklanish tokiga proporsional bo'lgan signallar keltiriladi. Sxema tarkibida qo'zg'otish chulg'ami va tiristorli o'zgartkich (TO') ni o'takuchlanish va tok bo'yicha o'ta yuklanishdan himoya qiluvchi himoya bloki (HB) mavjud.

Xozirgi zamon sinxron motorlarida qo'zg'otish tizimi uchun, o'zgaruvchan tok manbaiga ulangan va motorning xar qanday rejimlarida ham, shu jumladan, o'tkinchi jarayonlarda qo'zg'otish tokini avtomatik boshqaradigan tiristorli qo'zg'otish qurilmalari qo'llanilmoqdi. Qo'zg'otishning bunday usuli ishonchli va iqtisodiy samarali hisoblanadi, chunki tiristorli qo'zg'otish tizimlarida FIK o'zgarmas tok generatorga nisbatan yuqoridir.

Sanoat korxonalari tomonidan xar hil qo'zg'otish kuchlanishlari va o'zgarmas tokli 320A gacha xar hil yuklanish toklari uchun tiristorli qo'zg'otishlar ishlab chiqarilmoqda.

Xozirgi zamon sinxron motorlari seriyalarida TE8-320/48 (qo'zg'otish kuchlanishi 48V) va TE8-320/75 (qo'zg'otish kuchlanishi 48V) tiristorli qo'zg'otkichlar keng qo'llanilmoqda. Qo'zg'otish uchun sarflanadigan quvvat, aksariyat, mashina foydali quvvatining 0,2-5% gacha tashkil etadi.

Kichik quvvatli sinxron mashinalarda rotordagi magnit o'zak va qo'zg'otish chulg'ami o'rnida o'zgarmas magnit ishlatida. Bunday qo'zg'otish usuli mashina konstruksiyasini soddalashtiradi, samarali va ishonchli bo'ladi.

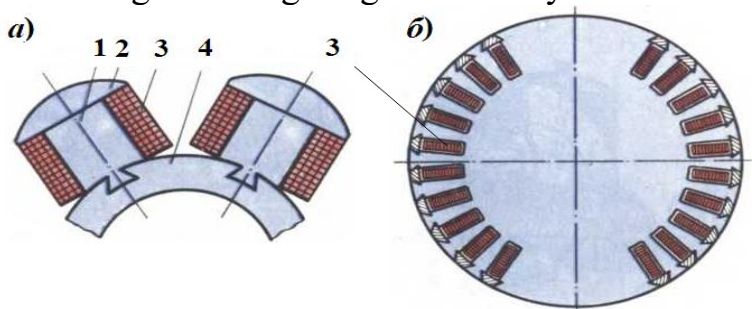
10.2. Sinxron mashinalar turlari va tuzilishi

Sinxron mashina qo'zg'olmas qism - stator va aylanuvchi qism - rotordan tarkib topgan. Sinxron mashina statori, aslida, asinxron mashina statoridan farq qilmaydi, ya'ni korpus (stanina), magnit o'zak va chulg'amdan iborat.

Mashinaning vazifasi va gabaritiga ko'ra sinxron mashina statori konstruksiyasining bajarilishi xar hil bo'lishi mumkin. Masalan, katta quvvatli, ko'p qutbli mashinalarda stator magnit o'zagining tashqi diametri 900 mm va undan katta bo'lganda, magnit o'zak plastinalarini alohida segmentlardan yasaladi va yig'ilgandan keyin magnit o'zak silindrini hosil qiladi. Tashish va montaj qilishda qulaylik bo'lishi uchun, katta gabaritli mashinalar statorining korpuslari yig'ma shaklda quriladi.

Sinxron mashinalar qutblari bir-biridan tubdan farq qiluvchi ikki xil konstruksiyali bo'ladi: ayon qutbli va noayon qutbli.

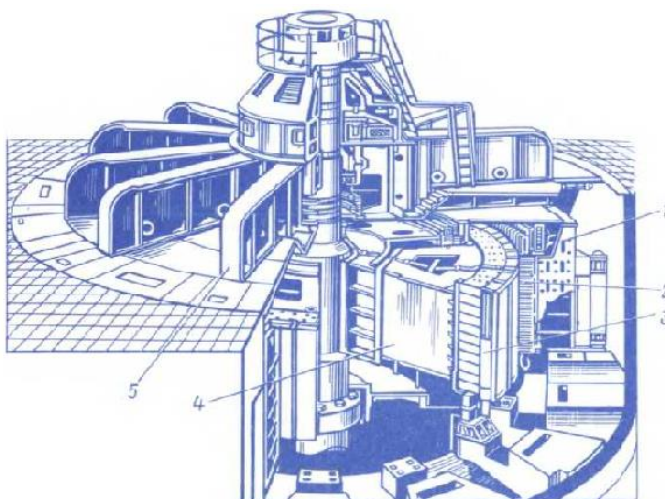
Energetik qurilmalar (elektr stansiyalar)da sinxron generatorni harakatga keltiruvchi birlamchi motorlarda asosan uch xil motorlar ishlatiladi: bug' turbinalari, gidravlik turbinalar yoki ichki yonar motorlar (dizellar). Ular xar biri generatorning yuritmasi bo'lishi bilan, generator konstruksiyasiga o'zining hal qiluvchi ta'sirini o'tkazadi. Yurituvchi motor gidravlik turbina bo'lsa, sinxron generator gidrogenerator deyiladi.



10.3-rasm. Sinxron mashina rotor tuzilishi: a) ayon qutbli rotor; b) noayon qutbli rotor

Aksariyat, gidravlik turbinalar katta bo'lmagan aylanish tezliklarida (60-500 ay/min) ishlaydilar. Shu sababli, tokning sanoat chastotasi ($f_1=50\text{Gs}$) ni hosil qilish

uchun, gidrogeneratorlarda katta qutblar soniga ega bo'lgan rotor qo'llaniladi. Gidrogenerator rotorlari ayon qutbli shaklga ega, ya'ni yaqqol qutb shaklida yasalgan bo'ladi. Bunda xar bir qutb alohida bo'linma shaklida yasilib, magnit o'zak 1, uchlik 2 (nakonechnik) va qutb g'altagidan iborat bo'ladi (10.3,a-rasm). Rotorning barcha qutblari to'g'in 4 (obod)ga maxkamlanadi; to'g'in yana mashina qutblarining magnit oqimlari tutashadigan yarmo vazifasini ham bajaradi. Gidrogeneratorlar, aksariyat, vali vertikal joylashgan holatda yasaladi (10.4-rasm).



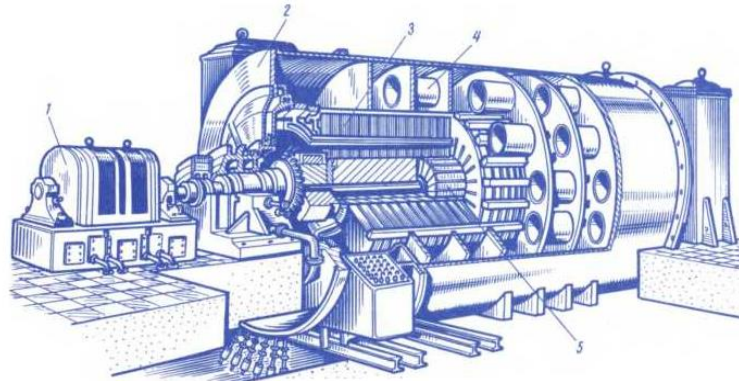
10.4-rasm.

Bug' turbinasining samarali ishlash rejimlari yuqori aylanish tezliklarida namoyon bo'ladi. Shu sababli, u harakatga keltiradigan turbogenerator deb nomlangan generator, tezyurar sinxron mashinasi hisoblanib, uning rotori yokki ikki qutbli ($n_1=3000$ ay/min), yoki to'rt qutbli ($n_1=1500$ ay/min) bajariladi.

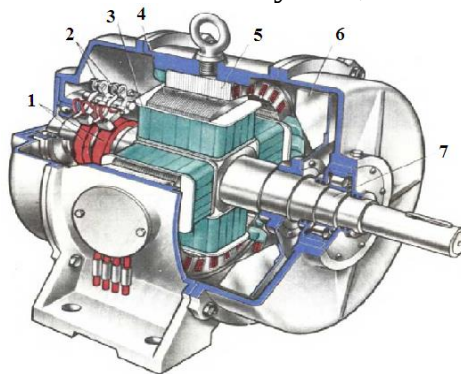
Katta aylanish tezligiga ega bo'lgan turbogeneratorning ishlash jarayonida rotorda juda katta markazdan qochmi kuch hosil bo'ladi. Shuning uchun, mexanik mustahkamlik shartlariga ko'ra turbogeneratorda noayon qutbli rotor ishlatiladi. Uning ko'rinishi uzun silindr shaklida bo'lib, frezer stanogida bo'ylama pazlar qirqiladi va ularga qo'zg'otish chulg'amlari o'rnatiladi (10.3,b-rasm).

Ayon qutbli rotorning qo'zg'otish chulg'ami rotor perimetrining 2/3 qismni (pazlar joylashgan qismi) egallaydi. Qolgan yuzaning 1/3 qismini qutblar tashkil etadi. Rotor chulg'ami tirsak qismini markazdan qosma kuch-ning buzuvchi ta'siridan himoya qilish uchun, ikki yon yuzasidan nomagnit po'lar halqalar bilan maxkamlanadi.

Tog'-kon sanoatida ishlaydigan tegirmonlar, turbokompressorlar va turbobosim xaydagichlarda SDS-19-56-40, 4000, 2500, 1250 kVt li, STD-1250, STD-3200 1250 va 3200 kVt li sinxron motorlari ham kichik aylanish tezligiga ega bo'lib, rotori ayon qutbli shaklda bo'ladi. Ammo ushbu sinxron motorlar vali gorizontal holatda joylashtirilgan.



10.5-rasm. Turbogenerator: 1- qo'zg'otkich; 2-korpus; 3-stator magnit o'zagi; 4- vodorodli sovutish sektsiyalari; 5-rotor

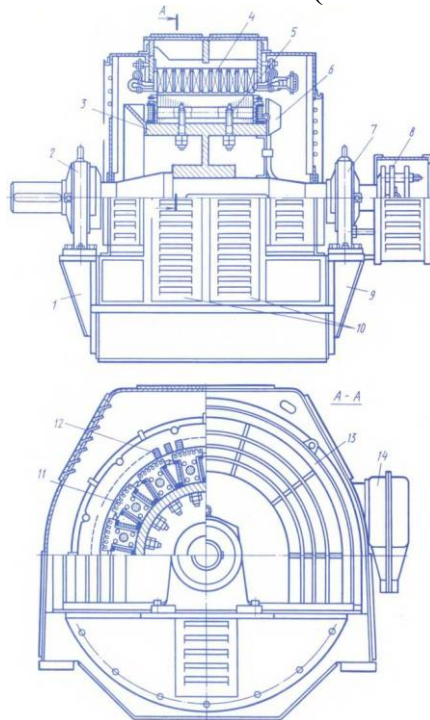


10.6-rasm. Sinxron generator (dizel-generator): 1-kontakt halqalari; 2-shyotka ushlagich; 3-rotorning qutb g'altagi; 4-qutb uchi; 5-stator magnit o'zagi; 6-ventilyator; 7-val

Dizelgeneratorlar rotorlari 600-1500 ay/min aylanish tezligiga ega bo'lib, ayon qutbli rotorlar ishlatiladi (10.6-rasm).

Tog'-kon sanoati korxonalarining sinxron mashinalari katta guruxini quvvati birnecha MWtgacha bo'lgan ventilyatorlar, tegir-monlar, nasoslar va aylanish tezligini boshqarish talab etilmaydigan boshqa sinxron motorlari tashkil etadi. Misol tariqasida,

SDN2 seriyadagi motorni ko'raylik. Bu seriyadagi motorlarni rotor aylanishi tezligi 300 dan 1000 ay/min gacha va quvvati 315 dan 4000 kVtgacha, stator chulg'ami kuchlanishi 6 yoki 10 kV, chastotasi 50 Gs bo'lgan motorlar tashkil etadi (10.7-rasm).



10.7-rasm. SDN-2 turdagi sinxron motor tuzilishi

Po'lat korpusga presslangan stator 1 magnit o'zagi, 0,5 mm qalinlikdagi elektrotexnik po'lat tutikachalardan shtamplab yig'ilgan paket-segmentlardan iborat. Motorni jadal sovitish uchun motor magnit o'zagi paketlari kengligi 10 mm bo'lgan radial ventilyasiyaon kanal bilan ajratilgan. Stator 12 chulg'ami ikki qatlamli, qisqartirilgan qadamli qilib yasalgan. Rotor qutblari magnit 11 o'zagi 3 to'g'inga 5 shpilkalar yordamida maxkamlanadi. Rotor chulg'ami qutb g'altaklaridan iborat. Qo'zg'otish chulg'amlariga o'zgarmas tok etkazuvchi kontakt halqalar 8 valning uchiga maxkamlanadi. Rotorda markazdan qochmi ventilyatorning parraklari 6 mavjud.

Ustunsimon podshipniklar 2 va 7 podshipnik qalqonlari 1 va 9 da o'rnatilgan. Motor yon tomonlarida po'lat 13 qalqon bilan berkitilgan. 10 korpusda ventilyasion darchalar mavjud bo'lib, jalyuzi bilan berkitilgan. Korpusning yon tomonida chiqish klemmalarining qutisi joylashgan. Motorning qo'zg'otkichi tiristorli o'zgartkichdan iborat bo'lib, motor ishga tushirilishi va to'xtatilishida qo'zg'otish toki avtomatik boshqariladi. Qutb uchliklarining pazlarida ishga tushirish (so'ndirish) chulg'aminging jez yoki mis o'tkazgichli 6 sterjenlar joylashgan. Sterjenlarning ikki uchlarida qisqa tutashtiruvchi 7 segmentlar ulangan.

Qutb uchlarining tashqi silindrik yuzasi va stator magnit o'zagining ichki silindrik yuzasi orasida ishchi havo δ oralig'i mavjud. Qutb o'qiga mos kelgan bu oraliq δ ning qiymati minimal, qutb uchliklarining chekkasida $\delta_{\max}$. Qutb uchligining bunday shakl tuzilishi havo oralig'ida magnit induksiyasining sinusoidal taqsimlanishini ta'minlash uchun qabul qilingan.

10.3. Yirik sinxron mashinalarni sovutish

Yirik sinxron mashinalarni sovutish uchun berk konturli sovutish tizimlari qo'llaniladi. Bunda sovutivchi gaz sifatida vodorod qo'llaniladi. Vodorodning o'ziga xos xususiyatlari vodorodli sovutish tizimiga bir qator afzalliklar beradi:

1. Texnik vodorod havodan o'n martadan ko'proq engil bo'lganligi sababli, ventilyasiyaga sarflanadigan quvvat isrofi kamayadi va, demak, mashinaning f.i.k. ortadi. Masalan, quvvati 150 MWt bo'lgan turbogenerator havo bilan sovutilganda, ventilyasiyaga sarflanuvchi quvvat isrofi 1000 kVt ni tashkil etadi. Shunday quvvatli turbogeneratorni vodorodli sovutishda qavvat isroflari 140 kVt gacha pasayadi, ya'ni ventilyasiya isrofi etti marta kamaydi.

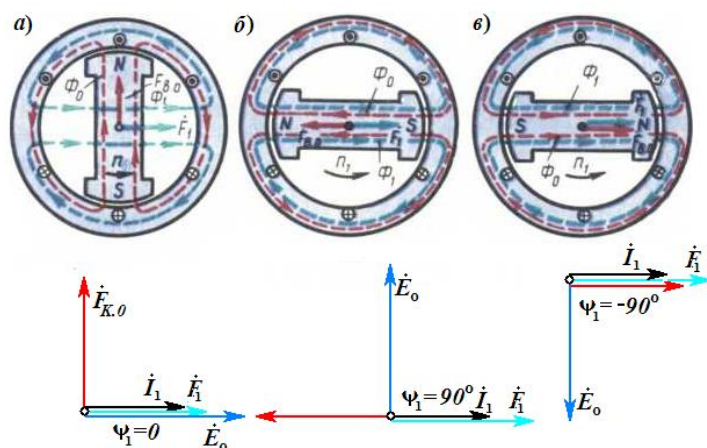
2. Vodorodning issiqlik o'tkazuvchanligi havonikiga nisbatan 6-7 marta katta bo'lgani sababli vodorod mashinani jadallik bilan sovutadi. Demak, berilgan gabarit qiymatlarda vodorod sovutishli mashinani yaratib, havo bilan sovutishga nisbatan mashina nominal quvvatini 20-25% ga oshirishimiz mumkin.

14-mavzu. Yakor reaksiyasi. Ayon va noayon qutbli sinxron generatorning tenglamalari va vektor diagrammalari.

Stator chulg'amlariga yuklanish ulangan sinxron generatorning ish jarayonida qo'zg'otish chulg'ami hosil qilgan qo'zg'otish MYK F_{v0} [(11.1)ga qarang] va stator (yakor) chulg'ami MYK F_1 (11.6) birgalikda ta'sir etadi, bunda yakor MYK qo'zg'otish MYKga ta'sir etib, uni susaytiradi, yoki kuchaytiradi, yoki uning shaklini o'zgartiradi. Yakor MYKning qo'zg'otish MYKga ta'siri yakor reaksiyasi deyiladi. Yakor reaksiyasi sinxron mashinaning ishchi xususiyatlariga ta'sir etadi, chunki magnit maydonning o'zgarishi stator chulg'amida induktivlangan EYK o'zgarishiga va, demak, EYK bilan bog'liq bo'lgan bir qator qiymatlarning o'zgarishiga olib keladi. Yakor reaksiyasining sinxron mashina ishlashiga ta'siri yuklanishning qiymati va xarakteriga bog'liq.

Sinxron generatorlar, aksariyat, aralash yuklanish bilan ishlaydi (aktiv-induktiv yoki aktiv-sig'im). Ammo, yakor reaksiyasining sinxron mashina ishiga ta'sirini aniqlashdan avval, yuklanishning aktiv, induktiv va sig'im tashkil etuvchilarining har biri alohida sinxron generatorga ta'sirini o'rganish maqsadga muvofiq. Buning uchun MYK vektorlar diagrammasidan foydalanamiz. Ushbu diagrammalarni qurishda e'tiborda saqlash kerakki, qo'zg'otish magnit oqimi stator chulg'amida EYK induktivlaydi, uning vektori shu magnit oqim (va, demak, MYK) vektoridan 90° ga kechikadi. Stator chulg'amidagi I_1 tok vektori esa, E_0 vektoriga nisbatan yuklanish xarakteriga bog'liq ravishda joylashadi.

Aktiv yuklanish ($\psi=0$). 11.5,a-rasmda ikki qutbli generatorning stator va rotorlari ko'rsatilgan. Stator faza chulg'aminin bir qismi ko'rsatilgan. Rotor ayon qutbli bo'lib, soat miliga teskari yo'nalishda aylanadi. Vaqtning ko'rilayotgan onida rotor vertikal holatda bo'lib, faza chulg'ami EYKning maksimumiga mos keladi. Aktiv xarakterdagi yuklanishda tok vektorining yo'nalishi EYK vektori yo'nalishiga mos bo'lganligi uchun, rotorning ko'rsatilgan holati ham tokning maksimumiga mos keladi.



11.5-rasm. Sinxron generatorning aktiv (a), reaktiv (b) va sig‘im (d) xarakterdagi yuklanishda yakor reaksiyasi

Qo‘zhotish (rotor) magnit induksiyasi liniyalari va stator chulg‘ami magnit maydoni induksiyasi liniyalarini chizgandan so‘ng ko‘ramizki, stator MYK qo‘zg‘otish MYKga perpendikulyar yo‘nalgan ekan.

Ushbu xulosa, mazkur rejim uchun qurilgan vektor diagrammasida ham o‘z tasdiqini topadi. Diagrammani qurish tartibi quyidagicha: generator rotorining fazoda joylanishiga qarab, qo‘zg‘otish MYK $F_{K.0}$ $\dot{E}_0$ vektorini quramiz; shu vektorga 90° burchak ostida kechikish yo‘nalishida, stator chulg‘amida qo‘zg‘otish magnit maydoni induktivlagan $\dot{E}_0$ EYK vektorini quramiz; stator chulg‘amiga toza aktiv xarakterdagi yuklanish ulanganda, undagi tok $\dot{I}_1$ EYK $\dot{E}_0$ yo‘nalishi bilan mos bo‘ladi, shu sababli, ushbu tok hosil qilayotgan $\dot{F}_{K.0}$ MYK vektori fazoda 90° ga siljigan bo‘ladi.

Yakor MYKning qo‘zg‘otish MYKga ta‘siridan natijaviy magnit maydon shakl buzilishiga olib keladi: mashinaning magnit maydoni qutb uchligining bir chekkasi ostida kuchayadi, boshqa chekkasi ostida susayadi (11.6-rasm). Magnit zanjir to‘yinmagan bo‘lsa, asosiy manit maydonning shakl buzilishi uning qiymatini o‘zgartirmaydi. Magnit tizim to‘yinishi natijasida esa, natijaviy magnit maydon biroz susayadi. Chunki yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta‘siri qutb uchligining chekkasini va uning ostidagi statorning tish zonasini oson magnitsizlaydi; qutb ikkichi uchligi va uning ostidagi statorning tish zonasini magnitlash magnit to‘yinish bilan cheklanadi. Shu sababli, mashinaning natijadaviy magnit maydoni susayadi, ya‘ni magnit tizim birmuncha magnitsizlanadi. Bu hodisa mashina EYK $\dot{E}_1$ ning kamayishiga olib keladi.

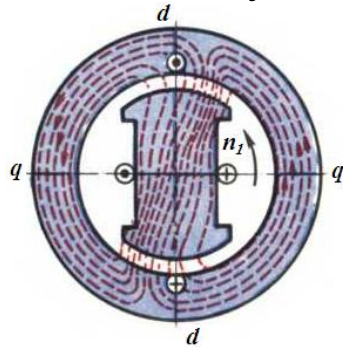
Induktiv yuklama. Sof induktiv yuklanish ($\psi = 90^\circ$) bo‘lganda generator toki fazasi bo‘yicha EYKdan 90° burchakka kechikadi. Shu sababli, tok maksimal qiymatiga faqat EYK maksimal qiymatiga erishgan holatga nisbatan rotor 90° burchakka oldinga burilganda erishadi (11.5,b-rasm). Bunda yakor MYK rotor qutbining o‘qi bo‘ylab, qo‘zg‘otish MYK ga qrama-qarshi ta‘sir etadi. Bunga biz yana vektor diagramma qurib iqrar bo‘lamiz.

Stator MYKnig bunday ta‘siri mashinaning magnit maydonini kuchsizlantiradi. Demak, sinxron generatorda sof induktiv yuklanish bo‘lganda, yakor reaksiyasi bo‘ylama-magnitsizlovchi ta‘sir etar ekan.

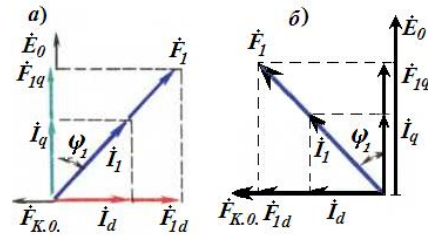
Aktiv yuklanishdagi yakor reaksiyasiga nisbatan, ko‘rilayotgan holatda magnit maydon shakli buzilmaydi.

Sig‘imli yuklanish ($\psi=-90^\circ$). Sig‘im yuklanishda stator toki $\dot{I}_1$ fazasi bo‘yicha EYK $\dot{E}_0$ dan 90° ildamlab ketishi sababli, o‘zining maksimal qiymatiga EYKdan avval erishadi,

ya'ni rotor 11.5, v-rasmda keltirilgan holatga kelganda erishadi. Stator MYK, ilgari holatga o'xshash qutb o'qi bo'ylab yo'naltirilgan bo'lib, biroq endi qo'zg'otish MYK bilan mos yo'nalgan. Bunda qo'zg'otish MYKning kuchayishini ko'ramiz. Shunday qilib, sof sig'im yuklanishda sinxron generator yakor reaksiyasi bo'ylama-magnitlovchi bo'ladi. Bunda magnit maydon shakli buzilmaydi.



11.6-rasm. Aktiv yuklamali sinxron generatorning magnit maydoni



11.7-rasm. Aralash yuklanishdagi yakor reaksiyasi

Aralash yuklanish. Sinxron generator aralash yuklanganda stator toki $\dot{I}_1$ EYK $\dot{E}_0$ ga nisbatan fazasi bo'yicha ψ_1 burchakka siljigan bo'ladi. Siljish burchagi ψ_1 $0 < \psi_1 < 90^\circ$ yoki $-90^\circ < \psi_1 < 0$ bo'lishi mumkin. aralash yuklanishda yakor reaksiyasining ta'sirini aniqlash uchun 11.7-rasmda keltirilgan diagrammadan foydalanamiz.

Aktiv-induktiv yuklanishda (11.7,a-rasm) MYK $\dot{F}_1$ vektori $\dot{E}_0$ vektoridan ψ_1 $0 < \psi_1 < 90^\circ$ orqada qoladi. Vektor $\dot{F}_1$ ni ikki tashkil etuvchiga ajratamiz: MYKning bo'ylama tashkil etuvchisi, $F_{1d} = F_1 \sin \psi_1$ va MYKning ko'ndalang tashkil etuvchisi, $F_{1q} = F_1 \cos \psi_1$. Shunga o'xshash MYKlarni aktiv-sig'im bo'lganda ham tashkil etuvchilarga ajratish mumkin (11.7,b-rasm). Stator MYKning ko'ndalang tashkil etuvchisi F_{1q} , ko'ndalang o'q bo'ylab yo'nalgan yakor reaksiyasi MYK, yuklanish tokining aktiv tashkil etuvchisiga proporsional $I_q = I_1 \cos \psi$, ya'ni

$$F_{1q} = F_1 \cos \psi_1, \quad (11.13)$$

stator MYKning bo'ylama tashkil etuvchisi F_{1d} esa bo'ylama o'q yakor reaksiyasini tasvirlaydi, uning miqdori yuklanish tokining reaktiv tashkil etuvchisiga proporsionaldir $I_d = I_1 \sin \psi_1$, ya'ni

$$F_{1d} = F_1 \sin \psi_1 \quad (11.14)$$

Bunda, agar yuklanish tokining reaktiv tashkil etuvchisi fazasi bo'yicha EYKdan orqada qolsa (yuklanish aktiv-induktiv), u holda MYK F_{1d} yakor reaksiyasi generatorni magnitsizlaydi, agar reaktiv tashkil etuvchi EYKdan ildamlab ketsa (aktiv-sig'im yuklanish), u holda MYK F_{1d} generatorni magnitlaydi.

MYK $\dot{F}_{1d}$ vektorining yo'nalishi MYK $\dot{F}_{K.0}$ vektori yo'nalishiga nisbatan yakor reaksiyasi xarakteri bilan aniqlanadi. Bunda yakor reaksiyasi xarakteri esa yuklanish toki $\dot{I}_1$ EYK $\dot{E}_0$ dan fazasi bo'yicha orqada qoluvchi bo'lsa, magnitsizlovchi bo'ladi; $\dot{I}_1$ EYK $\dot{E}_0$ dan ilgari ketuvchi bo'lma, yakor reaksiyasi magnitlovchi bo'ladi.

Misol 11.1. Nominal quvvati 150 kVt, kuchlanishi 6,3 kV bo'lgan uch fazali sinxron generatorda statorning to'rt qutbli chulg'am koefitsienti $k_{ob1}=0,92$, har bir fazada $w_1 = 312$ ketma-ket ulangan o'ramlari bo'lganda, stator MYKning bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilarini aniqlang. Generator yuklanishi $\cos \psi_1 = 0,8$ bo'lganda nominaldir.

Echish. YUklanishning nominal toki (11.6)dan

$$I_{1\text{NOM}} = S_{\text{nom}} / (U_{1\text{nom}}) = 150 / 6,3 = 13,76 \text{ A.}$$

Stator uch fazali chulg'ami MYKning maksimal qiymati (11.6)

$$F_1 = 1,35 I_1 w_1 k_{o61} / p = 1,35 \cdot 13,76 \cdot 312 \cdot 0,92 / 2 = 2666 \text{ A.}$$

Stator MYK ko'ndalang tashkil etuvchisi (11.13) dan

$$F_{1q} = F_1 \cos \psi_1 = 2666 \cdot 0,8 = 2133 \text{ A.}$$

Stator MYKning bo'ylama tashkil etuvchisi (11.14) dan

$$F_{1d} = F_1 \sin \psi_1 = 2666 \cdot 0,6 = 1600 \text{ A.}$$

Yakor reaksiyasi MYKning bo'ylama F_{1d} va ko'ndalang F_{1d} o'qlar bo'yicha tashkil etuvchilari sinxron mashina magnit o'zagida yakor reaksiyasi magnit oqimlarini hosil qiladi. Bu magnit oqimlar asosiy garmonikalari: bo'ylama o'qda

$$F_{1d} = F_{1d} / R_{md} = F_1 \sin \psi_1 / R_{md}; \quad (11.15)$$

ko'ndalang o'qda

$$F_{1q} = F_{1q} / R_{mq} = F_1 \cos \psi_1 / R_{mq}, \quad (11.16)$$

bunda R_{md} va R_{mq} – bo'ylama va ko'ndalang o'qlardagi asosiy garmonika magnit oqimlariga magnit qarshiliklar.

Noayon qutbli mashina stator magnit o'zagining ichki silindrik yuzasi uzunligida havo oralig'i ravon va o'zgarmas, shu sababli bo'ylama va ko'ndalang o'qlardagi magnit qarshiliklar teng ($R_{md} = R_{mq} = R_m$).

Yakor reaksiyasi magnit oqimlari stator chulg'amlarini kesib o'tib, shu chulg'amda yakor reaksiyasi EYKni induktivlaydi

$$\text{bo'ylama o'qda} \quad \dot{E}_{1d} = -j\dot{I}_d x_a = -j\dot{I}_1 x_a \cdot \sin \psi_1; \quad (11.17)$$

$$\text{ko'ndalang o'qda} \quad \dot{E}_{1q} = -j\dot{I}_q x_a = -j\dot{I}_1 x_a \cdot \cos \psi_1, \quad (11.18)$$

bunda x_a – yakor reaksiyasi induktivlik qarshiligi. U stator chulg'aming bosh induktiv qarshiligini aniqlaydi va Om bilan o'lchanadi

$$x_a = 2,5 \cdot 10^{-6} m_1 f_1 \frac{D_1 l_1}{\delta \cdot k_\delta \cdot k_\mu} \cdot \left(\frac{w_1 \cdot k_{o61}}{p} \right)^2. \quad (11.19)$$

bunda D_1 - stator magnit o'zagining ichki diametri, m; l_1 - stator magnit o'zagining hisobiy uzunligi, m; δ - havo oralig'i, m.

Ayon qutbli sinxron mashinalarda bo'ylama va ko'ndalang o'qlardagi yakor reaksiyasi magnit maydonlarining asosiy garmonikalariga bo'lgan magnit qarshiligi bir xil bo'lmaydi ($R_{mq} > R_{md}$)

$$R_{md} = R_m / k_d, \quad (11.20)$$

$$R_{mq} = R_m / k_q, \quad (11.21)$$

bunda R_m – stator magnit o'zagi perimetri bo'ylab havo oralig'i o'zgarmas bo'lgandagi mashinaning magnit qarshiligi.

Ushbu vaziyat yakor reaksiyasi magnit oqimlari qiymatlariga ta'sir etadi, demak, yakor reaksiyasi EYKga ham ta'sir etadi. Bunday ta'sir miqdori shakl koeffitsientlari orqali ifodalanadi

$$\dot{E}_{1d} = -j\dot{I}_d \cdot x_a \cdot k_d = -j\dot{I}_1 \cdot x_{ad} \cdot \sin \psi_1; \quad (11.22)$$

$$\dot{E}_{1q} = -j\dot{I}_q \cdot x_a \cdot k_q = -j\dot{I}_1 x_{aq} \cdot \cos \psi_1. \quad (11.23)$$

Bunda x_{ad} va x_{aq} - ayon qutbli mashinaning yakor reaksiyasi induktiv qarshiligi:

$$\text{bo'ylama o'qda} \quad x_{ad} = x_a k_d \quad (11-24)$$

$$\text{ko'ndalang o'qda} \quad x_{aq} = x_a k_q. \quad (11.25)$$

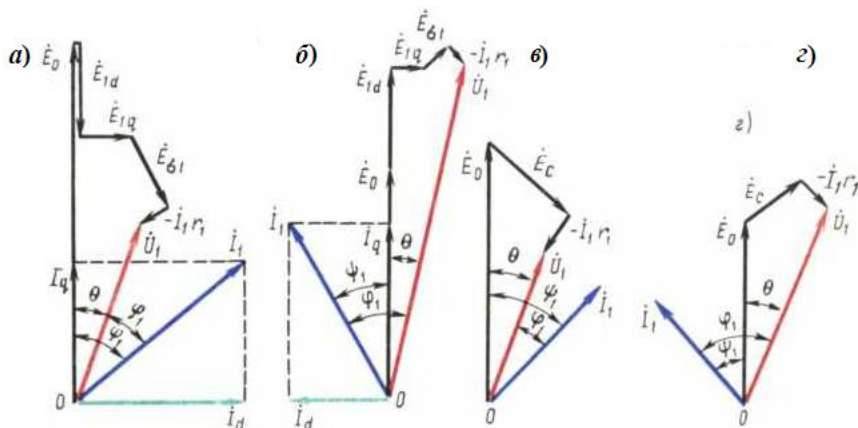
Yuqorida keltirib chiqarilgan tenglama (11.28)dan foydalanib, aktiv-induktiv yuklanishga ishlayotgan ayon qutbli sinxron generatorning vektor diagrammasini quramiz (stator toki EYK $\dot{E}_0$ dan kechikayapti). Vektor diagrammani quyida berilgan qiymatlar asosida quramiz: generator yu.i. rejimidagi EYK $\dot{E}_0$; yuklanish toki $\dot{I}_1$ va uning EYK $\dot{E}_0$ ga nisbatan faza siljishi burchagi ψ_1 ; yakor reaksiyasi bo'ylama x_{ad} va ko'ndalang x_{aq} induk-tivlik qarshiliklari; stator chulg'ami fazasining aktiv qarshiligi r_1 .

Generator simmetrik yuklanishli bo'lganda diagrammani faqat bir faza uchun quriladi.

Vektor diagrammani qurish tartibini ko'raylik (11.8,a-rasm). Ixtiyoriy yo'nalishda EYK $\dot{E}_0$ vektorini quramiz va unga ψ_1 burchak ostida tok vektori $\dot{I}_1$ ni quramiz. Tok $\dot{I}_1$ ni tashkil etuvchilarga ajratamiz: reaktiv $\dot{I}_d = \dot{I}_1 \sin \psi_1$ va aktiv $\dot{I}_q = \dot{I}_1 \cos \psi_1$. EYK $\dot{E}_0$ vektorining uchidan quyidagi EYK vektorlarini chizamiz $\dot{E}_{1d} = -j\dot{I}_d x_{ad}$, $\dot{E}_{1q} = -j\dot{I}_q x_{aq}$, $\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_1$, $\dot{U}_{a1} = -\dot{I}_1 r_1$.

Vektor $\dot{U}_{a1}$ ning uchini koordinata boshi O nuqtasi bilan birlashtirib, stator kuchlanishi $\dot{U}_1$ vektorini hosil qilamiz. Uning qiymati EYKlar vektorlarining geometrik yig'indisiga teng (11.28).

Aktiv-sig'im yuklanish (stator chulg'ami toki $\dot{I}_1$ EYK $\dot{E}_0$ vektoridan ilgarilab ketadi) bilan ishlayotgan generatorning diagrammasini chizishda $\dot{I}_1$ vektorni $\dot{E}_0$ vektorining chap tomoniga ψ_1 burchak ostida quriladi (11.8,b-rasm), $\dot{E}_{1d}$ vektorning yo'nalishi esa $\dot{E}_0$ vektori yo'nalishi bo'ylab quriladi, chunki sig'im xarakterli yuklama bo'lganda yakor reaksiyasi magnitlovchi bo'ladi. Vektor diagramma qurishdagi qolgan barcha tartib ilgarigidek qoladi.



11.8-rasm. Ayon (a,b) va noayon (d,e) qutbli sinxron generatorlar vektor diagrammalari: (a,b) - aktiv-induktiv yuklama; (b,g) aktiv-sig'im

Noayon qutbli sinxron generator vektor diagrammasini qurishda (11.32) tenglamadan foydalanamiz, bunda $\dot{E}_0$ vektorini tok vektori $\dot{I}_1$ ga nisbatan ψ_1 burchak ostida chiziladi (11.8,d-rasm).

Shuni ta'kidlash zarurki, qurilgan vektor diagrammalar magnit zanjir to'yinganligini inobatga olmaydi, shu sababli hodisalarning sifat jihatlari aks ettiriladi. Biroq, bu diagrammalar quyidagi xulosalar qilish imkonini beradi: yuklangan generator kuchlanishining o'zgarishiga ta'sir etuvchi asosiy omil, EYK $\dot{E}_{ad}$ ni induktivlovchi yakor magnit oqimining bo'ylama tashkil etuvchisidir; generator aktiv-induktiv yuklash bilan ishlaganda, ya'ni EYK $\dot{E}_0$ dan kechikuvchi $\dot{I}_1$ tok bilan ishlaganda, stator chulg'ami klemmalaridagi kuchlanish $\dot{U}_1$, yuklanish ortishi bilan kamayadi, bu yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri bilan tushuntiriladi.

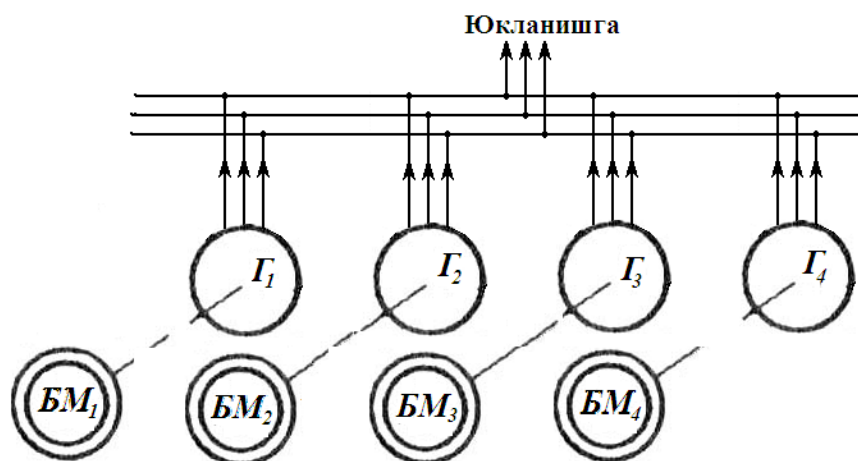
Generator aktiv-sig'im yuklanish bilan ishlaganda (stator toki $\dot{I}_1$ EDS $\dot{E}_0$ dan fazasi bilan oldinda) yuklanish ortishi bilan yakor reaksiyasining magnitlovchi xususiyati sababli, kuchlanish $\dot{U}_1$ ortadi (11.8, g-rasm).

15-mavzu. Sinxron mashinani elektr tarmog'iga parallel ulash. Sinxronlash usullari.

12.1 Generatorlarni parallel ishga tushirish

Elektr stansiyalarda, aksariyat, birnecha sinxron generatorlar o'rnatilib, birgalikda ishlashi uchun parallel ulanadi (12.1-rasm). Shu bilan birga, barcha yirik elektr stansiyalar 110, 220 va 500 MV li elektr uzatish liniyalariga transformatorlar orqali ulanib, yagona elektro-energetik tizimni hosil qiladilar.

Sinxron generatorlarni tarmoq bilan parallel ishlash uchun ulashda quyidagi shartlarni bajarish zarur: generatorning EYK $\dot{E}_r$ ning amplitudasi tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_T$ ning amplitudasiga teng $E_r = U_T$ **va albatta ularning fazalari mos bo'lishi shart**; generator EYKning chastota f_r si tarmoq kuchlanishi chastotasi f_T ga teng ($f_r = f_T$); generator stator chulg'ami klemmalaridagi fazalar ketma-ketligi ulanayotgan tarmoq fazalari ketma-ketligi bilan bir xil bo'lish. Bundan tashqari, generatorni tarmoqqa ulayotgan uch fazali ulagichning xar bir faza gubkalari orasidagi potentsiallar farqi ulanayotgan onda minimal bo'lishi shart.



12.1-rasm. Sinxron generatorning parallel ishlashga ulash

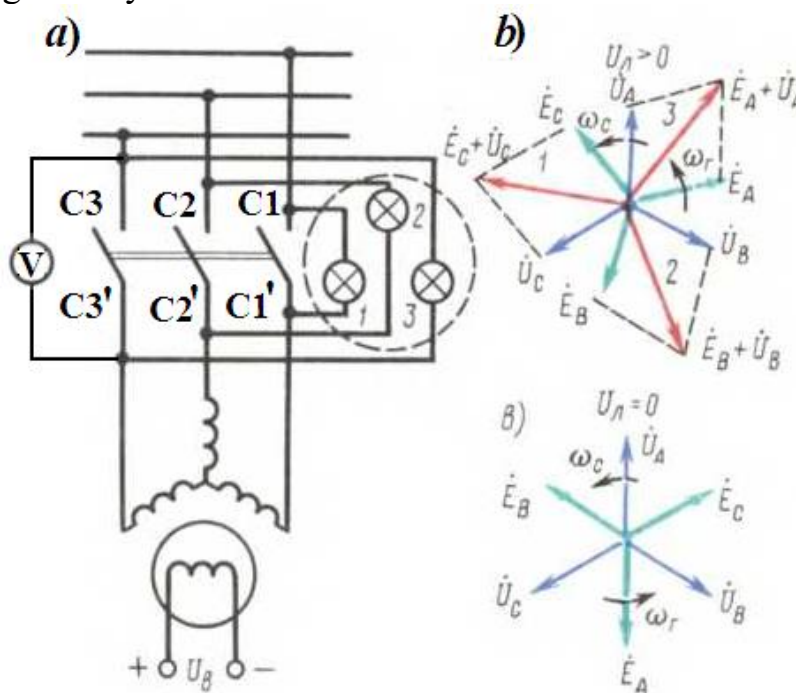
Generatorni ushbu talablar qondirilish holatiga olib kelish sinxronizatsiyalash deyiladi. Ushbu shartlardan birortasini bajarmaslik, stator chulg'amida katta

muvozanatlovchi tok hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Bu toklarning xaddan ziyod katta qiymatlari avariya holatiga olib kelishi mumkin.

Sinxron generatorni parallel ishlash uchun tarmoqqa ulash yoki aniq sinxronizatsiyalash yoki o'z-o'zini sinxronizatsiyalash usullari bilan bajarilishi mumkin.

Aniq sinxronizatsiyalash usuli. Bu usulning mohiyati shundaki, generatorni tarmoqqa ulashdan avval, uni yuqorida keltirilgan barcha talablarga mutloq javob beradigan holatga olib kelinadi. Ushbu talablar bajarilgan onni, ya'ni sinxronizatsiyalash onini sinxronoskop, deb nomlangan asbob yordamida aniqlanadi. Tuzilishiga ko'ra, sinxronoskoplar strelkali (milli) va lampalilarga bo'linadi. Teng tomonli uchburchak uchlariga joylashtirilgan, uch lampadan 1, 2, 3 (12.2-rasm) iborat bo'lgan lampali sinxronoskop yordamida sinxron generatorni sinxronizatsiyalash jarayonini ko'raylik.

Lampalarni 12.2,a-rasmda keltirilgan sxema bo'yicha ulasak, sinxronizatsiyalash barcha shartlari uchchala lampalarning bir onda o'chgan holatiga mos keladi. Bu onda ulanishi mo'ljallanayotgan $C1$ va $C1'$, $C2$ va $C2'$ hamda $C3$ va $C3'$ juft klemmlar orasidagi potentsiallar farqi juda kichik bo'ladi. Aynan shu onda generatorni tarmoqqa ulash mumkin. Biroq, lampalarning o'chganligi juft klemmlar orasida potentsiallar farqi nolga teng, degani emas. Cho'g'lanuvchi lampalar kuchlanishi nominal qiymatining 30% gacha bo'lganda, lampa cho'g'lanmaydi.



12.2-rasm. Lampali sinxronoskop

Shu onda, ya'ni shu kuchlanishlar farqida juft klemmlar ulansa, nisbatan katta muvozanatlovchi tok hosil bo'ladi. buning oldini olish uchun, juft klemmalardan biriga voltmetr ulanadi. Sinxronizatsiyalash barcha shartlari bajarilib, voltmetr nolga yaqinlashganda, juft klemmlar ulanishi mumkin.

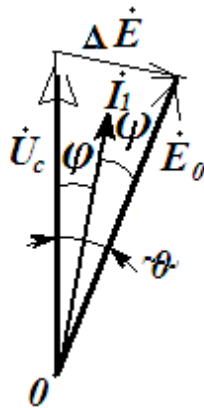
O'z-o'zini sinxronizatsiyalash. Qo'zg'otish chulg'ami qo'zg'otkichga ulanmagan (qo'zg'otish toki $I_K = 0$) generatorning rotorini yordamchi motordan foydalanib sinxron tezlikka yaqin ($95-98\%$) p_1 tezlikkacha aylantiriladi. So'ngra generatorning stator chulg'ami tarmoqqa ulanadi. Rotor (qo'zg'otish) chulg'amida o'ta kuchlanishning oldini olish uchun, uni biror aktiv qarshilikka tutashtiriladi. Generator tarmoqqa ulanish onida uning EYK nolga teng bo'lgani uchun (generator qo'zg'otishsiz), tarmoq kuchlanishi ta'sirida stator

Sinxronizatsiyalash jarayonida generatorda murakkab elektromexanik o'tkinchi jarayonlar sodir bo'ladi. Ular natijalida chulg'amlar, podshipniklar va generatorni turbina bilan bog'lovchi muftalarga katta mexanik ta'sirlar sodir etiladi. Bu tug'yonlarning generator ishonchliligiga ta'siri masalalari sinxron generatorni loyihalash ishlari bajarilishida e'tiborga olinadi. O'z-o'zini sinxronizatsiyalash usuli tez-tez ulanadigan generatorlarda qo'llaniladi. Ushbu usul oddiy va uni avtomatlashtirish oson.

16-mavzu. Sinxron generator reaktiv quvvatining burchak tavsifi. U-simon tavsiflari.

Aksariyat, bir tarmoqqa parallel ishlash uchun birnecha sinxron generatorlari ulanadi va ular xar birining quvvati barcha parallel ulangan generatorlar quvvatlari yig'indisidan anchagina kichik bo'ladi. Parallel ulangan generatorlar yuklanish jarayonini ko'rish uchun quyidagi farazni qabul qilamiz. Sinxron generator parallel ulanayotgan tarmoqdagi boshqa generatorlar umumiy quvvati ulanayotgan generator quvvatidan shunchalar kattaki, generator parametrlarining ixtiyoriy o'zgarishida, tarmoq kuchlanishi U_C va uning chastotasi f_C o'zgarmay qoladi.

Sinxronizatsiyalashning barcha shartlari bajarib generator tarmoqqa ulanganidan so'ng, uning EYK E_0 tarmoq kuchlanishiga teng bo'ladi, shu sababli generator stator chulqamidagi tok nolga teng, generator yuklanishsiz ishlaydi. Bunda, turbinadan generator valiga kelayotgan mexanik quvvat R_1 to'laligicha generator yu.i. isrofini qoplash uchun sarflanadi $P_0 = P_{\text{mex}} + P_{\text{m1}} + P_K + P_{\text{II}}$.



12.3-rasm. Parallel ulangan generator vektor diagrammasi

Stator chulg'amida tokning nolga $I_1=0$ tengligi shunga olib keladiki, stator chulg'ami aylantiruvchi magnit maydon hosil qilmaydi va generatorida faqat qo'zg'otish toki hosil qilgan va rotor bilan birga ω_1 tezlikda aylanayotgan asosiy magnit maydon mavjud bo'ladi. Bunda elektromagnit moment ham bo'lmaydi.

Agar turbinaning aylantiruvchi momenti M_1 ortsa, generator rotorini biroz tezlanish olib, o'zining birlamchi holatiga nisbatan aylanish yo'nali-shiga mos θ burchakka buriladi. Generator EYK ham o'zining yu.i. rejimdagi EYK $\dot{E}_0$ ga nisbatan shunday burchakka θ ga buriladi (12.3,b-rasm). Natija-da stator zanjirida EYKlar farqi $\Delta \dot{E} = \dot{E}_0 - \dot{U}_C$ hosil bo'ladi

va stator toki I_1 ni hosil qiladi. Tok I_1 rotor bilan sinxror tezlikda aylanuvchi magnit maydoni hosil qiladi va rotorning qo'zg'otish oqimi bilan birga sinxron mashinaning natijaviy magnit maydonini hosil qiladi. Bu natijaviy maydonning o'qi $d-d'$ rotor bo'ylama o'qi $d'-d'$ bilan mos bo'lmaydi: *sinxron generatorda rotor qutbi o'qlari $d-d'$ natijaviy magnit maydon o'qi $d'-d'$ dan θ burchakka oldinda bo'ladi* (12.4, a-rasm).

Ma'lumki, teskari nomlangan magnit qutblar o'z-aro tortilishadi, shu sababli, magnitlangan rotor qutblari va statorning aylanuvchi magnit maydonlari orasida magnit tortilish kuchlari F_M hosil bo'ladi (12.4.b-rasm). Bu kuch vektori har bir rotor qutbda shu qutb o'qiga θ burchakda joylashgan va ikki tashkil etuvchilariga ega: qutb o'qlari bo'ylab yo'nalgan normal tashkil etuvchi $F_n = F_M \cos\theta$ va rotor qutblari o'qiga perpendikulyar yo'nalgan - tangensial tashkil etuvchi $F_t = F_M \sin\theta$.

Barcha rotordagi qutblar tangensial tashkil etuvchilarining yig'indisi F_1 sinxron generator rotorida, aylantiruvchi momentga teskari yo'nalgan elektromagnit momentini hosil qiladi:

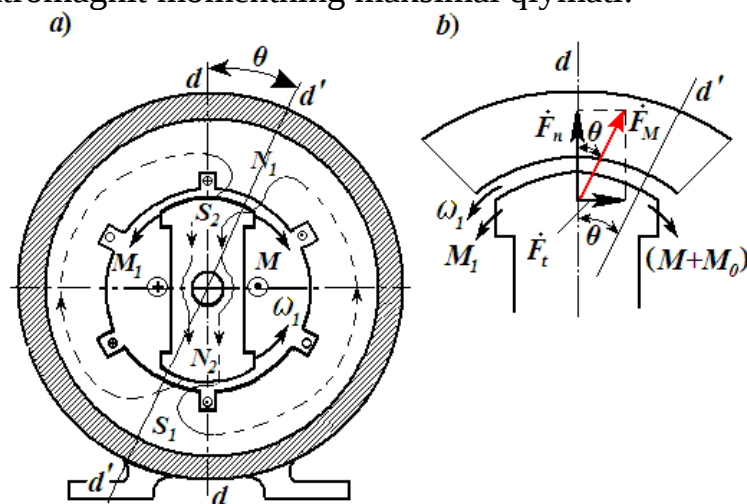
$$M = F_t 2p(D_2 / 2) = F_M D_2 p \sin\theta, \quad (12.1)$$

bunda D_2 - rotor diametri.

Hosil qilingan ifoda shuni anglatadiki, sinxron mashina elektromagnit momenti burchak θ ning sinusoidal funksiyasi ekan va quyidagicha ifodalanishi mumkin

$$M = M_{\max} \sin\theta, \quad (12.2)$$

bunda $M_{\max}$ - elektromagnit momentning maksimal qiymati.



12.4-rasm. Sinxron generator elektromagnit momenti haqida tushuncha

Generator rotorida hosil bo'luvchi elektromagnit moment M birlamchi motor aylantiruvchi momentiga qarama-qarshi yo'nalga, ya'ni u tormozlovchi momentdir. Bu qarshilik momentini engish uchun birlamchi motor quvvatining bir qismi sarf bo'ladi, bu quvvat elektromagnit quvvati deyiladi

$$P_{\text{OM}} = M\omega_1, \quad (21.3)$$

bunda ω_1 - rotorning burchak aylanish tezligi.

Shunday qilib, tarmoq bilan parallel ishlayotgan sinxron generator stator chulg'amida tok I_1 paydo bo'lishi bilan generatorga elektr yuklanish ulanadi, birlamchi motor (turbina, dizel motori va h.k.) qo'shimcha mexanik yuklanish oladi. Bunda birlamchi motor mexanik

quvvati P_1 , na faqat yu.i. rejimi quvvat isroflariga sarflanadi, Pri etom mexanicheskaya moynost privodnogo dvigatelya rasxoduetsya ne tolko na pokrytie poter x. x. generatora P_0 , qisman generatorning elektromagnit quvvati R_{em} ni hosil qilish uchun ham sarf bo'lar ekan

$$P_1 = P_0 + P_{\text{ЭМ}}. \quad (12.4)$$

Demak, sinxron generatorining elektromagnit quvvati, bu birlamchi motor mexanik quvvatining bir qismidan o'zgartirib olingan elektr aktiv quvvat ekan:

$$P_{\text{ЭМ}} = P_1 - P_0$$

Sinxron generator chiqish qismidan tarmoqqa uzatiladigan P_2 aktiv quvvatga kelsak, ya'ni

$$P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \cdot 10^{-3},$$

elektromagnit quvvat R_{em} dan stator chulg'amidagi elektr quvvat isroflari $P_{\text{Э1}} = m_1 I_1^2 r_1$ va yuklanishdagi qo'shimcha isrof $P_{\text{доо}}$ yig'indilariga kichik, ya'ni

$$P_2 = P_{\text{ЭМ}} - (P_{\text{Э1}} + P_{\text{доо}}). \quad (12.5)$$

Demak, tarmoq bilan parallel ishlovchi sinxron generatorning statoridan tarmoqqa uzatilayotgan P_2 aktiv quvvat birlamchi motor (turbina) aylantiruvchi momenti M_1 ni o'zgartirib boshqarilar ekan:

$$P_2 = P_1 - \sum P = M_1 \omega_1 - \sum P,$$

bunda $\omega_1 = 2\pi f_1 / p = \text{const}$ - sinxron mashina rotorining sinxron aylanish burchak tezligi, rad/s.

Agar (12.4) tenglamaning barcha qo'shiluvchilarini burchak tezligiga bo'lsak $P_1 / \omega_1 = P_0 / \omega_1 + P_{\text{ЭМ}} / \omega_1$, momentlar tenglamasini hosil qilamiz

$$M_1 = M_0 + M. \quad (12.6)$$

Bu tenglamadan shu ma'lum bo'ladiki, birlamchi motor (turbina) generator valida hosil qilgan aylantiruvchi moment M_1 aks ta'sir etuvchi momentlar: yu.i. quvvat isroflari P_0 dan hosil bo'lgan yu.i. momenti M_0 va generator yuklanishi hosil qilgan elektromagnit momentlari yig'indisiga teng ekan.

Ushbu generator uchun yu.i. momenti M_0 o'zgarmas ($M_0 = \text{sonst}$), shuning uchun sinxron generatori yuklanishi $M_1 > M_0$ sharti bilan, faqat birlamchi motorning aylantiruvchi momenti hisobiga o'zgarishi mumkin.

12.3. Sinxron generator burchak tavsiflari

Noayon qutbli sinxron generator tarmoq bilan parallel ishlaganda elektromagnit quvvat quyidagiga teng bo'ladi

$$P_{\text{ЭМ.Н}} = \frac{m_1 U_1 E_0}{X_C} \sin \theta, \quad (12.7)$$

bunda θ - rotor bo'ylama o'qi natijaviy magnit oqim bo'ylama o'qiga nisbatan siljigan burchagi (12.4).

Ayon qutbli sinxron generator elektromagnit quvvat

$$P_{\text{ЭМ.Н}} = \frac{m_1 U_1 E_0}{X_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta, \quad (12.8)$$

bunda $x_d = x_{ad} + x_1$ va $x_q = x_{ad} + x_1$ - ayon qutbli sinxron mashina, mos ravishda, bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'ylab sinxron induktiv qarshiliklar, Om.

Ifodalar (12.7) va (12.8) ni sinxron aylanish tezligi ω_1 ga bo'lib, elektromagnit moment ifodasini aniqlaymiz:

noayon qutbli sinxron mashina uchun

$$M_n = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_c} \sin \theta; \quad (12.9)$$

Ayon qutbli sinxron mashina

$$M_{\text{я}} = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin \theta + \frac{m_1 U_1^2}{2 \omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (12.10)$$

bunda M - elektromagnit moment, Nm.

Ifoda (12.10) ning tahlili shuni ko'rsatadiki, ayon qutbli sinxron mashina elektromagnit momenti ikki tashkil etuvchidan iborat: ulardan biri elektromagnit momentning asosiy tashkil etuvchisini ifodalaydi

$$M_{\text{асосий}} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin \theta. \quad (12.11)$$

ikkinchisi - momentning reaktiv tashkil etuvchisi

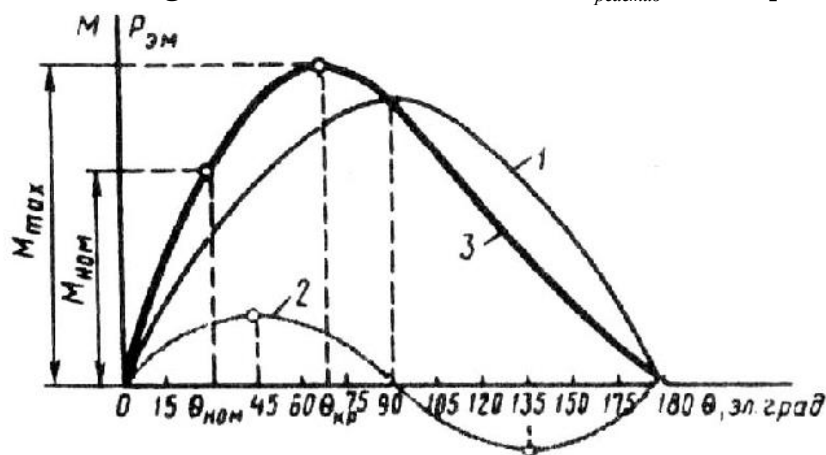
$$M_{\text{реактив}} = \frac{m_1 U_1^2}{2 \omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta. \quad (12.12)$$

Ayon qutbli sinxron mashinasi elektromagnit momentning asosiy tashkil etuvchisi $M_{\text{асосий}}$ na faqat kuchlanishga ($M_{\text{асосий}} \equiv U_1$), balki aylanuvchi rotorning magnit maydoni Φ stator chulg'amida induktivlagan EYK E_0 ga ham bog'liq:

$$E_0 = 4,44 f_1 \Phi w_1 k_{o61}. \quad (12.13)$$

Ifodalar (12.11) va (12.13) dan shunday xulosa chiqarish mumkinki, elektromagnit momentning asosiy tashkil etuvchisi $M_{\text{асосий}}$ rotor magnit oqimiga bog'liq ekan: $M_{\text{асосий}} \equiv \Phi$. demak, qo'zg'otish chulg'ami toki (magnit maydoni) bo'lmagan mashinada ($\Phi=0$) elektromagnit momentning asosiy tashkil etuvchisi $M_{\text{асосий}} = 0$.

Elektromagnit momentning reaktiv tashkil etuvchisi $M_{\text{реактив}}$ rotor qutblari



12.5-rasm. Sinxron generatoring burchak tavsifi

magnit maydoniga bog‘liq emas. Bu tashkil etuvchining paydo bo‘lishi uchun ikki shartning bajarilishi kifoya: birinchidan, mashina rotori ayon qutbli bo‘lishi zarur ($x_q \neq x_d$) va, ikkinchi, stator chulg‘amiga tarmoq kuchlanishi ulangan bo‘lishi zarur ($M_p \equiv U_1^2$).

Sinxron generator yuklanishi ortganda, ya’ni tok I_1 otrishi bilan burchak θ ortadi, bu mashinaning elektromagnit quvvati va elektromagnit momenti ortishiga olib keladi. Mashinaning elektromagnit quvvati va elektromagnit momenti θ ga bog‘liqligi $P_{\Sigma M} = f(\theta)$ va $M = f(\theta)$ sinxron mashina burchak tavsifi deb ataladi.

Ayon qutbli sinxron generatorining burchak tavsiflari —elektromagnit quvvati $P_{\Sigma M, \gamma} = f(\theta)$ va elektromagnit momenti $M = f(\theta)$ tahlil qilaylik (12.5-rasm). Bu tavsiflar tarmoq kuchlanishi ($U_C = \text{const}$) va magnit maydoni, ya’ni $E_0 = \text{const}$) o‘zgarmas, deyilgan faraz bilan qurilgan. Ifodalar (12.8) va (12.11) dan ko‘ramizki, elektromagnit momentning asosiy tashkil etuvchisi M_{acocui} va unga mos keluvchi elektromagnit quvvat burchak θ ning sinusiga proporsional (12.5-rasmda 1-egri chiziq), momentning reaktiv tashkil etuvchisi esa (12.12) va unga mos kelgan elektromagnit quvvat burchak 2θ sinusiga proporsional ekan (2-egri chiziq). Natijaviy momentning $M_{\gamma} = M_{och} + M_p$ va elektromagnit quvvatning $P_{\Sigma M}$ burchak θ ga bog‘liqligi tashkil etuvchilarning algebraik yig‘indisi grafigi (3-egri chiziq) bilan aniqlanadi.

Elektromagnit momentning maksimal qiymati $M_{\max}$ burchak kritik θ_{kp} qiymatiga mos keladi.

Natijaviy burchak tavsifidan (3) ko‘rinadiki, sinxron mashina yuklanishi burchakning $\theta \leq \theta_{kp}$ qiymatigacha ortsa, sinxron mashina turg‘un rejimda ishlaydi. Bu shunday tushuntiriladiki, generatorda burchak $\theta \leq \theta_{kp}$ bo‘lganda yuklanish ortganda (θ ortishida) elektromagnit momentning ortishini ko‘rish mumkin. Bunday vaziyatda ixtiyoriy barqaror yuklanishga birlamchi motor aylantiruvchi momenti M_1 va aks ta’sir etuvchi momentlar yig‘indisi mos keladi, ya’ni $M_1 = M_{\gamma} + M_0$. Natijada rotor aylanish tezligi o‘zgarmas va sinxron tezlikka teng bo‘ladi.

Yuklanish ortishi bilan kritik burchakdan o‘tilsa ($\theta > \theta_{kp}$), elektromanit moment M_{ya} kamayadi. Bu esa aylantiruvchi va aks ta’sir etuvchi momentlar tengligining buzilishiga olib keladi. Birlamchi motor aylantiruvchi momentining ortiqcha (muvozanatlanmagan) qismi $\Delta M = M_1 - (M_{\gamma} + M_0)$ rotor aylanish tezligini oshirishga qaratilgan bo‘ladi, bu esa sinxronizatsiyalash shartini buzadi (mashina sinxronizmdan chiqadi).

Kritik burchak (θ_{kp})ga mos bo‘lgan elektromagnit moment, maksimal moment bo‘ladi $M_{\max}$.

Ayon qutbli sinxron mashina uchun $\theta_{kp} = 60 \div 80$ el. grad. Burchak θ_{kp} qiymatini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin

$$\cos \theta_{kp} = \sqrt{\beta^2 + 0,5 - \beta} \quad (12.14)$$

$$\text{bunda,} \quad \beta = E_0 / [4U_1(x_d / x_q - 1)]. \quad (12.15)$$

Noayon qutbli sinxron mashinalar uchun $M_{kp} = 0$, shu sababli burchak tavsifi sinusoida shaklida bo‘ladi va kritik burchak $\theta_{kp} = 90^\circ$.

Maksimal elektromagnit momentning M_{max} nominal momentga M_{nom} nisbati o'ta yuklanuvchanlik xususiyati yoki statik o'ta yuklanish koeffitsienti deyiladi:

$$\lambda = M_{max} / M_{nom} = 1,4 \div 3. \quad (12.16)$$

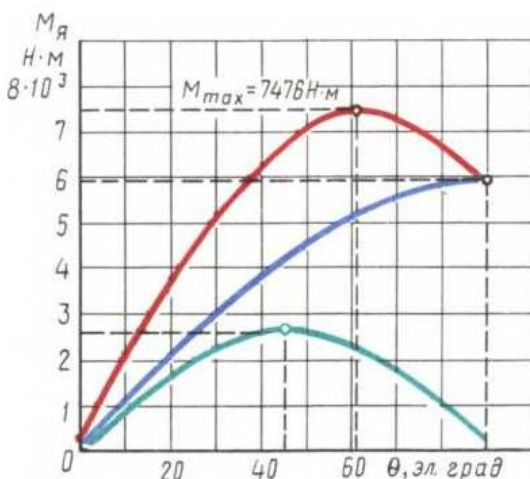
Momentning reaktiv tashkil etuvchisini e'tiborga olmasak, quyidagilarni yozish mumkin

$$\lambda \approx 1 / \sin \theta_{nom}, \quad (12.17)$$

ya'ni, sinxron mashinaning nominal yuklanishiga mos bo'lgan burchak θ_{nom} qanchalar kichik bo'lsa, uning o'ta yuklanuvchanlik xususiyati shunchalar katta bo'ladi. Masalan, turbogeneratorda $\theta_{nom} = 25 \div 30^\circ$, bunga o'ta yuklanganlik $\lambda = 2,35 \div 2,0$ mos keladi.

Sinxron generatorning V-simon tavsiflari

Yuqorida qo'zg'otish chulg'amidagi toki o'zgarmas bo'lgan sinxron generatorning tarmoq bilan parallel ishlashini ko'rgan edik. Agar sinxron generator tarmoqqa parallel ulangandan so'ng uning birlamchi mexanik momentni o'zg'armas g'olatda qoldirib, qo'zg'otish tokini o'zgartirsak nima bo'ladi? Faraz qilaylik, generator tarmoqqa parallel ulangandan so'ng yuklanishsiz ishlayotgan bo'lsin va uning EYK $\dot{E}_0$ tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_0$ ga teng bo'lsin. Shundan so'ng qo'zg'otish tokini oshirsak, ya'ni mashinani o'ta qo'zg'atsak, unda EYK $\dot{E}_0$ ortadi va generator zanjirida ortiqcha EYK $\Delta \dot{E}$ hosil bo'lib, reaktiv quvvat va bo'ylama reaktiv tok $\dot{I}_d$ hosil bo'ladi, uning yo'nalishi EDS $\Delta \dot{E}$ dan fazasi bo'yicha 90° ga kechikadi ($r_1 \approx 0$ deb faraz qilganmiz). O'ta qo'zg'otish ortishi bilan reaktiv (induktiv) tokning qiymati ham ortadi.



12.6-rasm. Momentlar burchak tavsifi

Agar generator tarmoqqa parallel ulangandan so'ng qo'zg'otish tokini kamaytirsak, ya'ni mashina chala qo'zg'otilga, u holda EYK $\dot{E}_0$ kamayadi, generator zanjirida yana ortiqcha EYK va bo'ylama o'q reaktiv toki $\dot{I}_d$ hosil bo'ladi. Bu gal $\dot{I}_d$ toki EYKga nisbatan 90° ga ilgarilovchi (ya'ni sig'im xarakterida) bo'ladi.

Bu shunday tushuntiriladi. Generator o'ta qo'zg'otilganda qo'zg'otish MYK $F_0 = I_K w_K$ ortadi. Bunda stator chulg'amida EYKga nisbatan kechikuvchi reaktiv (induktiv) tok hosil bo'ladi. Bu tok hosil qilgan bo'ylama-magnitsizlovchi yakor reaksiyasi ortiqcha

Agar qo'zg'otish tokining barcha o'zgarishlarida birlamchi motorning momenti o'zgarmay qolsa, u holda generatorning tarmoqqa ulatayotgan aktiv quvvati g'am o'zgarishsiz qoladi

Bu ifodadan kelib chiqadiki, $U_C = const$ bo'lganda tokning aktiv tashkil etuvchisi ham $I_q = I_1 \cos \varphi_1 = const$ o'zg'armas bo'ladi.

Generatorning o'zgarmas aktiv yuklanish quvvatida stator toki I_1 ning qo'zg'otish toki I_K ga bog'liqligi sinxron generatorning V-simon tavsifi deyiladi. Tavsifning ushbu nomlanishi uning tashqi ko'rinish shakliga ko'ra qabul qilingan. 12.7-rasmda sinxron generatorning V-simon tavsiflari $P_2 = \text{const}$ yuklanishning birnecha qiymatlari $P_2 = 0$; $P_2 = 0,5 P_{\text{HOM}}$ va $P_2 = P_{\text{HOM}}$ uchun qurilgan. Sinxron generatorning V-simon tavsiflari shuni ko'rsatadiki, generatorning ixtiyoriy yuklanishlari uchun qo'zg'otish toki I_K ning shunday qiymatlari mos keladiki, unda stator toki I_1 minimal qiymatiga erishib, o'zining aktiv tashkil etuvchisiga teng bo'ladi $I_{1\min} = I_1 \cos \varphi_1 = I_q$. Bunday holatda generator quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_1 = 1$ bo'ladi. Qo'zg'otish tokining generator xar hil yuklanishlariga mos bo'lgan $\cos \varphi_1 = 1$ dagi tavsifi 12.7-rasmda punktir chiziq bilan ko'rsatilgan.

112

Shuni e'tiborga olish zaruki, qo'zg'otish tokini asta kamaytirish natijasida, uning shunday minimal qiymatiga erishiladiki, qo'zg'otish toki hosil qilgan asosiy magnit oqim shunchalar susayadiki, sinxron generator sinxronizmdan chiqib ketadi - rotor qo'zg'otgan magnit qutblari bilan stator aylanuvchi magnit maydoni orasidagi magnit bog'lanish buziladi.

Generator isroflarini kamaytirish maqsadida, qo'zg'otish chulg'aming toki shunday qiymatga rostlanishi maqsadga muvofiqki, unda statorning tokini minimal, ya'ni $\cos\varphi_1=1$ bo'lsin. Ammo, ko'pgina hollarda generator yuklanishi induktiv xarakterga ega bo'lib, ularni kompensatsiyalash maqsadida generatorni biroz o'taqo'zg'otish rejimida ushlash zarur bo'ladi. Bunda stator toki I_1 tarmoq kuchlanishidan fazasi bo'yicha biroz ilgari ketishiga imkon yaratiladi.

17-mavzu. Sinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi.

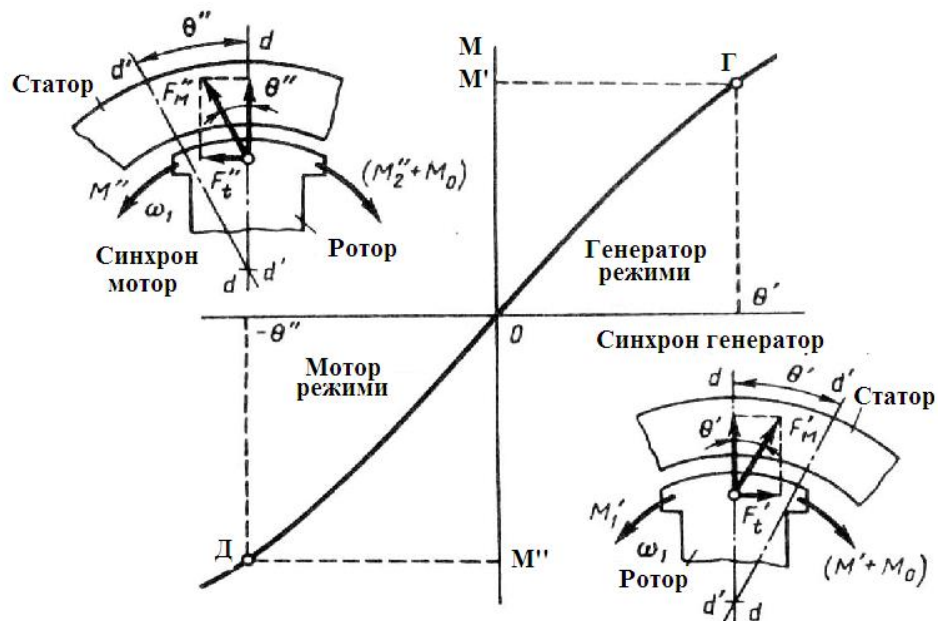
Elektr mashinalarning qaytuvchanlik prinsipi asosida sinxron mashina, na faqat generator rejimida, balki motor rejimida ham ishlashi mumkin, ya'ni tarmoqdan elektr energiya istemol qilib, uni mexanik energiyaga aylantiradi.

Sinxron motor ishlash prinsipini tushuntirish uchun, katta quvvatli tarmoq bilan parallel ishlash uchun ulangan sinxron generatorni tasavvur etaylik. Faraz qilayli, birlamchi motor generator rotorini soat miliga teskari yo'nalishda ω_1 burchak tezligida aylantirsin. Bunda generator yuklanishi shunday bo'lsinki, rotor qutblari bo'ylama o'qlari $d-d$ aylanuvchi magnit maydon o'qlari $d'-d'$ dan rotor aylanish yo'nalishi bo'ylab θ' burchakka siljisin (13.1-rasmda 1-kvadrant yoki o'ng tomon).

Birlamchi motorning aylantiruvchi momenti M'_1 generatorning elektromagnit momenti M' va yuksiz ishlash momenti M_0 bilan ($M'_1 = M' + M_0$) muvozanatlanadi. Burchak tavsifida (13.1-rasm) ushbu rejimga G nuqtasi mos keladi.

Agar aylantiruvchi moment M'_1 ni kamaytirsak, generator yuklanish ham kamayadi, bunda burchak θ' ham kamayadi, natijada stator toki I_1 kamayadi.

Natijada elektromagnit moment M' qiymati kamayadi va aylantiruvchi moment $M'_1 = M_0$ bo'lganda burchak $\theta = 0$, ya'ni generator yu.i. rejimida ishlaydi ($I_1 = 0$). Bu rejimga burchak tavsifida koordinata boshi mos keladi (13.1-rasmda O nuqtasi). Agar sinxron mashina valini birlamchi motor validan uzib qo'yilsa va valda tormozlovchi moment hosil qilinsa, ya'ni rotor aylanish yo'nalishiga qarama-qarshi yuklanish momenti M_2 hosil qilinsa, u holda EYK $\vec{E}_0$ vektori yu.i. rejimi holatiga nisbatan θ burchakka orqada qolish yo'nalishida siljiydi (13.1-rasm, 3-kvadranti). Bunda stator chulg'ami zanjirida natijaviy EYK hosil bo'ladi va u stator chulg'amida I_1 tokni hosil qiladi.



13.1-rasm. Sinxron mashinaning generator rejimidan motor rejimiga o'tishi

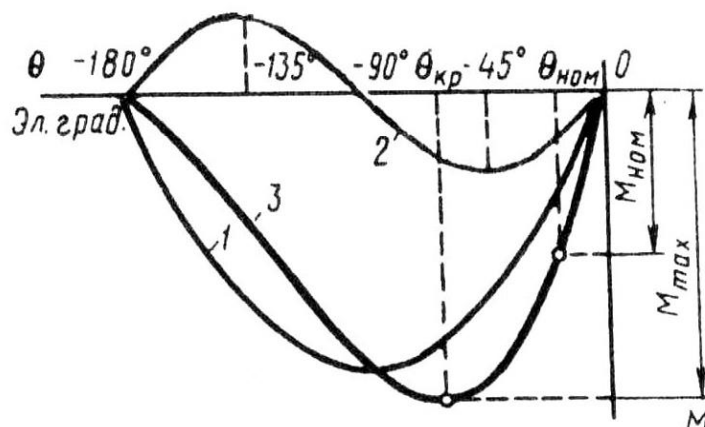
Stator toki I_1 rotor bilan sinxron aylanuvchi, $d'-d'$ qutblari rotor qutblari $d-d$ ga nisbatan θ burchakka siljigan magnit maydon hosil qiladi. Faraz qilaylik, motor burchak tavsifning D nuqtasida ishlasin (13.1-rasm, 3-kvadranti). Unga θ'' burchagi mos keladi.

Bunda magnit qutblari ta'siri natijasida hosil bo'lgan tangensial tashkil etuvchilar $F_t'' = F_M'' \sin \theta''$ motor rotorida aylanuvchi magnit maydon yo'nalishi bo'yicha elektromagnit moment hosil qiladi va rotorni ω_1 burchak tezligi bilan aylantiradi. Bunda sinxron mashina tarmoqdan elektr energiyani istemol qiladi va uni mexanik energiyaga aylantiradi. Aylantiruvchi elektromagnit moment M'' valda yu.i. momenti M_0 bilan foydali moment M_2'' ni hosil qiladi va ijrochi mexanizm yoki motorning yuklanishi aylantiriladi

$$M'' = M_0 + M_2''.$$

Sinxron motorning barcha qiymatlari burchak tavsifida koordinata o'qlarining manfiy yo'nalishlarida belgilanadi, chunki generator rejimidan motor rejimiga o'tishda elektromagnit moment o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Sinxron generatorning tarmoqqa uzatayotgan musbat ishorali quvvati o'rnida sinxron motorning tarmoqdan olayotgan manfiy ishorali quvvati qo'yiladi. Motor rejimida manfiy ishoralalar bilan belgilash qulaysizliklari o'rniga, sinxron motorlarni tahlil qilganimizda shartli ravishda barcha qiymatlarni musbat ishora bilan belgilashni qabul qilamiz.

Sinxron motorning elektromagnit quvvati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi (12.7) va (12.8), elektromagnit moment esa - (12.9) va (12.10).



13.2-rasm. Sinxron motorning burchak tavsifi

Elektromagnit momentning burchak tavsiflari $M = f(\theta)$ va uning tashkil etuvchilari $M_{och} = f(\theta)$ va $M_p = f(\theta)$ 13.2-rasmda keltirilgan. Bu tavsiflar generator burchak tavsifidan (12.5-rasmga qarang) faqat shu bilan farq qiladilarki, ular koordinata o'qlarining uchinchi kvadrantida joylashgan, ya'ni burchak θ va momentlar M va M_{och} ning manfiy ishoralari bilan ifodalangan $\theta = 0 \div (-90^\circ)$.

Shunday qilib, sinxron mashinaning burchak tavsifi natijaviy momentning ikki yarim to'liqini sifatida namoyon bo'ladi: musbat, generator rejimiga mos keluvchi (12.5-rasm), va manfiy, motor rejimiga mos keluvchi (13.2-rasm). Mashinaning bir rejimdan ikkinchi rejimiga o'tishi burchak $\theta = 0$ orqali o'tishi bilan amalga oshiriladi.

Sinxron motor turg'un ishlashi burchak tavsifining $\theta = 0 \div \theta_{kp}$ qismiga mos keladi (13.2-rasm).

Maksimal elektromagnit momentning M_{max} nominal moment M_{nom} ga nisbati [(12.16) ga qarang] sinxron motorning o'ta yuklanganlik qobiliyati deyiladi

$$\lambda = M_{max} / M_{nom}.$$

Aksariyat, sinxron motorning o'ta yuklanganlik qobiliyati $\lambda = 2 \div 3$, bu motorning nominal yuklanishida $\theta_{nom} = 30 \div 20$ el. grad.ga mos keladi.

Sinxron motorning rotorini faqat sinxron tezlikda $n_1 = f_1 60 / p$ aylanishi mumkin. Bunga ishonch hosil qilish uchun quyidagini ko'rib chiqish etarlidir: faraz qilaylik, motor rotorini $n_2 < n_1$ tezlik bilan aylanayapti, deb. Biror vaqt o'tgandan so'ng magnitlangan rotor qutblari statorning aylanayotgan magnit maydoni bir xil qutblari ro'parasida bo'ladi. Shunda stator va rotor magnit qutblari orasidagi magnit bog'lanish buziladi, chunki ularning bir xil nomlangan qutblari o'zaro itariladi va rotor, aylantiruvchi elektromagnit momentning turg'un ta'siridan maxrum bo'ladi va rotor to'xtaydi.

Sinxron motor rotorining faqat sinxron tezlik bilan aylanishi - bu motorlarning xarakterli xususiyatini tashkil etadi va, aksariyat, motorlarning tatbiq etish doirasini aniqlab beradi (masalan, stabil aylanish tezligi bo'lishini talab etuvchi yuritmalar).

Sinxron motor valida yuklanish o'zgarganda burchak θ o'zgaradi. Bunda, agregatning aylanuvchi massalari inersiyasi ta'sirida, rotor bir onda yangi yuklanishga mos bo'lgan holatga o'tolmaydi, balki, biror muddat tebranma harakatda bo'ladi.

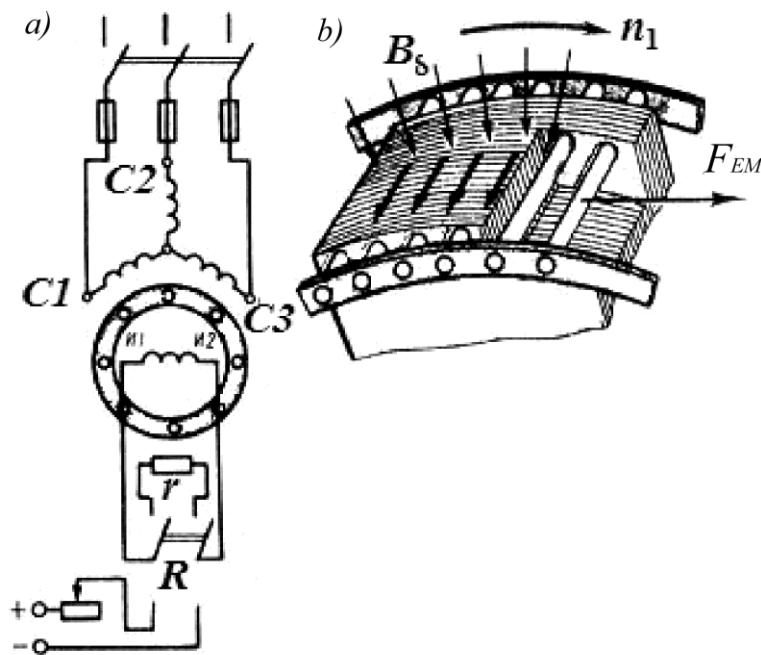
Tuzilishi bo'yicha sinxron motorlar, sinxron generatorlardan prinsipial farq qilmaydilar, ammo alohida xususiyatlari mavjud. Ular, aksariyat, ayon qutbli $2p = 6 \div 24$ tarzda quriladi; havo orligi bir xil quvvatli motorlarda generatorlardagiga nisbatan kichik, bu bir qator parametrlarning yaxshilanishiga olib keladi (masalan, ishga tushirish toki kamayishi). Dempfer (so'ndiruvchi) chulg'amni katta kesim yuzasiga ega bo'lgan sterjenlardan bajariladi, chunki ishga tushirish rejimida u ishga tushirish chulg'ami xizmatini bajaradi; qutb uchligining kengligi generatorlardagi $0,7\tau$ o'rniga motorlarda $0,9\tau$ qabul qilinadi. shu sababli, sinxron mashinalar qaytuvchanlik xususiyatiga ega bo'lsalar ham, sanoat korxonalarida ishlab chiqarilayotgan sinxron mashinalar, 1yoki motor sifatida, yoki generator sifatida maqsadli qo'llaniladi.

18-mavzu. Sinxron motorning ish tavsiflari.

Sinxron motor, asinxron motordagidek, stator chulg‘amini bevosita tarmoqqa ulab ishga tushirib bo‘lmaydi. Chunki, stator chulg‘amining aylanuvchi magnit maydoni sinxron aylanish tezligiga bir onda erishsa, rotor o‘zining inersiyali ekanligi bilan bir onda sinxron aylanish tezligiga tortila olmaydi. Natijada, stator va rotor orasida turg‘un magnit bog‘lanish sodir bo‘lmaydi. Sinxron motorni ishga tushirishda maxsus usullar qo‘llaga to‘g‘ri keladi. Bu usullarning mohiyati shundaki, rotorni avvaldan sinxron yoki sinxronga yaqin tezlikda aylantirilib, stator va rotor orasida magnit bog‘lanishni hosil qilinadi.

Xozirgi kunda “asinxron ishga tushirish” deb nomlangan usul ko‘proq qo‘llanmoqda. Bu ishga tushirish usuli rotorning uchligida joylashgan ishga tushirish chulg‘ami mavjud bo‘lganda qo‘llanilishi mumkin. Bunday usulni qo‘llash motorni ishga tushirilish sxemasi 13.3,a-rasmda keltirilgan. Qo‘zg‘otish toki nolga teng bo‘lgan sinxron motori stator chulg‘ami tarmoqqa ulanadi. Magnit o‘zakdagi aylanuvchi magnit maydoni ishga tushirish chulg‘amaning sterjenlarida EYK induktivlaydi va I_2 tok hosil qiladi. Bu toklarning stator magnit maydoni bilan o‘zaro ta’siri ishga tushirish chulg‘ami sterjenlarida elektromagnit kuch F_{EM} hosil qiladi. bu kuchlar ta’sirida rotor aylana boshlaydi (13.3,b-rasm). Rotor sinxron aylanish tezligi ($n_2 \approx 0,95n_1$) ga yaqin tezlikda aylanaboshlashi bilan qo‘zg‘otish chulg‘ami o‘zg‘armas tok manbaiga ulanadi. Bunda hosil bo‘lgan sinxron moment (12.10) motor rotorini sinxronizmga tortadi.

Motor validagi yuklanish qancha kichik bo‘lsa, shunchalar u sinxronizmga engil tortiladi. Ayon qutbli kichik quvvatli sinxron motorlar, yuklanishsiz ishga tushirilganda, ba’zan faqat reaktiv moment hisobiga, ya’ni qo‘zg‘otish chulg‘amini ulamasdan sinxronizmga tortiladi.



13.3-rasm. Sinxron motorni asinxron ishga tushirish: a-ishga tushirish sxemasi; b-qutbdagi ishga tushirish chulg‘ami

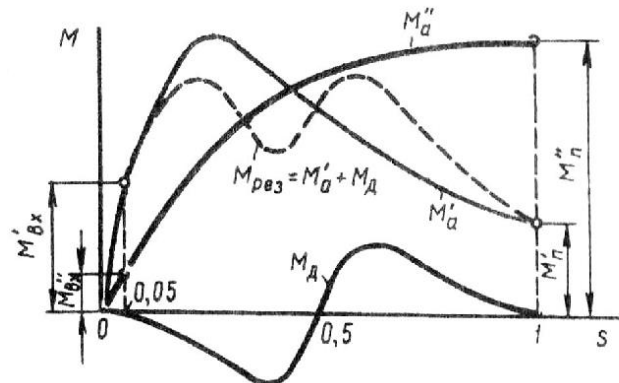
Valdagi yuklanish momentining ortishi bilan motorning sinxronizmga tortilishi qiyinlashadi. Sinxron motor rotorini sinxronizmga tortilish imkonini bo‘lgan valdagi eng katta yuklanish momenti, motor kirish momenti M_{KHP} deyiladi. Aylanish tezligi ($n_2 \approx 0,95n_1$) dagi asinxron moment M_a ishga tushirish chulg‘ami sterjenining aktiv qarshiligi, ya’ni sterjen

kesim yuzasi va sterjen yasalgan metallning solishtirma elektr qarshiligiga bog'liq (13.3,b-rasm)

Shuni ta'kidlash zarurki, katta ishga tushirish momenti (M'') hosil qilish uchun ishga tushirish chulg'ami sterjeni qarshiligi r_2'' ni tanlash, sinxronizmga kirish momenti (M_{ex}'') kamaytirishga va, aksincha, kichik ishga tushirish momenti (M_n')ga mos qarshilik r_2' ni tanlashda, sinxronizmga kirish momentini kattalashtiradi ($M_{\text{ex}}' > M_{\text{ex}}''$).

Asinxron ishga tushirish jarayonida qo'zg'otish chulg'amini ochiq qoldirib bo'lmaydi, chunki boshlang'ich chog'larida sinxron tezlik bilan aylanayotgan stator magnit maydoni qo'zg'otish chulg'amini kesib o'tib, unda EYK induktivlaydi. Katta o'ramlar soniga ega bo'lganlik uchun, ushbu EYK shunday katta qiymatli bo'ladiki, qo'zg'otish chulg'ami izolyasiyasiga va xizmat qiluvchi personalga xavf soladi. Buni bartaraf etish uchun, qo'zg'otish chulg'ami rotor tezlik olgungacha bo'lgan davrga, kattaligi qo'zg'otish chulg'ami qarshiligidan taxminan 10 marta katta bo'lgan aktiv qarshilik r ga tutashtiriladi. Qo'zg'otish chulg'ami boshi va keti klemmalari I1 va I2 qarshilik r bilan qayta ulash R qayta ulagich yordamida amalga oshiriladi (13.3, a-rasmga qarang).

Sinxron motorni ishga tunirish vaqtida qo'zg'otish chulg'amini qisqa tutashtirish tavsiya etilmaydi, chunki rotor chulg'ami g'altagi bir fazali berk kontur hosil qiladi. Uning stator aylanuvchi magnit maydoni bilan o'zaro ta'siri qo'shimcha asinxron moment M_d hosil qiladi. Biroq, sinxron tezlikning yarmida bu moment tormozlovchi momentga aylanadi va ishga tushiruvchi (asinxron) moment (13.4-rasmda punktir chiziq) tavsifida o'ralik (proval) hosil qiladi. Bu sinxron motorning ishga tushirish xususiyatlarini sezilarli darajada pasaytiradi.



13.4-rasm. Sinxron motorni ishga tushirishda asinxron momentlar: M_a -asosiy moment; M_k -qo'shimcha moment; M_{kir} -sinxronizmga kirish momenti.

Sinxron motorni asinxron ishga tushirishda katta ishga tushirish toki mavjud. Shu sababli sinxron motorni bevosita tarmoqqa ulash, nominal kuchlanish berish faqat tarmoq katta quvvatli bo'lganda, (nominal tokdan besh – etti marta katta) ishga tushirish toki sababli sezilarli kuchlanish pasayuviga chidamli bo'lgan tatbiq etish mumkin. Agar tarmoq quvvati etarli bo'lmasa, motorni kuchlanishni pasaytirib ishga tushirish mumkin (avtotransformatorli yoki reaktorli).

Yuqorida keltirilgan ishga tushirish usullar tahlilidan shuni ko'rish mumkinki, bu usullar kichik va o'rta quvvatli sinxron motorlar uchun taalluqlidir.

Katta quvvatli sinxron motorlarni ishga tushirish. Tog'-kon sanoati korxonalarida katta quvvatli boshqa turdagi (asinxron, o'zgarmas tok mashinalari) elektr motorlarini ishlatish imkoni bo'lmaganligi (rotor aylanish tezliga o'zgarmas bo'lishi), sababli sinxron

mashinalar ishlatilmoqda. Ammo, sinxron motorning eng katta kamchiligi, uni ishga tushirish va zarur bo'lganda rotor aylanish tezligini boshqarishdir.

Katta quvvatli sinxron motorlarni ishga tushirishda, aksariyat, ular valida yuklanishning mavjudligi, kuchlanishni pasaytirish usuli qo'llashni cheklaydi. Bevosita stator chulg'ami nominal kuchlanishli tarmoqqa ulab ishga tushirishda katta stator tokining (nominal tokdan 5-7 marta katta) birnecha minut davomida oqishi; stator chulg'ami o'taqizib ketishi; atrofdagi parallel ta'minlanayotgan boshqa jihozlarning kuchlanishi pasayishiga olib keladi.

Oxirgi vafqtda yarim o'tkazgichli o'zgartkichlar texnikasi va kompyuter texnologiyalari fanining rivojlanishi natijasida sanoatda sinxron motor stator chulg'ami tokining chastotasini o'zgartirib ishga tushirish usul qo'llanila boshladi. Bunda stator toki chastotasi f_1 va stator magnit maydoni aylanish chastotasi n_1 orasidagi bog'lanish (9.4) asosida quyidagi takliflar kiritiladi. Stator chulg'amiga uzatilayotgan tokning chastotasini 0 dan $f_{1.HOM}$ gacha ravon oshirib, n_1 ni n_{HOM} gacha o'zgartiriladi. Buni amalga oshirish uchun yarim o'tkazgichli CHO'lari qo'llaniladi (9.5-rasm), ular stator chulg'ami kuchlanishining ham chastotasini, ham amplitudasini ma'lum qonuniyat asosidagi o'zgarishini ta'minlaydi.

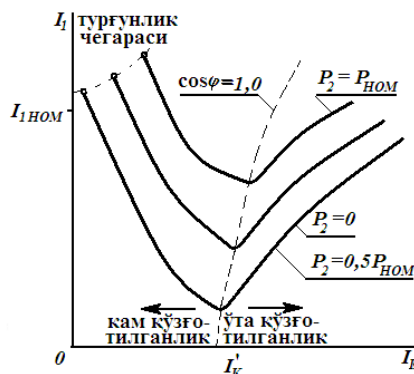
13.3. Sinxron motor tavsiflari

Sinxron motor V-simon tavsifi. Sinxron motor ishlash jarayonida stator chulg'amida EBK induktivlanadi, ularning yig'indisi $\sum \dot{E}$ [(11.29)ga qarang] taxminan tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_c$ ga teng. Bu EYKlar yig'indisi ikki MYK qo'zg'otish chulg'ami $F_B \equiv I_B$ va stator chulg'ami $F_1 \equiv I_1$ o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'lgan natijaviy magnit oqimga ekvivalentdir.

Tarmoq kuchlanishi o'zgaras bo'lsa $\dot{U}_{Tarmoq} \approx -\sum \dot{E}$ natijaviy manit maydon o'zgaras bo'ladi. Shu sababli qo'zg'otish MYK F_K (qo'zg'otish toki I_K) o'zgarganda stator MYK F_1 shunday o'zgaradiki, ularning o'zaro ta'siri o'zgarmaydi, ya'ni sinxron motorning natijaviy magnit maydoni o'zgarmaydi. MYK F_1 bunday o'zgarishi faqat stator chulg'ami tokining qiymati $\dot{I}_1$ va fazasi o'zgarishi bilan sodir bo'ldi, ya'ni stator tokining reaktiv tashkil etuvchisi I_d o'zgara. Elektromagnit moment o'zgaras bo'lganligi uchun stator tokining aktiv tashkil etuvchisi $\dot{I}_1 \cos \varphi = const$ o'zgarmaydi.

Masalan, qo'zg'otish toki I_K o'zining eng kichik qiymati ($I_K \approx 0$) dan ortganda rotor MYK ortadi, bunda stator MYK kamayadi. Bu MYK kamayishi (tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_c$ ga nisbatan) induktiv I_d bo'lgan, stator tokining kamayishi bilan birga bo'ladi.

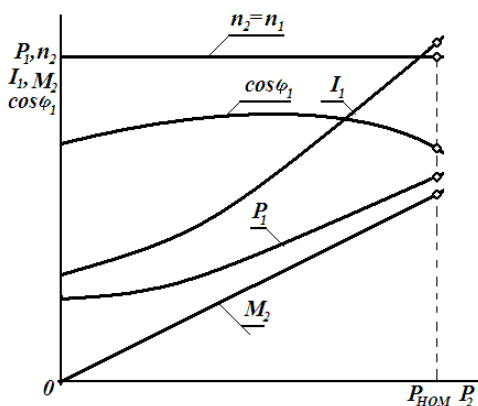
Bunda statorning to'la toki $\dot{I}_1 = \dot{I}_q + \dot{I}_d$ kamayadi, motor quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_1$ esa ortadi. Qo'zg'otish tokining biror I'_K qiymatida stator tokining induktiv tashkil etuvchisi nolgacha kamayadi. Ushbu holatda stator toki (mazkur yuklanish uchun) minimal qiymatga erishadi, chunki $\dot{I}_1 = \dot{I}_q$ tok sof aktiv bo'ladi, shunda quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_1 = 1$ bo'ladi.



13.5-rasm. Sinxron motor V-simon tavsifi

Qo'zg'otish tokini I'_K dan oshirilsa, ya'ni motor o'ta qo'zg'otilganda, stator toki I_1 ortadi, ammo endi bu tok tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_{\text{Тармоқ}}$ ga nisbatan ildamlovchi (sig'im xarakterda) bo'ladi. Shunday qilib, sinxron motor kam qo'zg'otilgan ($I_K < I'_K$) bo'lsa, motor kechikuvchi tokli, o'ta qo'zg'otilgan ($I_K > I'_K$) bo'lsa - ildamlovchi tokli bo'ladi. Sinxron motor uchun stator tokining qo'zg'otish tokiga bo'lgan bog'liqligi, ya'ni V-simon tavsifi 13.4-rasmda keltirilgan. Unda qo'zg'otish toki I'_K qiymatiga sinxron motorning quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_1 = 1$ mos keladi. Motor o'ta qo'zg'otilgan bo'lsa stator chulg'amida ildamlovchi tok hosil bo'ladi. blshqacha qilib aytganda, sinxron motori reaktiv tok generatori hisoblanadi: kam qo'zg'otilgan bo'lsa, tarmoq kuchlanishiga nisbatan induktiv va o'ta qo'zg'otilgan rejimda esa sig'imli hisoblanadi. Sinxron motorlarning ushbu xususiyati ularning yaxshi sifati bo'lib, elektr qurilmalari quvvat koeffitsientini oshirish uchun qo'llaniladi.

Tarmoq bilan parallel ishlayotgan sinxron generatorlarga o'xshash (12.2ga qarang), sinxron motorlarda minimal qo'zg'otish toki bo'lganda turg'unlik chegarasiga ega (13.5-rasmda punktir chiziq).



13.6-rasm. Sinxron motor ishchi tavsiflari

Ishchi tavsiflari. Sinxron motor ishchi tavsiflari deb, rotor aylanish tezligi n_2 , istemol qilinayotgan quvvat P_1 , foydali moment M_2 , quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_1$ va stator chulg'amidagi tok I_1 ning motor foydali quvvati P_2 ga bog'liqligiga aytiladi (13.6-rasm). Rotorning aylanish tezligi n_2 doimo sinxron tezlik $n_1 = f_1 60 / p$ ga teng, shuning uchun $n_2 = f(P_2)$ tavsifi abssissa o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqdan iborat. Ishchi tavsiflarni tarmoq kuchlanishi chastotasi o'zgarmas $f_1 = \text{const}$ va $\omega_1 = \text{const}$, degan shart bilan olinishi sababli $M_2 = f(P_2)$ grafigi koordinata boshidan chiqqan to'g'ri chiziqni eslatadi. Motor

kirishidagi quvvat $P_1 = P_2 + \Sigma P$. Motor validagi yuklanish ortishi bilan quvvat isroflari ΣP ham ortadi, shu sababli motor istemol qilayotgan quvvat P_1 valdagi foydali quvvat P_2 dan tezroq o'sadi va uning grafigi $P_1 = f(P_2)$ nochiziqli bo'ladi.

Quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_1 = f(P_2)$ tavsifining shakli qo'zg'otish tokini sozlash rejimiga bog'liq: agar yu.i. rejimida qo'zg'otish tokini shunday o'rnatilsaki, unda $\cos\varphi_1 = 1$ bo'lsa, u holda motor yuklanishi ortishi bilan quvvat koeffitsienti kamayadi, tavsif pasabvchi bo'ladi; agar nominal yuklanishda $\cos\varphi_1 = 1$ o'rnatilsa, kam yuklanish bo'lganda motor tarmoqdan reaktiv ilgarilovchi tokni oladi, o'ta yuklanganda esa – kechikuvchi tokni oladi. Aksariyat, qo'zg'otish tokini shunday o'rnatiladiki, unda yuklanish o'rtacha bo'lganda $\cos\varphi_1 = 1$ o'rnatiladi. Shunday vaziyatda quvvat koeffitsienti yuklanish o'zgarishining barcha diapazonida katta qiymatda bo'ladi. Agar qo'zg'otish tokini shunday o'rnatilsaki, unda yuklanish nominal qiymatidan yuqoriroq bo'lganda quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_1 = 1$ etib rostlansa, u holda nominal yuklanishda $\cos\varphi_1 = 0,8$ bo'ladi va motor tarmoqdan kuchlanishga nisbatan ilgarilovchi tok istemol qiladi, bu esa tarmoqning quvvat koeffitsientini oshiradi. Bu xususiyati bilan sinxron motori asinxron motorlarga nisbatan farqli bo'lib, ta'minlovchi tarmoqning energetik ko'rsatkichlarini yaxshilaydi.

Motor statoridagi tokning qiymati quyidagicha aniqlanadi

$$I_1 = \frac{P_1}{m_1 U_1 \cos\varphi_1}.$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, yuklanish ortishi bilan quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_1$ kamayishi sababli, statorning toki I_1 istemol qilinayotgan quvvat P_1 ga nisbatan tezroq ortayapti.

Sinxron motor rotorining aylanish yo'nalishi stator magnit oqimi aylanish yo'nalishi bilan mos. Ular aylanish yo'nalishi tarmoq uch fazasining ketma-ketligiga bog'liq. Aylanish yo'nalishini o'zgartirish uchun uch fazadan ikkisining o'rni almashtiriladi.

Xulosa qilib shuni aytish zarur: sinxron motorlar asinxron motorlarga nisbatan afzalligi shundaki, ular tarmoqda qo'shimcha quvvat isroflari hosil qiluvchi induktiv toklar hosil qilmaydi va $\cos\varphi_1 = 1$ ushlab turish imkoniyatiga ega. Undan ham ortiqroq, sinxron motorni o'ta qo'zg'otish rejimida ishlatib, tarmoq uchun sig'im toklarini ishlab chiqarish mumkin, bu esa energetika tizimining quvvat koeffitsientini oshiradi. Sinxron motorning yana bir afzalligi shundaki, (12.11) ifodaga kshra, elektromagnit momentning asosiy tashkil etuvchisi stator kuchlanishi U_1 ga proporsional, asinxron motorlarda esa bu bog'liqlik kuchlanishning kvadrati bilan U_1^2 ifodalanadi. Shu sababli, tarmoq kuchlanishi pasayganda, sinxron motor, asinxron motorga nisbatan, o'zining o'tayuklanuvchanlik xususiyatini ko'proq saqlab qoladi.

Sinxron motorlarning kamchiligi – qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarga nisbatan tuzilishining murakkabligi va narxining balandligidir. Undan tashqari, sinxron motorning ishlashi uchun qo'zg'otish chulg'amini o'zgarmas tok bilan ta'minlaydigan qurilma bo'lishi zarur.

Ekspluatatsiya natijalari shuni ko'rsatdiki, sinxron motorlarni quvvati 200 kVt va undan katta, tez-tez ishga tushirish va boshqarish zarurati bo'lmagan qurismalarda (ruda tegirmonlari, katta quvvatli nasoslar, ventilyatorlar, kompressorlar va h.k.) ishlatish maqsadga muvofiq bo'ladi.

19-mavzu. Sinxron mashinadagi quvvat isroflari va FIK

Sinxron mashinalarning maxsus turlari.

Sinxron mashinada energiya o'zgartirilishi uning o'zida ham energiya isrof bilan kechadi. Sinxron mashinadagi barcha energiya isroflari asosiy va qo'shimcha isroflarga ajratiladi.

Sinxron mashinadagi asosiy isroflar stator chulg'amidagi elektr isroflari, qo'zg'otish isroflari, magnit isroflari va mexanik isroflardan iborat.

Stator chulg'amidagi elektr isroflari (Vt)

$$R_{e1} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot r_1, \quad (11.37)$$

bunda r_1 – chulg'amning hisobiy xaroratida, stator chulg'ami bir fazasining aktiv qarshiligi, Om.

Qo'zg'otish isroflari (Vt):

a) alohida qo'zg'otkich uskunasida bo'lganda

$$R_K = I_K^2 \cdot r_K + \Delta U_{III} \cdot I_K \quad (11.38)$$

bunda r_K – chulg'amning ishchi xaroratida, qo'zg'otish chulg'amining aktiv qarshiligi, Om; $\Delta U_{III} = 2$ V – shchetaklardagi elektr quvvat isroflari;

b) qo'zg'otish chulg'ami sinxron mashinaning vali bilan ulangan o'zgarmas tok generatoridan (qo'zg'otkich) energiya olsa,

$$R_v = (I_v^2 \cdot r_v + \Delta U_{III} \cdot I_v) / \eta_v. \quad (11.39)$$

bunda $\eta_v = 0,80 \div 0,85$ - qo'zg'otkich f.i.k.

Sinxron mashinaning magnit isroflari stator chulg'amlarida sodir bo'ladi va aylanuvchi magnit maydon bilan qayta magnitlanadi. Bu isroflar gisterezis r_g va uyurma tok $r_{u.t.}$ isroflaridan iborat

$$r_m = r_g + r_{v.t.} \quad (11.40)$$

Mexanik isroflar (Vt) podshipniklardagi ishqalanish va ventilyasiya (o'z-o'zini ventilyasiyalashda) isroflaridan iborat

$$P_{Mex} \approx 3,68 p \frac{v_2}{40} \sqrt[3]{10^3 l_1} \quad (11.41)$$

bunda

$$v_2 = \pi(D_1 - 2\delta)n_1 / 60 \quad (11.42)$$

- rotor qutblari uchliklarining yuzasi aylanish tezligi, m/s; l_1 – stator magnit o'zagining konstruktiv uzunligi, mm.

Sinxron mashinalarida qo'shimcha isroflar ikki turga bo'linadi: rotor qutb uchliklaridagi pulslanuvchi isroflar va yuklanishdagi isroflar.

Rotor qutb uchliklaridagi pulslanuvchi isroflar r_p stator ichki silindrik yuzasining tishli bo'lishi tufayli havo oralig'idagi induksiya pulslanishidan hosil bo'ladi. Bu isroflarning qiymatlari (Vt)

$$p_{II} = k_{II} p b_p l_1 (10^{-4} Z_1 n_1)^{1,5} [B_\delta (k_\delta - 1) t_1]^2 \cdot 10^{-6}, \quad (11.43)$$

bunda k_p – rotor qutblari tunikachalarining qalinligiga bog'liq bo'lgan koeffitsient (tunikacha qalinligi $\Delta = 1$ mm bo'lganda $k_p = 4,6$; $\Delta = 2$ mm bo'lganda $k_p = 8,6$; qutb uchligi yaxlit bo'lganda $k_p = 23,3$); b_r – qutb uchligining kengligi, mm; Z_1 - stator pazlari soni; B_δ – havo oralig'dagi induksiya, Tl; $k_{\delta 1}$ - stator havo oralig'i koeffitsienti; t_1 - statorning tish oralig'i, mm.

Sinxron mashinalarda yuklanishdagi qo'shimcha isroflar p_{dob} motorga keltirilgan quvvatning yoki generator foydali quvvatining foizi sifatida hisoblanadi. Quvvati 1000 kVt gacha bo'lgan sinxron mashinalarda yuklanishdagi qo'shimcha quvvat 0,5%, quvvati 1000

kVtdan katta bo'lganda - 0,25-0,4% qabul qilinadi. Sinxron mashinalarda umumiy quvvat isroflari (kVt)

$$\sum r = (r_{e1} + r_v + r_{m1} + r_{mex} + r_p + r_{dob}) \cdot 10^{-3}. \quad (11.44)$$

Sinxron mashina foydali ish ko'effitsienti:

a) sinxron generator uchun

$$\eta_r = 1 - \frac{\sum p}{P_{HOM} + \sum p} \quad (11.45)$$

$$\text{bunda} \quad R_{nom} = m_1 U_{1nom} I_{1nom} \cos \varphi_1 \cdot 10^{-3} \quad (11.46)$$

- nominal yuklanish bo'lganda generatordan olinayotgan aktiv quvvat, kVt;

b) sinxron motor uchun

$$\eta_d = 1 - \sum r / R_{1nom}. \quad (11.47)$$

bunda U_{1nom} va I_{1nom} – stator kuchlanishi va tokining faza qiymatlari.

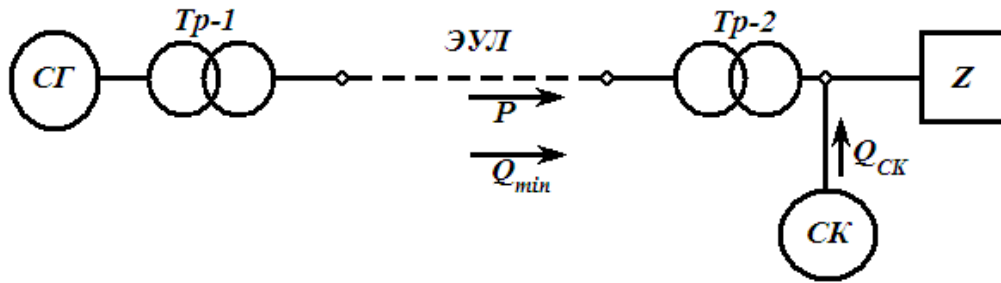
Sinxron mashina f.i.k. yuklanishning qiymati ($\beta = R_2/R_{nom}$) va xarakteri ($\cos \varphi_1$)ga bog'liq. Ularning grafiklari

KPD sinxronnoy mashinasi zavisit ot velichinasi nagruzki ($\beta = R_2/R_{nom}$) i ot ee xarakteru ($\cos \varphi_1$). Bu bog'lanish grafigi 1.41-rasmda tasvirlangan bog'lanishdan farq qilmaydi. Quvvati 100 kVtgacha bo'lgan sinxron mashinlar f.i.k.lari 80—90%, undan kattaroq quvvatli mashinalarda f.i.k. 92-99% gacha bo'ladi. Qiymati katta f.i.k.lari quvvatlari birnecha o'nlab va yuzlab MWt quvvatli bo'lgan turbogenerator va gidrogeneratorlarga xos.

Sinxron kompensator (SK) shunday sinxron mashinaki, reaktiv quvvatni generatsiya qilish uchun qo'llaniladi. Sinxron kompensatorni elektr tarmoqqa, uning quvvat ko'effitsientini oshirish uchun kiritiladi.

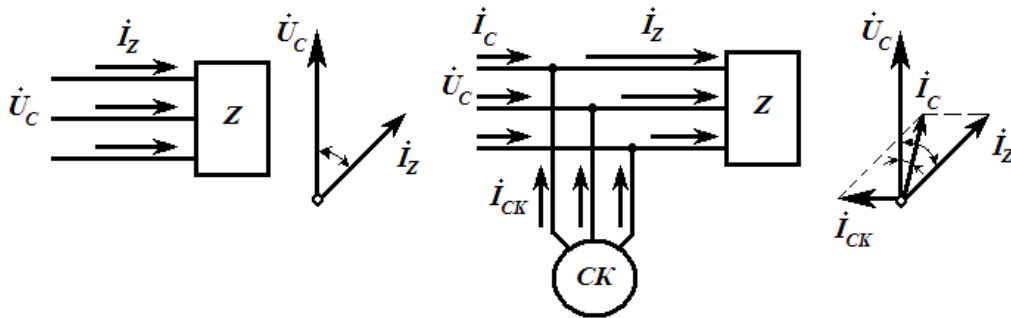
Istemolchilar uchun (elekt motorlar, transformatorlar va boshqa induktiv yuklamalar) elektr energiyaning faqat aktiv tashkil etuvchisi emas, balki reaktiv tashkil etuvchisi ham o'ta zarur. Reaktiv energiya ularda magnit maydon hosil vazifasini bajaradi, xolos. Foydali ish bajarmaydi, generator va istemolchi orasidagi elektr uzatish liniyasida (EUL) sirkulyasiya qilib, unda Joule isroflarini hosil qiladi. EUL o'tkazgichlaridan oqayotgan tokning zichligi cheklanganligi sababli, liniyada energiyaning aktiv tashkil etuvchisini istemolchiga etkazib berishda halal beradi.

SKning qo'llanishidan maqsad, istemolchilarga zarur bo'lgan reaktiv quvvatni elektr stansiyada o'rnatilgan sinxron generator emas, balki istemolchi yaqinida o'rnatilgan sinxron kompensator ishlab chiqaradi. Bu kabi katta reaktiv quvvat talab etuvchi istemolchilar, asosan transformator, asinxron motor va reaktori mavjud bo'lgan korxonalardir. Quyida keltirilgan 13.7-rasmda sinxron generator (SG), kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlar (Tr-1 va Tr-2), EUL, istemolchi (Z) va istemolchining bevosita kirish klemmalariga ulangan sinxron kompensator (SK)larni o'z ichiga olgan elektr energetik tizimning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan.



13.7-rasm. Sinxron kompensator elektr tarmog'iga ulanishi

Tarmoqqa ulangan SK, valida yuklamasi bo'lmagan ($P_2 = 0$), ya'ni yu.i. rejimidagi sinxron motor kabi ishlaydi va istemolchi Z (masalan, asinxron motorlar guruhi) uchun zarur bo'lgan Q_{CK} reaktiv quvvat ishlab chiqaradi. Natijada, SG va EULning reaktiv quvvati minimal qiymatga Q_{min} cha pasaytiriladi.



13.8-rasm. Sinxron kompensatorni tarmoq quvvat ko'effitsiyentini oshirish uchun qo'llash

Elektr tarmog'iga SK kiritish bilan bog'liq jarayonni tutuntirish uchun 13.8-rasmdagi sxema ishlashini ko'raylik. Kuchlanishi U_C bo'lgan tarmoqqa Z istemolchini kiritilganda (13.8,a-rasm) undagi mavjud katta induktiv yuklanish hisobiga tarmoqda $\dot{U}_C$ kuchlanishdan φ_Z burchakka kechikuvchi $\dot{I}_Z$ toki oqa boshlaydi. Z istemolchiga parallel SK ulanganda va SKda o'ta qo'zg'otilganlik rejimi o'rnatilganda (13.8,b-rasm) tarmoq $\dot{U}_C$ kuchlanishiga nisbatan 90° burchakka ilgarilab ketuvchi $\dot{I}_{CK}$ toki hosil bo'ladi. Tarmoqdagi natijaviy tok

$$\dot{I}_C = \dot{I}_Z + \dot{I}_{CK}. \quad (13.1)$$

Bu tokning tarmoq kuchlanishi $\dot{U}_C$ ga nisbatan faza siljishi (φ_C burchak) SK ulangunga qadar bo'lgan faza siljishidan ancha kichik (φ_Z burchak). Bundan tashqari, SK ulanishi bilan I_C kamayadi ($I_C < I_Z$). Bunga iqror bo'lish uchun quyidagi fikrlarni eo'rib chiqamiz: SK valida yuksiz bo'lmagani sababli, uning aktiv quvvati kichik va kompensator yu.i. isroflariga teng. Bu isroflarni e'tiborga olmay, SK ulangunga qadar bo'lgan tarmoqdagi aktiv quvvatni

$$P_C = P_Z = \sqrt{3} I_Z U_C \cos \varphi_Z \quad (13.2)$$

SK ulangandan keyingi tarmoq aktiv quvvatiga tenglashtirish mumkin:

$$P'_C = \sqrt{3} I_C U_C \cos \varphi_C. \quad (13.3)$$

Ifodalar (13.2) va (13.3)dagi quvvatlarni teng deb qabul qilsak $P_C = P'_C$, quvvat ko'effitsientlari $\cos \varphi_C > \cos \varphi_Z$ va toklar $I_C < I_Z$ bo'ladi. Natijada sinxron generator va EUL reaktiv quvvatdan ozod bo'lib, ulardagi quvvat isroflari kamayadi.

Ba'zi holatlarda SK chala qo'zg'otilgan rejimda ishlaydi. Bunga zarurat paydo bo'lishi, tarmoqda ko'p miqdorda sig'im (reaktiv) yuklanishi bo'lib, istemolchi

yuklanishining induktiv tashkil etuvchisi uni kompensatsiya qila olmaydi (Masalan, istemolchining ko'plab induktiv yuklanishi vaqtincha o'chirilgan holat). Aksariyat SKning qo'zg'otilish darajasi avtomatik uskunalar yordamida boshqariladi.

Sinxron kompensatorlar EULda uzoq masofalarga energiya uzatishda ham ishlatiladi. Katta induktiv yuklamali liniya oxirida (istemolchida) kuchlanish liniya boshlanishidagidan ancha kichik bo'lishi mumkin; kichik yuklanishlarda, aksincha, liniyadagi sig'im yuklanishlari ta'sirida liniya oxiridagi kuchlanish, liniya boshlanishidagi kuchlanishdan yuqori bo'lishi mumkin. Agar liniya oxirida (istemolchilarda) SK ulansa va katta yuklanishlarda o'ta qo'zg'otilganlik rejimida, kichik yuklanishlarda esa chala qo'zg'otilganlik rejimida ishlatilsa, u holda liniya oxiridagi kuchlanishni o'zgarmas qiymatda saqlash mumkin.

SKlarning qizish jarayoni ildamlovchi toklar (o'ta qo'zg'otilganlik rejimi)da, kechikuvchi tokdagiga nisbatan (chala qo'lg'otilganlik rejimi) og'irroq kechadi, shu sababli kompensatorning nominal quvvati deb, o'ta qo'zg'otilganlik rejimidagi quvvatga aytiladi.

Misol 13.1. Kuchlanishi U_c 6,3 kV bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmog'iga yuklanish quvvati 1500kV·A, quvvat koeffitsienti $\cos\varphi = 0,7$ bo'lgan istemolchi ulangan. tarmoq quvvat koeffitsientini $\cos\varphi' = 0,95$ ($\sin\varphi' = 0,31$) oshirish maqsadida o'rnatiladigan sinxron kompensatori quvvatini aniqlang. Qo'shimcha, kompensator o'rnatilgunga qadar va o'rnatilgandan keyin tarmoq yuklanishi tokini aniqlang.

Echish. SK o'rnatilgunga qadar tarmoq reaktiv quvvati $Q = S \sin\varphi = 1500 \cdot 0,7 = 1050$ kV·Ar, tarmoq yuklanish toki

$$I_c = S / (\sqrt{3}U_c) = 1500 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 138 \text{ A};$$

Shu tokning aktiv tashkil etuvchisi

$$I_{c,B} = I_c \cos\varphi = 138 \cdot 0,7 = 97 \text{ A}.$$

SK ulangandan so'ng reaktiv quvvat kamaydi

$$Q' = S \sin\varphi' = 1500 \cdot 0,31 = 450 \text{ kV·Ar}.$$

Shunday qilib, qurilmaning quvvat koeffitsientini $\cos\varphi = 0,7$ qiymatidan $\cos\varphi' = 0,95$ gacha oshirish uchun quvvati

$$Q_{c,K} = 1050 - 450 = 600 \text{ kV·Ar}$$

bo'lgan SK kiritish zarur bo'ladi bunda, tarmoq tokining aktiv tashkil etuvchisi ($I_{c,K} = 97 \text{ A}$) o'zgarmaydi, reaktiv tashkil etuvchisi esa quyidagiga teng bo'ladi

$$I'_{c,p} = Q' / (\sqrt{3} \cdot U_c) = 450 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 42 \text{ A}.$$

Demak, SK ulangandan so'ng tarmoqdagi tok quyidagicha bo'ladi

$$I_c = \sqrt{I_{c,B}^2 + I_{c,p}^2} = \sqrt{97^2 + 42^2} = 104 \text{ A}.$$

Aksariyat, quvvat koeffitsientini 0,92-0,95 gacha oshiriladi, chunki $\cos\varphi=1,0$ gacha o'zgartirishdan olingan iqtisod (foyda), sinxron kompensatorquvvatini oshirish uchun xarajatlarni qoplamaydi. Agar, ko'rilayotgan misolda quvvat koeffitsientini birgacha oshirish zaruligi bo'lganda edi, u holda sinxron kompensatori quvvati 1050 kV·Ar, ya'ni xarajatlar $\cos\varphi' = 0,95$ dagi xarajatlarga nisbatan taxminan ikki marta ko'proq bo'lar edi.

Sinxron kompensatorlar – bu katta quvvatli elektr mashinalaridir: 10 dan 160 ming. kV·A gacha. Ularni, aksariyat, vali gorizonta joylashtirib yasaladi, kuchlanishi 6,6 dan 16 kV.gacha, chastotasi 50 Gs. SK rotorining qutblari soni $2p = 6$ i 8, bu esa rotor aylanilar sonining 1000 va 750 ay/min. ga mos keladi. Xozirgi zamon SKlarida asinxron ishga tushirish qabul qilingan, shu sababli SK rotorini ishga tushirish chulg'ami bilan ta'minlangan.

Kompensator vali aylanma momentni boshqa mexanizmga uzatmaydi, shu sababli uning loyihasida faqat rotor tortish kuchi va magnit tortilish kuchini e'tiborga olinadi. Natijada, SK vali sinxron motor valiga nisbatan kichik kesim yuzaga ega. Bu ko'rsatkich SKning tashqi o'lchamlari (gabariti)ni kamaytirish imkonini beradi. SK vali ulanish qismi bo'lmaganligi sababli, SKga vodorodli sovutkich ishlatish maqsadida, nisbatan oson germetizatsiya qilish mumkin.

SKning muxim tavsiflaridan biri, uning asosiy parametrlarini aniqlovchi V-simon tavsifidir: stator va qo'zg'otish chulg'amlari toklarining qiymatlari. Bu tavsiflar sinxron motorning yu.i. rejimidagi ($P_2 = 0$) V-simon tavsifidan farq qilmaydi. Bu tavsiflar tarmoqning xar hil kuchlanishlari uchun quriladi.

Sinxron kompensator aktiv yuklanishsiz (elektromagnit quvvati $P_{\text{ЭМ}} \approx 0$) va burchak $\theta = 0$ da ishlaydi, bu esa SKning katta o'ta yuklanuvchanlik xususiyatini oshiradi

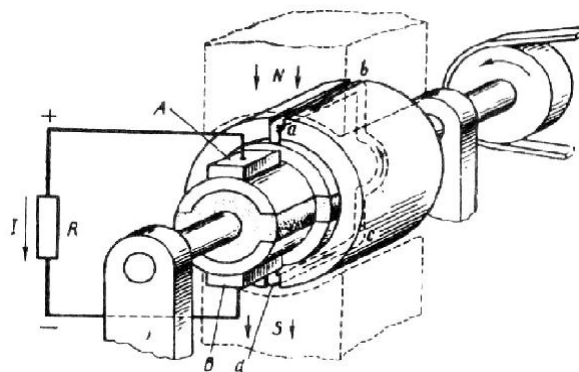
20-mavzu. O'zgarmas tok mashinalari tuzilishi va ishlash prinsipi.

O'zgarmas tok mashinasining o'ziga xos xarakterli belgisi kollektor-shchetka tizimi, o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylantiruvchi va, uning aksi, - mexanik o'zgartkich mavjudligidir. Bunday o'zgartkichning zarurati shu bilan tushuntiriladiki, o'zgarmas tok mashinasining yakor chulg'amida o'zgaruvchan tok oqishi shart, chunki faqat shu sharoitda mashinada elektromexanik energiya o'zgartirilishining uzluksiz jarayoni sodir bo'ladi.

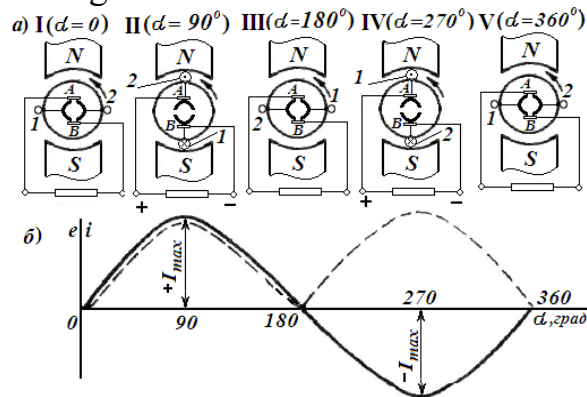
O'zgarmas tok generatorining ishlash prinsipini ko'raylik. 14.1-rasmda generatorning soddalashtirilgan modeli tasvirlangan: ikki qo'zg'olmas o'zgarmas magnit qutblari N va S orasiga generatorning aylanuvchi qism - yakor joylashtirilgan. Uning vali shkiv va tasma uzatkich mexanizmi yordamida birlamchi motor - mexanik energiya manbai (rasmda ko'rsatilmagan) vali bilan ulangan. Yakor magnit o'zagi tashqi silindrik yuzasida qirqilgan ikki bo'ylama pazda bir o'ram sifatida keltirilgan a, b, c, d chulg'am joylashtirilgan. O'ramning boshi va keti soddalashtirilgan kollektorni tasvirlovsi, o'z-aro izolyasiyalangan ikki mis yarim xalqalarga ulangan. Kollektor yuzasiga A va V shchetkalar o'rnatilgan. Kollektor va shchetkalar, generator yakor chulg'amini tashqi zanjir (R qarshiligi bo'lgan yuklama) bilan bog'lovchi, sirpanuvchi kontaklar vazifasini bajaradi.

Faraz qilaylik, birlamchi motor generator yakorini soat miliga teskari yo'nalishda aylantirsin, unda o'zgarmas magnit qutblarining magnit maydonida aylanayotgan yakor o'ramida oniy qiymati $e = 2Blv$ bo'lgan EYK induktivlanadi. EYK yo'nalishi yakorning rasmda ko'rsatilgan holati uchun strelkalar bilan ko'rsatilgan.

Generatorning ishlash jarayonida uning yakori aylanadi va o'ram a, b, c, d xar hil fazoviy holatlarni qabul qiladi, shuning uchun yakor chulg'amida o'zgaruvchan EYK induktivlanadi. Agar mashinada kollekt bo'lmaganda, u holatda tashqi zanjirda (R yuklamada) tok o'zgaruvchan bo'lar edi, ammo kollektor va shchetkalar yordamida yakor chulg'amidagi o'zgaruvchan tok generator tashqi zanjirlari (yuklanish)da pulslanuvchi tokka, ya'ni yo'nalishi o'zgarmaydigan tokka aylanadi.



14.1-rasm. O'zgarmas tok mashinasi soddalashtirilgan modeli



14.2-rasm. O'zgarmas tok generatori ishlash prinsipini tushuntirish:
a-yakor EYK; b – yuklama kuchlanishi

Yakor o'rami 14.1-rasmda ko'rsatilgan holatda bo'lganida, tashqi zanjir (yuklama)dagi tok A shchetkadan V shchetka tomon yo'nalgan; demak, shchetka A musbat ishorali, shchetka V esa - manfiy. Yakor 180° ga burilgandan so'ng (14.2,a-rasm), yakor o'ramining toki yo'nalishi teskarisiga o'zgaradi, biroq, shchetkalar ishoralari va, demak, tashqi zanjir (yuklanishi)dagi tok o'zgarasdan qoladi (14.2,b-rasm). Buni shunday tushuntirish mumkin: yakor o'ramida tok yo'nalishi o'zgargan onda kollektor plastinalari o'rni o'zgaradi. Shunday qilib, A shchetkasi ostida doimo shimoliy magnit qutb ostidagi o'tkazgich bilan ulangan plastina joylashgan bo'ladi, V shchetka ostida janubiy qutb ostidagi o'tkazgich bilan ulangan plastina bo'ladi.

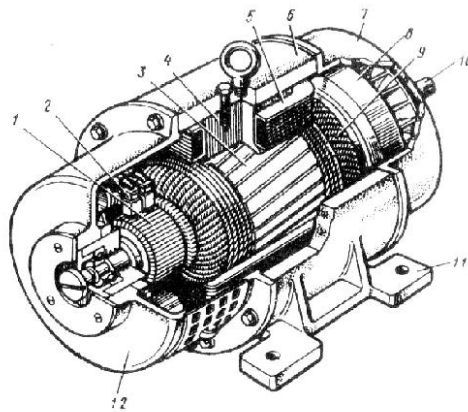
Shu sababli generator shchetkalari ishorasi yakor o'ramining holatiga bog'liq bo'lmay o'zgarasdan qoladi. Tashqi zanjirdagi tokning pulslanishiga kelsak, yakor chulg'ami o'ramlari soni ortishi, ular yakor yuzasida bir tekisda joylashganiga va kollektor plasinalarining ham ortishiga qarab ancha susayadi.

Elektr mashinalarining qaytuvchanlik prinsipiga muvofiq, o'zgaras tok mashinasining soddalashtirilgan modeli o'zgaras tok motori sifatida ishlatilishi mumkin. Buning uchun generator yuklamasi R ni uzish va mashina shchetkalariga o'zgaras tok manbaidan kuchlanish keltirish zarur. Masalan, agar shchetka A ga "plyus" klemmasini, V shchetkaga "minus" klemmasini ulasak, u holda yakor chulg'amida yo'nalishi 14.3-rasmda keltirilgan I toki hosil bo'ladi. Bu tokning qutb o'zgaras magnit oqimi (qo'zg'atish chulg'ami magnit maydoni) bilan o'zaro ta'siri natijasida soat miliga teskari yo'nalishda aylanuvchi elektromagnit moment M_{ni} hosil qiluvchi elektromagnit kuchlar $F_{\Sigma M}$ paydo bo'ladi. Yakorning 180° ga buriganidan so'ng, elektromanit kuchlar o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi, chunki yakor chulg'amining har bir o'tkazgichi bir magnit qurb zonasidan ikkinchi qutb zonasiga o'tish onida, bu o'tkazgichlarda tok yo'nalishi o'zgaradi.



14.2. O'zgarmas tok mashinasining tuzilishi

Xozirgi kunda elektr mashinasozlik sanoati korxonalari xalq xo'jaligining xar hil sohalari uchun o'zgar mas tok elektr mashinalarini ishlab chiqarmoqda. Shu sababli o'zgar mas tok elektr mashinalarining alohida qismlari xar hil tuzilishga ega bo'lishi mumkin, biroq, mashinaning umumiy konstruktiv sxemasi bir xil. Mashinaning qo'zg'olmas qismini stator deyiladi, aylanuvchi qismi - yakor deyiladi (14.4-rasm).

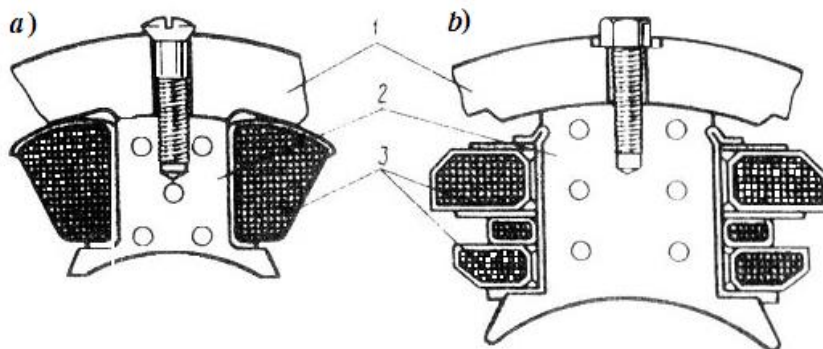


14.4-rasm. O'zgaras tok mashinasining tuzilishi

Bosh qutblar mashinada magnit maydon qo'zg'atish uchun mo'ljallangan. Bosh qutb magnit 6 o'zak va qutb g'altagi 5 dan iborat. Qutbning yakorga qaratilgan tomonida qutb uchliklari (polyusnqe nakonechniki) mavjud. U mashina havo oralig'ida magnit maydonning zaruriy taqsimlanishini ta'minlaydi. Bosh qutb magnit o'zaklari 1-2 mm qalinlikdagi konstruksion po'lat tunikachalardan yoki 3411 markali sovuq jo'valangan anizotrop elektrotexnik po'lat tunikachalardan shixrovka qilinadi. Bosh qutb shtamplangan plastinalari ataylab o'zaro izolyasiyalanmaydi, chunki plastinalar yuzasidagi yupqa oksid plenka ularda induktivlanadigan uyurma toklarni keskin pasaytirish uchun etarli bo'ladi. Anizotrop po'lat jo'valag yo'nalishi bo'yicha yuqori magnit singdiruvchanlikka ega bo'lib, plastinalar shtamplanishida va qutb paketi yig'ilishida e'tiborga olinishi kerak. Jo'valash yo'nalishiga ko'ndalang bo'lgan yo'nalishda magnit singdiruvchanlik pastligi yakor reaksiyasining ta'sirini kuchsizlantiradi va bosh va qo'shimcha qutblar tarqoq magnit oqimni kamaytiradi.

Kichik quvvatli o'zgaras tok mashinalari qutb g'altaklari karkassiz qilinadi - qutb o'zagiga izolyasion qistirma (prokladka) joylashtirilib, misdan yasalgan chulg'am o'tkazgichlarini bevosita o'raladi (14.5,a-rasm). Ko'pgina mashinalarda (quvvati 1 kVt va undan kattaroq) qutb g'altagi karkasli qilinadi: chulg'am o'tkazgichi karkasga (aksariyat, plastmassadan) o'raladi, so'ngra qutb o'zagiga kiygiziladi (14.5,b-rasm). Mashinalarning ba'zi konstruksiyalarida qo'zg'atish chulg'ami intensiv sovutilish uchun balandligi bo'yicha birnecha qismlarga bo'linadi, ular orasida ventilyasiya kanallari qoldiriladi.

Yakor. O'zgaras tok mashinasining yakori (14.4-rasm) val 10, magnit o'zak 3, yakor chulg'ami 9 va kollektor 1dan iborat. Yakor magnit o'zagi shixrovka qilingan konstruksiyadan iborat va yupqa tunikasimon elektrotexnik po'latdan shtamplangan plasinalardan iborat. Plastinalar lak bilan qrplanadi, paketlarga yig'iladi va quritiladi. Tayyor magnit o'zak yakor valiga presslanib maxkamlanadi. Yakor magnit o'zagining bunday tuzilishi, uning magnit maydonda aylanishidan hosil bo'lgan qayta magnitlanishda induktivlanadigan uyurma toklarni keskin kamaytirish imkonini beradi. Yakor tashqi silindrik yuzasida bo'ylama pazlar bo'lib, ularda yakor chulg'ami joylashtiriladi.

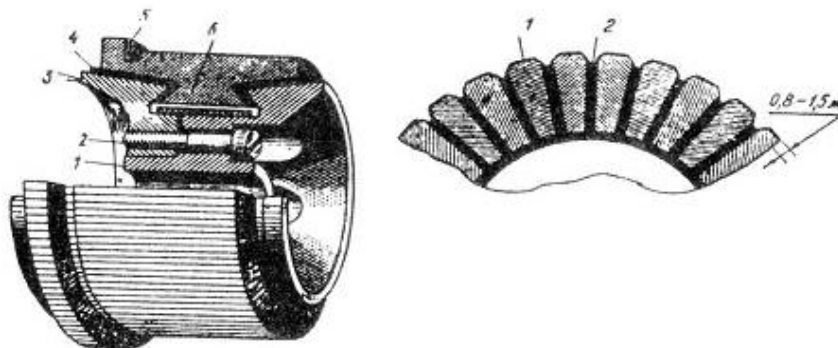


14.5-rasm. Karkassiz (a) va karkasli (b) qutb g'altagi bo'lgan bosh qutblar:
1-stanina; 2-qutb o'zagi; 3-g'altak

Yakor chulg'amini dumaloq yoki to'g'ri burchakli kesim yuzali mis o'tkazgichlardan yasaladi. Pazlari chulg'am o'tkazgichlari bilan to'ldirilib, so'ngra pona (tekstolit yoki getinaks) bilan berkitiladi. Ba'zi mashinalarda pona bilan berkitmasdan, balki yakor yuzasiga bandaj o'raladi. Bandaj po'lat yoki shisha tolali tortilgan simdan yasaladi. Chulg'amning tirsak qismi chulg'amni maxkamlovchi bandaj bilan qotiriladi.

Kollektor 1 o'zgarmas tok mashinasining murakkab qismlaridan biri hisoblanadi. Kollektorning asosiy elementlari qattiq tortilgan mis lentasidan trapetsiya shaklida shtamplangan plastinalaridan shunday yig'ilganki, kollektor silindr shaklini oladi. Kollektor plastinalarini maxkamlashga qarab, kollektor ikki asosiy turga bo'linadi: po'lat konus shaybali va plastmassali.

14.6, a-rasmda po'lat konus shaybali kollektor tuzilishi keltirilgan. Kollektor plastinalarning 6 quyi qismi «qaldirg'och dumi» shakliga ega. Kollektor yig'ilgandan so'ng, plastinalarning shu qismlari 1 va 3 po'lat shaybalar orasiga siqilgan bo'ladi.



14.6-rasm. Konus shaybali kollektor tuzilishi

21-mavzu. O'zgarmas tok generatorlari tavsiflari

O'zgarmas tok generatorining ishlash jarayonida yakor chulg'amida EYK E_a [(15.20)ga qarang]. Generatorga yuklanish ulanganda, yakor zanjirida tok hosil bo'ladi, generator chiqish klemmalarida kuchlanish paydo bo'ladi. Kirxgofning kuchlanishlar qonuniga asoslanib, yakor klemmasidagi kuchlanishni quyidagicha ifodalaymiz

$$U = E_a - I_a \sum r. \quad (17.1)$$

$$\text{bunda } r = r_a + r_{\kappa y u} + r_{\kappa . y} + r_c + r_{u y} \quad (17.2)$$

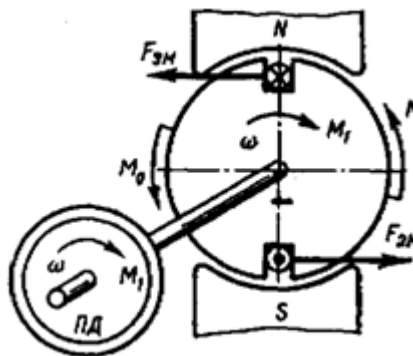
- yakor zanjirining barcha qarshiliklari: yakor chulg'ami r_a ; qo'shimcha qutb chulg'ami $r_{k\underline{y}u}$; kompensatsiya chulg'ami $r_{k,q}$; ketma-ket ulangan qo'zg'atish chulg'ami r_c ; shchotka o'tkinchi kontakti $r_{\underline{u}}$. Ifoda (17.2)da keltirilgan chulg'amlardan birortasi mashinada bo'lmasa, u holda shu qo'shiluvchi bo'lmaydi.

Generator yakori birlamchi motor yordamida aylantiriladi, u generator valida aylantiruvchi moment M_1 hosil qiladi. Agar generator yu.i. rejimida ishlasa ($I_a = 0$), u holda generator valini aylantirish uchun nisbatan kichik bo'lgan yu.i. momenti M_0 etarli bo'ladi. Bu generator ishlashida hosil bo'ladigan tormozlovchi momentlardan iborat: ishqalanuvi kuchlar momenti va yakordagi uyurma toklar momenti.

YUklangan generatorning ishlashida yakor chulg'ami o'tkazgichlarida tok hosil bo'ladi, u qo'zg'otuvchi chulg'am g'osil qilgan magnit maydon bilan ta'siri natijasida, yakorda elektromagnit moment M hosil qiladi [(15.24)ga qarang]. Generatorda bu moment birlamchi motorning aylantiruvchi momentiga qarama-qarshi yo'nalgan, ya'ni u tormozlovchi bo'ladi (15.1-rasm).

Ifoda (17.3) generator aylanish tezligi o'zgarmas ($n=const.$) bo'lganda birlamchi motorning aylantiruvchi momenti M_1 generatorning aks ta'sir etuvchi momentlari (yu.i. M_0 momenti va elektromagnit moment M) yig'indisi bilan muvozanatlashadi.

$$M_1 = M_0 + M_{\partial M}. \quad (17.3)$$



17.1-rasm. O'zgarmas tok generatorlaridagi momentlar

Ifoda (17.3) mashina yakori aylanish tezligi sho'garmas $n=const.$ Bo'lganda - generatorning momentlar tenglamasi deyiladi. Ifodaning (17.3) hadlarini burchak tezligi ω ga ko'paytirib, quvvatlar tenglamasini hosil qilamiz

$$P_1 = P_0 + P_{\partial M}, \quad (17.4)$$

bunda $P_1 = M_1 \omega$ - birlamchi motordan generatorga keltirilayotgan (mexanik) quvvat; $P_0 = M_0 \omega$ - yu.i. quvvati, ya'ni generator yuksiz ishlaganda motordan kelayotgan yuksiz ishlash (mexanik) quvvati (generator yuklanishi uzilgan); $P_{\partial M} = M_{\partial M} \omega$ - generatorning elektromagnit quvvati.

Ifoda (15.27)dan quyidagini hosil qilamiz

$$P_{\partial M} = E_a I_a,$$

yoki (17.1) e'tiborga olsak,

$$P_{\partial M} = U I_a + I_a^2 \sum r = P_2 + P_{\partial a}, \quad (17.5)$$

bunda R_2 - generatordagi foydali (elektr) quvvat, ya'ni generatorning yuklanishga berayotgan quvvati; R_{ea} -yakor zanjiridagi chulg'am qizishi va shchetka kontaktidagi quvvat isroflari.

Generator qo'zg'atish chulg'amidagi isrof $R_{e.k}$ e'tiborga olib, o'zgarmas tok generatori uchun quvvatlar tenglamasini yozamiz

$$P_1 = P_2 + P_0 + P_{\text{э.а}} + P_{\text{э.к}} \quad (17.6)$$

Demak, birlamchi motordan generatorga kelayotgan mexanik quvvat R_1 generatorda foydali elektr quvvat R_2 ga aylanib yuklanishga uzatilayapti va quvvat isroflarini qoplash ($P_0 + P_{\text{э.а}} + P_{\text{э.к}}$) uchun sarflanayapti.

Aksariyat, generatorlar yakori o'zgarmas tezlik bilan aylangani uchun, uning tavsiflari $n = \text{const.}$ bo'lganda ko'riladi.

Yuksiz ishlash tavsifi – yu.i. rejimida generator chiqish klemmlaridagi kuchlanish U_0 ning qo'zg'atish tokiga bog'liqligi:

$$U_0 = f(I_K), \text{ bunda } I_a = 0 \text{ va } n = \text{const.}$$

YUklanish tavifi – yuklanish bilan ishlayotganda ($I_a = \text{const.}$) generator chiqish klemmlaridagi kuchlanish U ning qo'zg'atish toki I_K ga bog'liqligi:

$$U = f(I_K), \text{ bunda } I_a \neq 0 \text{ va } n = \text{const.}$$

Tashqi tavsifi - generator chiqish klemmlaridagi kuchlanish U ning yuklanish toki I ga bog'liqligi:

$$U = f(I), \text{ bunda } r_{\text{pez}} = \text{const} \text{ va } n = \text{const.}$$

bunda r_{pez} – qo'zg'atish chulg'amidagi rostlovchi reostat qarshiligi.

Rostlovchi tavsif – qo'zg'atish toki I_R ning yuklanish toki I ga bog'liqligi:

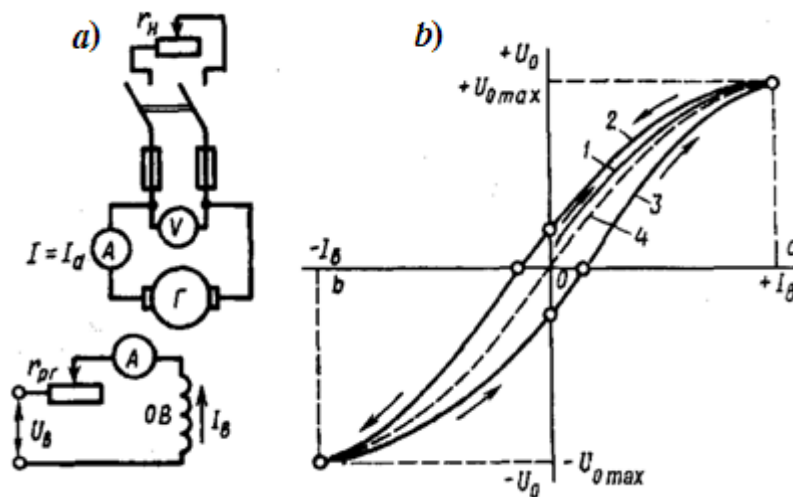
$$I_K = f(I), \text{ bunda } U = \text{const.} \text{ va } n = \text{const.}$$

Keltirilgan tavsiflarning ko'rinishlari o'zgarmas tok generatori xususiyatlarini aniqlab beradi.

17.2. Mustaqil qo'zg'atishli generator

Mustaqil qo'zg'atishli generator ulanish sxemasi 17.2,a-rasmda ko'rsatilgan. Qo'zg'atish chulg'ami zanjiriga ulangan reostat qo'zg'atish tokini va, demak, asosiy magnit maydon qiymatini boshqarish imkonini beradi. Qo'zg'atish chulg'ami o'zgarmas tok manbaidan energiya istemol qiladi: akkumulyator, to'g'rilagich yoki boshqa o'zgarmas tok generatori, bunday holda u qo'zg'otkich deb ataladi

Yuksiz ishlash tavsifi $U_0 = f(I_{K\check{y}3})$ ni olishda yuklanish uzilgan va generator yu.i. rejimida ishlaydi. Nominal aylanish tezligi o'rnatiladi va uni o'zgarmas holatda bo'lishi taminlanadi.



17.2-rasm. Mustaqil qo'zg'otishli generator prinsipial sxemasi (a) va yu.i tavsifi (b)

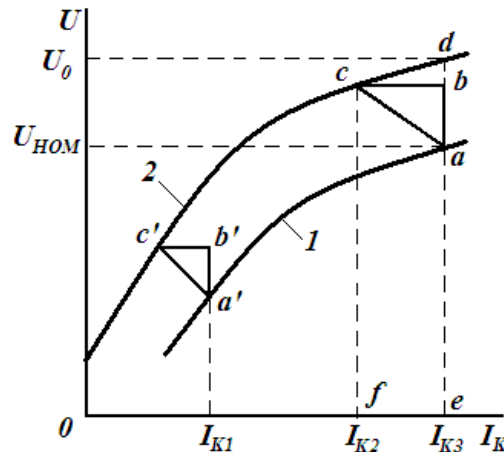
Asta qo'zg'atish toki $I_{K\check{Y}3}$ noldan $+I_{K\check{Y}3} = Oa$ qiymatida $U_0 = 1,15U_{HOM}$ gacha o'zgartiriladi. Egri chiziq 1 (17.2,b-rasm) qurish uchun $I_{K\check{Y}3}$ va U_0 larning birnecha (8-10 nuqta) yozib olinadi. Egri chiziq 1 ning boshlang'ich ordinatasi nolga teng emas, bu magnit tizimda kichik qoldiq magnit oqimi mavjudligi bilan tushuntiriladi. Qo'zg'atish tokini nolgacha kamaytirib va uning yo'nalishini o'zgartirib, asta absolyut qiymatini oshirib $-I_{K\check{Y}3} = Ob$ nuqtagacha boriladi, shu tariqa olingan egri chiziq 2 yu.i. tavsifining tushuvchi shoxobchasi deyiladi. Birinchi va uchinchi kvadrantlarda tushuvchi shoxobchasi 1 egri chiziqdan yuqori bo'ladi. So'ngra qo'zg'atish toki nolgacha o'zgartirilib, yo'nalishi xam o'zgartirilib, $+I_{K\check{Y}3} = Oa$ miqdorgacha oshiriladi va uni yuqorilashuvchi shoxobcha deyiladi (3 egri chiziq). Z egri chiziq boshqalaridan quyida bo'ladi. YU.i. tavsifining tushuvchi va yuqorilashuvchi shoxobchalari magnitlanish (gisterezis) sirtmog'i (petlya namagnichivaniya, gisterezisa) deyiladi. YU.i. tavsifida 2 va 3 egri chiziqlarning shrtacha qiymatini o'tkazib (4 egri chiziq) hisobiy yuksiz ishlash tavsifini olamiz.

YU.i. tavsifining to'g'ri chiziqli qismi magnit o'zakning to'yinmagan qismiga mos keladi. Qo'zg'atish tokini oshirishda davom etsak, mashinaning magnit o'zagi to'yina boshlaydi va tavsif egri chiziq xarakteriga ega bo'ladi. $U_0 = f(I_{K\check{Y}3})$ bog'lanish boshqa masshtabda mashinaning magnit tavsifini takrorlaydi va mashinaning magnitlanish xususiyatlari haqida fikr yuritish imkonini beradi.

Generatorning yuklanish tavsifi. Bu tavsif aylanish tezligi va yuklanish miqdorlari o'zgarmas (masalan, nominal) $I_a = const$ bo'lganda generator chiqish klemmlaridagi kuchlanish U ning qo'zg'atish toki I_K bog'liqligini ko'rsatadi. Ushbu shartlar bajarilganda generator chiqishidagi kuchlanish yakordagi EYKdan kichik (17.1), shu sababli yuklanish tavsifi 1 yu.i.tavsifidan 2 dan (17.3-rasm) quyiyoqda joylashadi. Agar nominal kuchlanish U_{HOM} ga mos kelgan a nuqtadan yuqoriga $ab = I_a \sum r$ kesmani qo'ysak va gorizontall kesma be ni yu.i. tavsifi bilan kesishgunga qadar qo'ysak, so'ngra a va s nuqtalar bilan tutashtirsak, u holda abs – tavsifiy uchburchakni hosil qilamiz.

Generator yu.i. rejimida ishlayotganda qo'zg'atish toki $I_{K1} = I_{K.HOM}$ bo'lganda chiqishdagi kuchlanish bo'lsin; yuklanish ulanganidan so'ng (qo'zg'atish toki o'zgarmas)

generator kuchlanishi $U_{HOM} = ae$ gacha pasayadi. Shunday qilib, *da* kesma qo'zg'atish toki $I_{K1} = I_{K.HOM}$ bo'lganda yuklanishning noldan nominal qiymatgacha o'zgargandagi kuchlanishning $\Delta U = U_0 - U_{HOM}$ pasayuvini ko'rsatadi. Bunda generatorning yakor klemmalarida kuchlanish o'zgarishi ikki sabab bilan sodir bo'ladi: yakor zanjirida kuchlanish pasayuvi va yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri.



17.3-rasm. Mustaqil qo'zg'otkichli generator yuklanish tavsifi

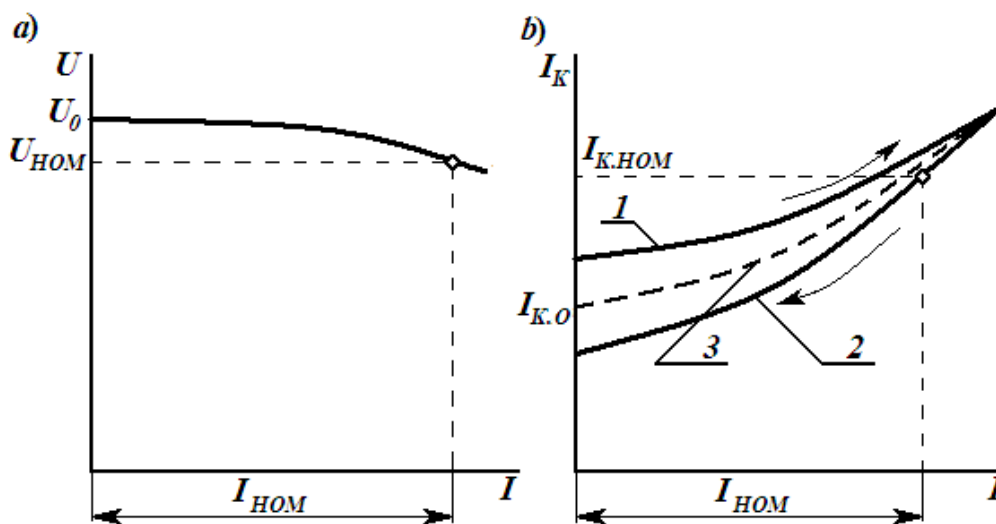
Tashqi tavsif. Bu tavsif generatorning chiqish klemmalaridagi kuchlanish U ning yuklanish toki I ga bo'lgan bog'lanishini aks ettiradi. Tashqi tavsifni qurish uchun qiymatlarni olishda generator yakorini nominal tezlikkacha $n = n_{HOM}$ aylantiriladi va uni nominal kuchlanish $U = U_{HOM}$ da nominal tok $I_a = I_{a.HOM}$ qiymatigacha yuklantiriladi. So'ngra, asta va ravon yuklanishni yu.i. rejimiga $I_a = 0$ cha kamaytiriladi, hamda o'lchov asboblari ko'rsatkichlari yozib olinadi. Tajriba davomida qo'zg'atish chulg'amining zanjiridagi qarshilik $r_K = const.$ va yakor aylanish tezligi $n = n_{HOM} = const.$ o'zgarmas qoldiriladi.

17.4,a-rasmda mumtaqil qo'zg'atishli generatorning tashqi tavsifi ko'rsatilgan. Undan ko'rinadiki, yuklanish toki I_a ortishi bilan generator chiqish klemmalaridagi kuchlanish U kamayadi; buni yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri va yakor zanjiridagi kuchlanishlar pasayuidan, deb tushunish zarur. Tashqi tavsifning abssissa o'qiga nishabligi [tashqi tavsifning bikrligi (jestkost vneshney xarakteristiki)] ni baholash uchun kuchlanishlar pasayuvi, deb nomlangan - generator yuklanishi tashlanishida kuchlanishning nominal o'zgarishi qabul qilingan

$$\Delta U_{HOM} = \frac{U_0 - U_{HOM}}{U_{HOM}} \cdot 100\%. \quad (17.9)$$

Aksariyat, mustaqil qo'zg'atishli generator uchun $\Delta U_{HOM} = 5 \div 10\%$.

Generatorning rostdash tavsifi. Tavsif $I_K = f(I_a)$, generator yakori aylanish tezligi o'zgarmas ($n = n_{HOM} = const.$) bo'lib, yuklanishi o'zgarganda yakor klemmalaridagi kuchlanishni o'zgarmas va nominal qoldirish uchun qo'zg'atish tokini qanday o'zgartirish zarurligini ko'rsatadi.



17.4-rasm. Mustaqil qo'zg'otkichli generatorning tashqi (a) va rostlovchi (b) tavsiflari

Generator yuklamasiz ishlaganda qo'zg'atish chulg'amidagi tok $I_{K,0}$ ning qiymatini shunday o'rnatiladiki, chiqish kuchlanishi $U = U_{HOM}$ nominal bo'lsin. So'ngra, generator yuklanishi asta oshiriladi, shunda kuchlanish pasayadi va qo'zg'atish toki o'zgartirilib, kuchlanish yana nominal qiymatiga etkaziladi. Shu tariqa, yuklanishning xar bir o'zgarishida, kuchlanish nominal holatda ushlab turiladi. Ushbu o'zgarishlar yozib olinib, egri chiziqli chizilganda, rostlash tavsifining yuqorilashuvchi shoxobcha hosil qilinadi (17.4,b-rasmda 1 egri chiziqli).

Asta sekin yuklanishni yu.i. rejimigacha kamaytirib va yuqorida keltirilganidek, qo'zg'atish tokini rostlab, kuchlanishni o'zgarimas (nominal) holatida ushlab, tavsifning pasayuvchi shoxobchasi (17.4,b-rasmda 2 egri chiziqli) hosil qilinadi.

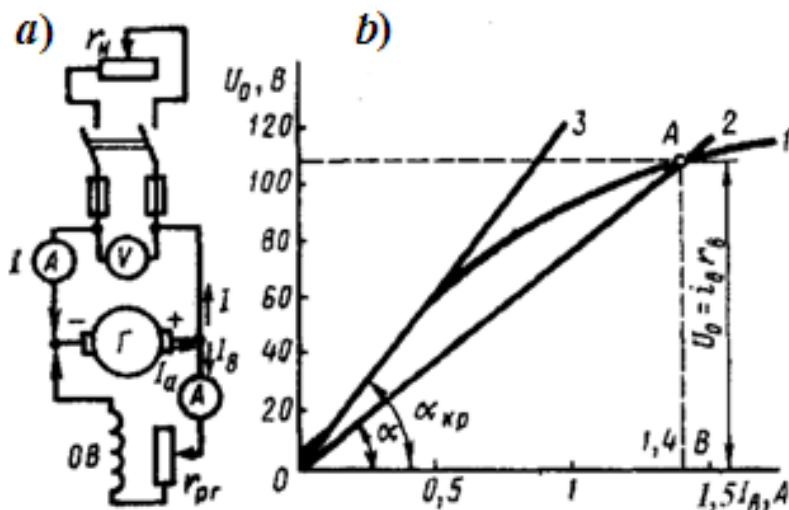
Rostlash tavsifining pasayuvchi shoxobchasi yuqorilashuvchi shoxobchasidan quyida bo'ladi. Bu hodisa qoldiq magnit maydonning ta'siri bilan tushuntiriladi. 1 va 2 egri chiziqlar o'rtisidan o'tkazilgan 3 egri chiziqli, generatorning amaldagi rostlash tavsifi deyiladi.

Mustaqil qo'zg'otkichli o'zgarimas tok generatorining asosiy kamchiligi - o'zgarimas tok manbi - qo'zg'otkichning zarurligidir. Biroq, bu generatorda kuchlanishning keng diapazonda boshqarilish imkoniyatlari, xamda tashqi tavsifining nisbatan bikrligi, uning afzalligidir.

17.3. Parallel qo'zg'atishli generator

O'zgarimas tok generatori o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipi shunga asoslanganki, avvaldan magnitlangan mashinaning magnit tizimi, uzoq vaqt kichik bo'lsada (to'la magnit oqimning 2-3%) qoldiq oqim F_{qold} saqlaydi. Yakor aylanganda qoldiq magnit oqim F_{qold} yakor chulg'amida EYK E_{qold} induktivlaydi. Uning ta'sirida qo'zg'atish chulg'amida kichik tok $I_{K,0}$ hosil bo'ladi. Agar qo'zg'atish chulg'ami MYUK $w_K I_{K,0}$ ham magnit oqim F_{qold} bilan bir xil yo'nalishda bo'lsa, u holda u bosh qutb magnit oqimini oshiradi. Bu, o'z navbatida, generator EYKni oshiradi, undan qo'zg'atish toki yana ortadi. Shunday jarayon

generator kuchlinishi qo'zg'atish zanjirida kuchlanishlar pasayuvi bilan muvoza-natlagungacha, ya'ni $I_K r_K = U_0$ bo'lgunga qadar davom etadi.



17.5-rasm. Parallel qo'zg'otishli generator sxemasi (a) va yu.i tavsifi (b)

17.5,a-rasmda parallel qo'zg'atishli generator elektr sxemasi va 17.5,b-rasmda generatorning yu.i. tavsifi (1 egri chiziq), hamda qo'zg'atish zanjirining volt-amper tavsifi $I_K r_K = f(I_K)$ (2 egri chiziq) keltirilgan.

A nuqtasi o'z-o'zini qo'zg'atish jarayonining tugaganiga mos keladi, chunki aynan shu A nuqtada $U_0 = I_K r_K$ bo'ladi.

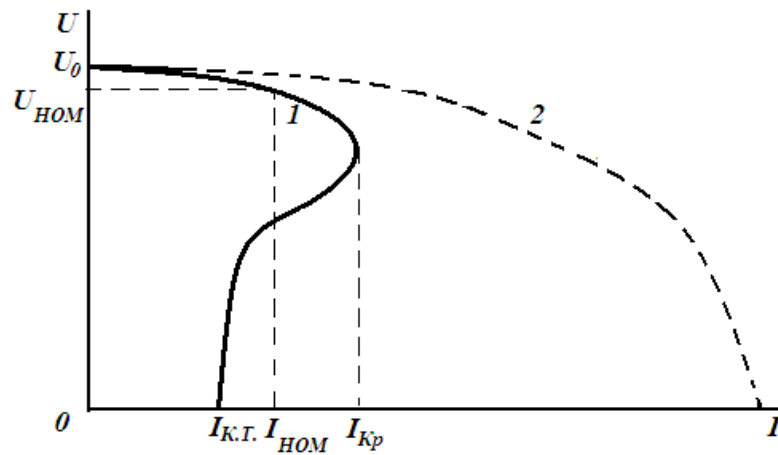
Generator qo'zg'atish jarayonining tahlili shuni ko'rsatadiki, o'zgarmas tok generatori o'z-o'zini qo'zg'atishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi zarur:

- a) mashina magnit tizimida qoldiq magnetizm mavjud bo'lishi;
- b) qo'zg'atish chulg'ami shunday ulanishi kerakki, unda qo'zg'atish chulg'aming MYUK bilan qoldiq magnit oqimi F_{qold} yo'nalishlari bir xil bo'lsin;
- d) qo'zg'atish zanjiri qarshiligi kritik qarshilikdan kichik bo'lsin;
- e) yakorning aylanish tezligi kritik tezlikdan katta bo'lishi.

Parallel qo'zg'atishli generatorning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni faqat bir yo'nalishda bo'lishi mumkiligi uchun, generatorning yu.i. tavsifi koordinata o'qining faqat bir kvadrantida bo'lishi mumkin.

Parallel qo'zg'atishli generatorning yuklanish va rostlash tavsiflari mustaqil qo'zg'otkichli generator tavsiflaridan deyarli farq qilmaydi.

Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining tashqi tavsifi (17.6-rasm, 1 egri chiziq) mutaqil qo'zg'otkichli (2 egri chiziq) generatorning tashqi tavsifiga nisbatan bikrligi kamroq. Bunga sabab, parallel qo'zg'atishli generatorlarda yuklanish ortishi bilan kuchlanishning pasa-yishining mustaqil qo'zg'at-kichli generatoridagi ikki sababga (yakor reaksiyasi va yakor zanjirida kuchlanishlar pasayuvi), uchinchi sabab qo'shiladi - yuqoridagi ikki sabab tufayli qo'zg'atish tokining kamayishi.



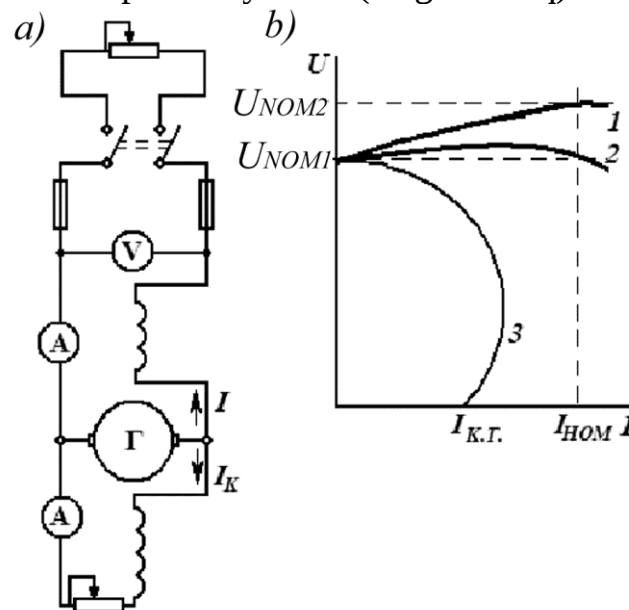
17.6-rasm. Parallel qo'zg'otishli generator tashqi tavsifi

17.4. Aralash qo'zg'atishli generator

Aralash qo'zg'atishli generator (17.7,a-rasm) parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari mavjud. Qo'zg'atish magnit oqimi, asosan parallel qo'zg'atish chulg'ami yordamida hosil qilinadi. Ketma-ket chulg'am, aksariyat parallel chulg'am bilan mos (chulg'amlar MYUKlari qo'shilishi uchun) ulanadi.

YU.i. rejimida generator faqat parallel qo'zg'atish chulg'amiga ega, chunki $I_a = 0$. YUklanish ulangandan so'ng ketma-ket chulg'amning MYUK paydo bo'ladi va magnit tizimni magnitlaydi, yakor reaksiyasi va yakordagi kuchlanishlar pasayuvini kompensatsiyalaydi.

Shu sababli tashqi tavsif bikrligi ortadi (17.8, b-rasm), ya'ni yuklanish ortishi bilan generator kuchlanishi o'zgarishsiz qoladi. Agar istemolchining klemmlarida (liniyaning oxirida) kuchlanish o'zgarishsiz qolishi talab etilsa, u holda ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami o'ramlari soni shunday oshiriladiki, bu chulg'am MYUK liniyadagi kuchlanishlar pasayuvini xam kompensatsiyalasini (1 egri chiziq).

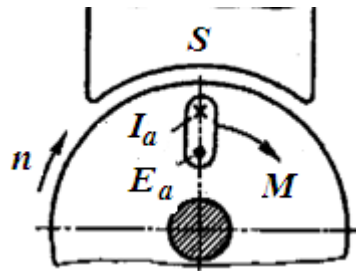


17.7-rasm. Aralash qo'zg'otishli generator ulanish sxemasi (a) va uning tashqi tavsiflari (b)

Qo'zg'atish chulg'amlari qarama-qarshi ulanganda, yuklanish ortishi bilan kuchlanish keskin pasayadi (3 egri chiziq). Bu ketma-ket qo'zg'atish chulg'aming MYUK parallel qo'zg'atish chulg'ami MYUK bilan qarama-qarshi yo'nalishda bo'lib, uni magnit-sizlashi bilan tushuntiriladi. Chulg'amlarni qarama-qarshi ulash maxsus belgilangan generatorlarda qo'llanilib, tashqi tavsifning keskin tushuvchi bo'lishi uchun qo'llaniladi.

22-mavzu. O'zgarmas tok motorlaridagi fizik jarayonlar. Motorni ishga tushirish. O'zgarmas tok mashinalari maxsus turlari.

O'zgarmas tok motori qaytarilish xususiyatiga ega, ya'ni u motor va generator rejimlarida ishlashi mumkin. Shu sababli, agar o'zgarmas tok mashinasini o'zgarmas tok manbaiga ulansa, u holda yakor va qo'zg'atish chulg'amlarida toklar oqadi. Yakor tokining qo'zg'atish magnit oqimi bilan o'zaro ta'siri natijasida yakorda elektromagnit momenti M hosil bo'ladi. Bu moment generatordagi kabi tormozlovchi emas, balki aylantiruvchi moment bo'ladi.



18.1-rasm. Motor yakorida teskari-EYK (E_a) yo'nalishi

Elektromagnit moment ta'sirida yakor aylana boshlaydi, ya'ni mashina motor rejimida ishlaydi, bunda tarmoqdan elektr energiya istemol qiladi va uni valdagi mexanik energiyaga aylantiradi. Motor ishlashi jarayonida, uning yakori magnit maydonda aylanadi. Natijada, yakor chulg'amida EYK E_a induktivlanadi, uning yo'nalishini "o'ng qo'l" qoidasi yordamida aniqlanadi. O'zining xususiyati bo'yicha motor EYKi generatoring yakor chulg'amida induktivlangan EYKdan farq qiladi. Lekin, motorda EYKning yo'nalishi yakor toki yo'nalishi I_a ga qarama-qarshi bo'ladi, shu sababli uni yakorning teskari ta'sir etuvchi EYKi (teskari-EYK) deyiladi (18.1-rasm).

O'zgarmas aylanish tezligi bilan ishlayotgan motor uchun kuchlanishlar (EYK) tenglamasi quyidagicha yoziladi

$$U = E_a + I_a \sum r. \quad (18.1)$$

(18.1) dan shu ma'lum bo'ladiki, tarmoqdan motorga keltirilgan kuchlanish teskari-EYK va yakor zanjiridagi kuchlanish pasayuvi bilan muvozanatlanadi. Ifoda (18.1) asosida yakor toki quyidagicha bo'ladi

$$I_a = \frac{U - E_a}{\sum r}. \quad (18.2)$$

Tenglama (18.2)ning ikki tomonini yakor tokiga ko'paytirib, yakor zanjiri uchun quvvat tenglamasini aniqlaymiz

$$UI_a = I_a^2 \sum r + E_a I_a, \quad (18.3)$$

bunda UI_a - yakor chulg'ami zanjiridagi quvvat; $I_a^2 \sum r$ - yakor chulg'ami zanjiridagi quvvat isroflari.

Ifoda $E_a I_a$ ning mohiyatini aniqlash uchun, quyidagi o'zgartirish kiritamiz

$$E_a I_a = \frac{pN}{60a} \Phi n I_a = \frac{pN}{60a} \Phi \frac{60\omega}{2\pi} I_a,$$

yoki
$$E_a I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a \omega.$$

Biroq, (15.24) ifodaga ko'ra

$$[pN/(2\pi a)] \Phi I_a = M,$$

u holda
$$E_a I_a = M\omega = P_{\text{ЭМ}}, \quad (18.4)$$

bunda $\omega = 2\pi n / 60$ - yakor aylanishining burchak tezligi; $P_{\text{ЭМ}}$ - motorning elektromagnit quvvati.

Demak, $E_a I_a$ ifoda motorning elektromagnit quvvatini aks etadi.

Ifoda (18.3) ni o'zgartirib, (18.4) ni e'tiborga olib quyidagini olamiz

$$UI_a = M\omega + I_a^2 \sum r.$$

Ushbu tenglamaning tahlili shuni ko'rsatidiki, motor validagi yuklanish ortishi bilan, ya'ni elektromagnit moment M ortishi bilan, yakor chulg'ami zanjiridagi quvvat UI_a , ya'ni motor kirishidagi quvvat ortadi. Biroq, kuchlanishning qiymatini o'zgarmas qilib ushlaganimiz ($U = \text{const.}$) tufayli, motor yuklanishining ortishi bilan yakor chulg'amidagi tok I_a ham ortadi.

O'zgarmas tok motorlari qo'zg'atish usullariga qarab, generatorlardagidek, o'zgarmas magnitli motorlar va elektromagnit qo'zg'atishli motorlarga ajratiladi. Elektromagnit qo'zg'atishli motorlar qo'zg'atish chulg'amlarining yakor chulg'ami bilan ulanishiga qarab parallel (shunt) qo'zg'atishli, ketma-ket qo'zg'atishli (series) va aralash qo'zg'atishli (kompaundli) motorlar turkumiga bo'linadilar.

Yakor EYKning analitik ifodasiga $E_a = C_e \Phi n$ ga ko'ra motor yakori aylanish tezligi (ay/min)

$$n = \frac{E_a}{C_e \Phi}.$$

EYKning qiymatini (18.1) ifodadan olib, n ga qo'ysak

$$n = \frac{U - I_a \sum r}{C_e \Phi},$$

ya'ni yakor aylanish tezligi kuchlanishga to'g'ri proporsional va magnit maydon qiymatiga teskari proporsional ekan. Bu fikrning fizik tushunchasi shunday tushuntiriladi: kuchlanishning ortishi yoki magnit oqimning kamayishi ($U - E_a$) ayirmaning ortishiga; o'z navbatida, bu tok I_a ning olib keladi [(18.2)ga qarang]. Buning natijasida miqdori

ortgan yakor toki I_a aylantiruvchi momentni oshiradi, agar shunda yuklanish (qarshilik) momenti o'zgarmay qolsa, yakor aylanish tezligi ortadi.

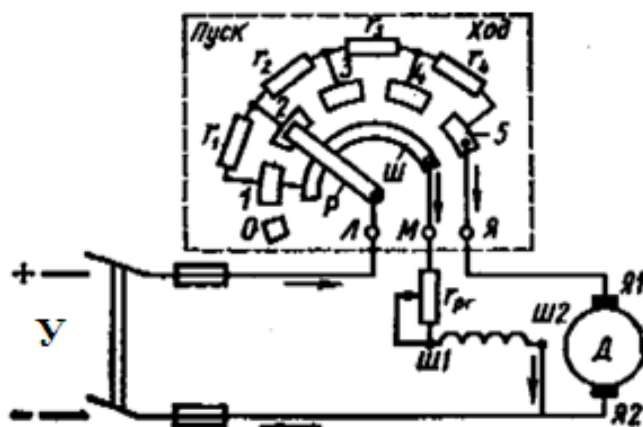
Ifoda (18.5) ga ko'ra, motor aylanish tezligini, yakor chulg'amiga keltirilayotgan kuchlanish U , asosiy magnit maydon F (qo'zg'atish toki I_K) yoki yakor zanjiri qarshiligini o'zgartirib boshqarish mumkin ekan.

18.2. Motorni ishga tushirish

Yakorning toki quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$I_a' = U / \sum r. \quad (18.6)$$

Aksariyat, qarshilik $\sum r$ ning qiymati kichik bo'ladi, shu sababli ishga tushirish tokining qiymati nominal tokdan 10-20 marta ortiq bo'ladi.



18.2-rasm. Ishga tushirish reostatini ulash sxemasi

Bunday katta ishga tushirish toki motor uchun xavfli hisoblanadi. Birinchidan, u mashina kollektorida aylanuvchi olov hosil qilishi mumkin, ikkinchidan, bunday katta tok motorda juda katta ishga tushirish momentini hosil qilib, aylanuvchi qismlar uchun katta zarb bilan ta'sir etib, mexanik emirilishga olib keladi. Nihoyat, bunday katta tok tarmoqda katta kuchlanishlar pasayuqini hosil qilib, boshqa istemolchilar ishiga zarar keltirishi mumkin. Shu sababli, motorni bevosita tarmoqqa ulab (reostatsiz) ishga tushirish, quvvati 0,7-1,0 kVt dan oshmagan motorlar uchun tavsiya etiladi. Bunday motorlarda, yakor chulg'ami qarshiligining katta ekanligi va kichik aylanuvchi massa bo'lgani uchun, ishga tushirish toki nominal tokdan 3-5 marta katta bo'ladi va motor uchun xavfi qolmaydi. Katta quvvatli motorlarda esa, ularni ishga tushirishda ishga tushirish tokini cheklash maqsadida ishga tushirish reostati (ITR) ishlatiladi (18.2-rasm).

Motor ishga tushirilishidan avval reostatning R richagi kontakt 0 ga qo'yiladi. So'ngra U ulagich (rubilnik) ulanadi, R richag 1 oraliq qarshilikka qo'yiladi va motor yakor zanjiri tarmoqqa ishga tushirish reostatining $r_{H.T.} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$ qarshiligi orqali ulanadi.

Shu onda R richag va SH shina orqali tarmoqqa qo'zg'atish chulg'ami ulanadi. Undagi tok richagning qanday holatda ekaniligidan qat'iy nazar, qo'zg'atish toki o'zgarmaydi, chunki SH shinaning qarshiligi juda kichik.

Ishga tushirish toki reostatning to'liq qarshiligiga ulangandan so'ng quyidagiga teng bo'ladi

$$I_{H.T.} = \frac{U - E_a}{\sum r + r_{H.T.}} \quad (18.7)$$

Yakor zanjirida tok $I_{H.T.}$ paydo bo'lishi bilan ishga tushirish momenti $M_{H.T.}$ hosil bo'ladi, uning ta'sirida yakor aylana boshlaydi. Yakor aylanish tezligi ortgan sari, unda teskari-EYK $E_a = C_e \Phi$ ortib boradi, u esa ishga tushirish tokini kamaytiradi.

Aylanish tezligi ortishi bilan, ishga tushirish reostatining R richagi 2, 3 va h.k. holatlarga o'tkaziladi va yuqoridagi jarayon qaytiriladi. Richag 5 holatga kelganda, motorni ishga tushirish jarayoni tugallanadi ($r = 0$). Ishga tushirish reostatining qarshiligi shunday tanlanadiki, eneg katta ishga tushirish toki nominal tok qiymatining 2-3 martasidan ortmasin.

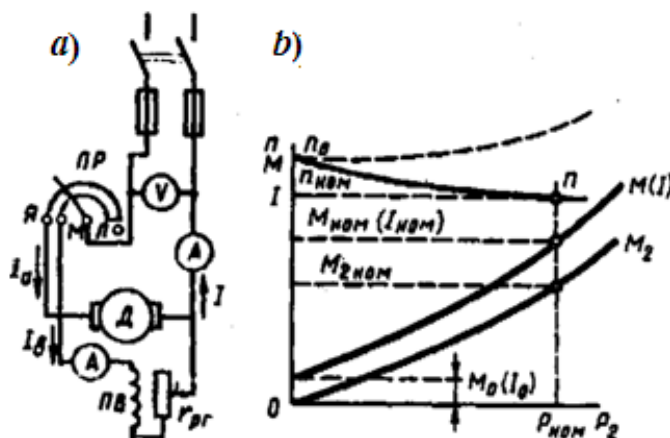
Motor aylantiruvchi elektromagnit momenti M magnit oqimi F ga proporsionaldir. Shu sababli parallel va aralash qo'zg'atishli motorlar ishga tushirish jarayonini osonlashtirish maqsadida, qo'zg'atish chulg'amidagi qarshilikni minimal o'rnatiladi ($r_{H.T.} = 0$).

Katta quvvatli motorlarni ishga tushirishda reostat usuli qo'llanilmaydi, chunki ishga tushirish reostati juda qo'pol, gabarit o'lchovlari, og'irligi katta va quvvat isroflari ham katta bo'ladi. Bunday vaziyatda kuchlanishni ravo oshirish usuli qo'l keladi.

18.3. Parallel qo'zg'atishli motorlar

Parallel qo'zg'atishli motorlarning ulanish sxemasi 18.3,a-rasmda keltirilgan. Unda qo'zg'atish chulg'ami (QCH)dagi tok yakor chulg'ami (YACH) tokiga bog'liq emas. QCH zanjiridagi reostat $r_{p.k.}$ qo'zg'atish toki I_K va asosiy magnit oqimni o'zgartirish uchun zarur.

Motoring ekspluatatsion xususiyatlarini uning ishchi tavsiflari aniqlab beradi. Ishchi tavsiflari deb, kuchlanish $U = const.$ va qo'zg'atish toki $I_K = const.$ o'zgarmas bo'lgandagi aylanish tezligi p , yakor toki I_a , foydali moment M_2 , aylantiruvchi moment M ning valdagi quvvati R_2 ga bog'liqligiga aytiladi (18.3,b-rasm).



18.3-rasm. Parallel qo'zg'atishli motor sxemasi (a) va ishchi tavsiflari (b)

Ifoda $n = f(P_2)$ - uni, aksariyat tezlik tavsifi deyiladi, tahlil qilish uchun (18.5) ifodani ko'raylik. Undan ko'rinadiki, kuchlanish o'zgarmas bo'lganda, unga ikki omil ta'sir

etadi: yakor zanjiridagi kuchlanish $I_a \sum r$ pasayuvi, hamda magnit F oqimi. YUklanish ortganda (18.5)ning surati kamayadi, bunda yakor reaksiyasi ta'sirida maxraj ham kamayadi. Aksariyat, yakor reaksiyasi ta'sirida magnit oqimning susayishi juda kichik va birinchi omil Ikkinchisiga nisbatan aylanish tezligiga kuchliroq ta'sir etadi. natijada, yuklanish R_2 ortishi bilan aylanish tezligi p kamayadi, grafik $n = f(P_2)$ abssissa o'qigi qaratilgan biroz qobiqlik bilan pasayuvchi xarakterga ega bo'ladi. Agar motorda yakor reaksiyasi ta'siri kuchli bo'lib, F oqim kamaysa, u holda yuklanish ortishi bilan aylanish tezligi ortib boradi (rasmda shtrix chiziq). Tezlik tavsifi $n = f(P_2)$ ning bunday o'zgarishi motor turg'un ishlash shartlarini bajarmagan bo'ladi: yuklanish ortishi bilan aylanish tezligi ortadi, u esa yuklanishning qo'shimcha ortishiga olib keladi va h.k., ya'ni motor yakorining aylanish tezligi cheksiz ortib ketadi. Motor tezlik tavsifining pasayuvchi bo'lishini ta'minlash uchun, ba'zi parallel qo'zg'atishli motorlarda "engil ketma-ket" (kam o'ramli) qo'zg'atish chulg'ami qabul qilinadi. uni stabilizatsiyalovchi chulg'am deyiladi. Bu chulg'am kiritilganda, uning MYUK parallel qo'zg'atish chulg'ami MYUK bilan mos yo'nalishda bo'lishi shart.

Motor nominal yuklanishdan yu.i. rejimiga o'tishidagi yakor aylanish tezligining o'zgarishi foizda ifodalanishi, aylanish tezligining nominal o'zgarishi deyiladi:

$$\Delta n = \frac{n_0 - n_{HOM}}{n_{HOM}} \cdot 100\%, \quad (18.8)$$

bunda p_0 – motorning yu.i. rejimidagi aylanish tezligi.

Aksariyat, parallel qo'zg'atishli motorlar uchun $\Delta n = 2 \div 8\%$, shu sababli parallel qo'zg'atishli o'zgarimas tok motorlarining tezlik tavsifi bikrili (jestkaya) deyiladi.

Foydali moment M_2 ning yuklanishga bog'liqligi quyidagi ifoda yordamida berilgan $M_2 = 9,55P_2 / n$. Agar $n = const$ bo'lsa, $M_2 = f(P_2)$ to'g'ri chiziq shaklida bo'ladi. Biroq, yuklanish ortishi bilan aylanish tezligi biroz kamayadi, shu sababli $M_2 = f(P_2)$ bog'lanish egri chiziqdan iborat bo'ladi.

Agar $n = const$ bo'lsa, motorning aylantiruvchi momenti $M = M_0 + M_2$. Motorning ishchi tavsiflari magnit oqim o'zgarimas bo'lishi uchun qo'zg'atish toki o'zgarimas $I_K = const$ degan shart bilan qurilgani sababli, $M_0 = const$. Shuning uchun $M = f(P_2)$ grafik xam $M_2 = f(P_2)$ ga parallel bo'ladi. Agar $\Phi = const$ ekanligini e'tiborga olsak, u holda $M_2 = f(P_2)$ grafik $I = f(P_2)$ ga o'xshash bo'ladi, chunki $M = C_M \Phi I_a$.

Mexanik tavsif $n = f(M)$ ning analitik ifodasini aniqlash uchun (18.5) ifodani o'zgartiramiz

$$n = \frac{U - I_a \sum r}{C_e \Phi} = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{I_a \sum r}{C_e \Phi}; \quad (18.9)$$

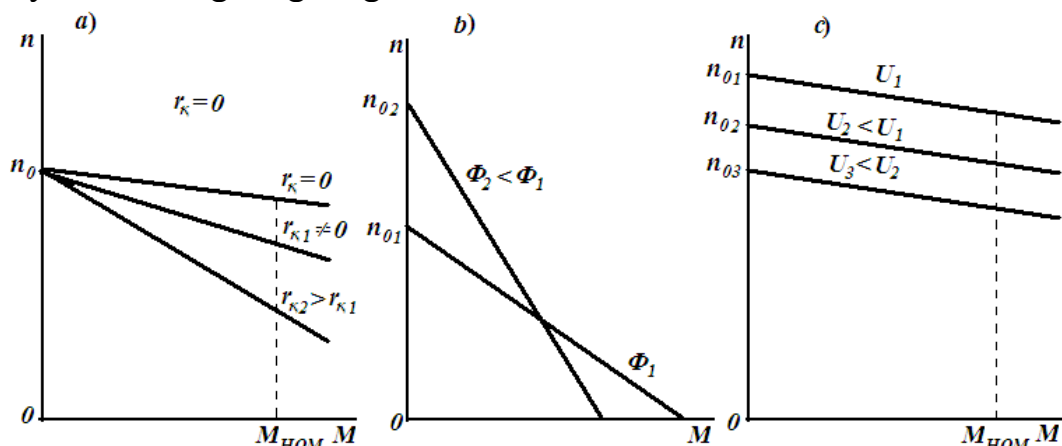
ushbu ifodaga (15.24)dan tokning qiymatini topib,

$$I_a = M / (C_M \Phi), \quad (18.10)$$

quyidagini olamiz

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{M \sum r}{C_e C_M \Phi^2} = n_0 - \Delta n, \quad (18.11)$$

bunda n_0 - yu.i. rejimidagi aylanish tezligi; Δn - motor valida yuklanish o'zgarishi sababli yakor aylanish tezligining o'zgarishi.



18.4.-rasm. Parallel qo'zg'atish motorining mexanik tavsiflari *a*- yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik ulangan; *b*- asosiy magnit maydon o'zgartirilganda; *d*-yakor zanjirida kuchlanish o'zgartirilganda

Agar yakor reaksiyasini e'tiborga olmasak, unda ($I_K = const.$ bo'lgani uchun) $\Phi = const$ qabul qilish mumkin. U holda parallel qo'zg'atishli motorning mexanik tavsifi abssissa o'qiga biroz nishabli bo'lgan to'g'ri chiziqni tashkil etadi (18.4,*a*-rasm).

Yakor zanjiriga ulangan qarshilik qanchalar katta bo'lsa, mexanik tavsifning nishabligi ham shunchalar katta bo'ladi. Yakor zanjirida qo'shimcha qarshiliksiz olingan mexanik tavsif tabiiy mexanik tavsif deyiladi (1 to'g'ri chiziq). Yakor zanjirida qo'shimcha qarshilik bilan olingan mexanik tavsif sun'iy mexanik tavsif deyiladi (2 va 3 to'g'ri chiziqlar).

Mexanik tavsifning ko'rinishi asosiy magnit maydon F qiymatiga ham bog'liq. Masalan, magnit oqim F kamayganda yakorning yu.i. aylanish tezligi p_0 ortadi, shu bilan birga, Δp ham ortadi, ya'ni (18.11) ifodaning ikkala tashkil etuvchilari ham o'zgaradi. Bu mexanik tavsifning nishabligini keskin orttiradi, ya'ni uning bikirligi kamayadi (18.4,*b*-rasm).

Yakor kuchlanishi U o'zgarganda yakor aylanish tezligi n_0 o'zgaradi, Δn o'zgarmasdan qoladi. Natijada, mexanik tavsifning bikirligi (agar yakor reaksiyasi ta'sirini e'tiborga olmasak) o'zgarmaydi (18.4,*s*-rasm), ya'ni tavsif bir-biriga parallel qolib, balandlikda siljiydi.

18.4. Parallel qo'zg'atishli motor aylanish tezligini boshqarish

Motorlarning aylanish tezligini boshqarish usullar baholanganda quyidagi ko'rsatkichlar taqqoslanadi:

- boshqarishning ravonligi;
- boshqarish diapazoni, eng katta aylanish tezligining eng eichik tezlikka nisbati;
- boshqarishning samaraliligi, boshqarish apparatlarining narxi va ulardagi elektr energiya isroflari.

Ifoda (18.5) dan shuni bilish mumkinki, parallel qo'zg'atishli motorning yakori aylanishi tezligini boshqarishga yakor zanjiridagi qarshilikni o'zgartirib, asosiy magnit oqimni o'zgartirib va yakor zanjiri kuchlanishini o'zgartirib erishish mumkin ekan.

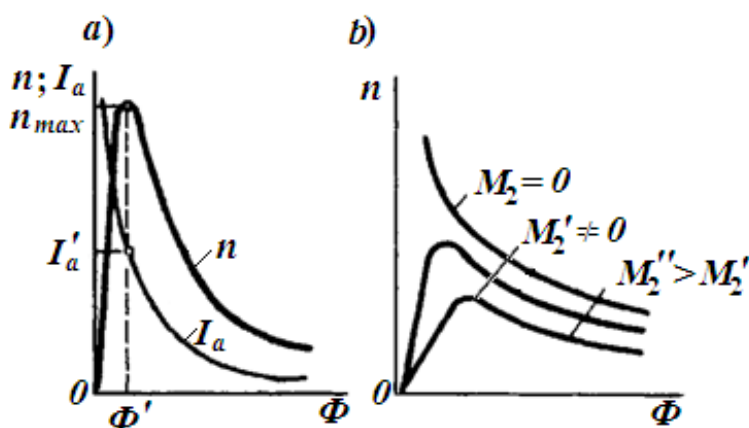
Yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik kiritish. Qo'shimcha qarshilik ($r_{qo'sh}$ reostat) yakor zanjiriga ishga tushirish reostati (ITR) kabi ulanadi. Bunda faqat shu farq bo'ladiki, reostat o'zidan uzoq muddat tok oqishiga hisoblangan bo'lishi zarur.

Yakor zanjiriga reostat $r_{qo'sh}$ ulanganda (18.5) ifoda quyidagicha o'zgaradi

$$n = \frac{U - I_a \sum (r + r_{\text{к\ddot{y}ш}})}{C_e \Phi} = n_0 - \Delta n, \quad (18.12)$$

bunda $n = \frac{U}{C_e \Phi}$ - yu.i. rejimidagi aylanish tezligi; $\Delta n = \frac{I_a (\sum r + r_{\text{к\ddot{y}ш}})}{C_e \Phi}$ - yakor zanjiridagi kuchlanishlar pasayuvi natijasida aylanish tezligi o'zgarishi.

Qo'shimcha qarshilik $r_{qo'sh}$ ortishi bilan Δn ortadi va aylanish tezligini kamaytiradi. Bog'lanish $n = f(r_{\text{к\ddot{y}ш}})$ parallel qo'zg'atishli motor mexanik tavsifini ham tasvirlaydi (18.4,a-rasm): yakor zanjiridagi qarshilik $r_{qo'sh}$ ortishi bilan mexanik tavsifning nishabligi ortadi, aylanish tezligi esa, valdagi berilgan (o'zgarmas) yuklanishda ($M=M_{\text{NOM}}$), kamayadi. Ushbu boshqarish usuli aylanish tezligini katta diapazonda ravon boshqarish (faqat aylanish tezligini nominal qaymatidan pastga) imkonini beradi. Biroq u boshqaruvchi reostatda katta quvvat isroflari ($I_a^2 r$) bo'lishi bilan samarali emas. Motorning quvvati oo'gan sari, isroflar $I_a^2 r$ muttasil ortib boradi.



18.5-rasm. Parallel qo'zg'atishli motor boshqarish tavsifi

Asosiy magnit oqimni o'zgartirish. Parallel qo'zg'atishli motorni ushbu usulda boshqarish, qo'zg'atish chulg'amidagi qo'shimcha reostat $R_{Q.Q}$ qarshiligini o'zgartirib amalga oshiriladi. Masalan, reostat qarshiligi kamayganda qo'zg'otish magnit oqimi ortadi va aylanish tezligi kamayadi (18.5). Qarshilik $R_{Q.Q}$ qiymati ortganda magnit oqim kamayadi, aylanish tezligi ortadi. Aylanish tezligining qo'zg'otish tokiga bo'lgan bog'liqligi $U = const.$ va $I_a = const.$ bo'lganda motorning boshqarish tavsifi $n = f(I_K)$ bilan ifodalanadi.

Ifoda (18.5) dan ma'lumki, magnit oqimi F kamayishi bilan aylanish tezligi p giperbolik qonuniyat bilan ortadi (18.5,a-rasm). Shu bilan birga, F ning kamayishi yakor tokining $I_a = M / (C_M \Phi)$ ortishiga olib keladi. Agar magnit oqim $\Phi = \Phi'$ bo'lganda yakor toki $I_a' = U / (2 \sum r)$, ya'ni yakor zanjiridagi kuchlanish pasayuvi, yakorga keltirilgan kuchlanishning ($I_a' \sum r = U / 2$) yarmiga teng bo'ladi. Bunday vaziyatda aylanish tezligi maksimal n_{max} qiymatiga erishadi. Magnit oqimning kamiyligi davom

etaversa ($\Phi < \Phi'$), yakor aylanish tezligi kamayib boshlaydi, chunki tok I_a ning keskin ortishi natijasida (18.9) ifodaning ikkinchi tashkil etuvchisi birinchisiga nisbatan tezroq ortadi.

Motor valida kichik yuklanish momenti bo'lgan-da yakorning maksimal aylanish tezligi $n_{\max}$ nominal tezlik n_{HOM} dan birnecha marta katta bo'ladi va motorning mexanik chidamliligi nuqtai nazar-dan bunga yo'l qo'yib bo'lmaydi, ya'ni motor yakori sochilib ketishi mumkin. Bu vaziyatni e'tibor olib, reostat qarshiligi $R_{Q.Q}$ shunday tanlanishi kerakki, uni to'liq kiritilganda aylanish tezligi joiz miqdoridan katta bo'lmasin.

Masalan, 2P turdagi motorlarda joiz aylanish tezligi nominal aylanish tezligidan 2-3 martadan ortmasligi zarur. Yana bir xavf shundaki, e'tiborni qo'zg'otish zanjiri kontaktlari ishonchliligiga qaratish zarur, aks holda, bu kontaktlarning behosdan uzilishi natijasida, qo'zg'otish chulg'ami toki nolga teng bo'lib, magnit zanjirda magnit oqim qoldiq magnetizm oqimigacha kamayadi, unda aylanish tezligi xavfli miqdorgacha etishi mumkin.

Boshqarish tavsifining shakli $n = f(\Phi)$ motorning validagi yuklanish momenti M_2 qiymatiga bog'liq: M_2 ortishi bilan maksimal aylanish tezligi $n_{\max}$ kamayadi (18.5,b-rasm).

Ushbu motorni boshqarish usulining kamchiligi shundaki, magnit oqim F o'zgarishi bilan mexanik tavsifning nishabligi o'zgaradi.

Ko'rilgan boshqarish usuli sodda va iqtisodiy samaralidir, chunki parallel qo'zg'otishli motorlarda qo'zg'otish toki yakor tokining 1-7 foizini tashkil etadi, ya'ni $I_K = (0,01 \div 0,07)I_a$, shuning uchun boshqaruvchi reostatdagi quvvat isrofi ($I_K^2 r_{\text{кыш}}$) juda kichik.

Yakor zanjirida kuchlanishni o'zgartirish. Yakor aylanish tezligini yakor kuchlanishi yordamida boshqarish uchun qo'zg'otish chulg'ami magnit oqimi yoki toki o'zgarmas ($\Phi = \text{const}$ yoki $I_K = \text{const}$), ya'ni mustaqil qo'zg'otish – yakor chulg'ami bilan qo'zg'atish chulg'ami alohida manbalardan ta'minishi zarur.

YU.i. rejimida aylanish tezligi p_0 kuchlanishga proporsional, ammo Δn kuchlanishga bog'liq emas [(18.11) ga qarang], shuning uchun kuchlanish o'zgarganda mexanik tavsif abssissa o'qiga nisbatan nishablik burchagini o'zgartirmaydi, faqat bir-biriga nisbatan balandligini o'zgartiradi (18.4,s-rasm). Ushbu usulni amalda qo'llash uchun yakor zanjirini kuchlanishi boshqariladigan o'zgarmas tok manbaiga ulash zarur.

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETINING QO‘QON FILIALI**

RO‘YXATGA OLINDI:

№ _____

“ ____ ” _____ 2024 yil

“TASDIQLAYMAN”

Toshkent davlat texnika
universitetining Qo‘qon filiali
O‘IB direktor o‘rinbosari

“ ____ ” _____ 2024 yil



“Elektr texnologiyalari”
kafedra

“ELEKTR MASHINALARI”
fanidan

Amaliy mashg‘ulotlari uchun

Ushbu uslubiy qo‘llanma 60710700-Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (elektr mashinasozlik) yo‘nalishi talabalari uchun

USLUBIY QO‘LLANMA

QO‘QON–2024

Ushbu uslubiy ko'rsatmalar 60710700 – Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (elektr mashinasozlik), yo'nalishi talabalari uchun «Elektr mashinalari» fanidan amaliy mashg'ulot ishlarini bajarishda foydalanishga mo'ljallangan bo'lib, undan «Elektr mashinalari» fanini o'qiydigan boshqa ixtisoslik talabalari ham foydalanishlari mumkin.

Fanning o'quv-uslubiy majmuasi O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligida № _____ raqam bilan 20__ yil «__» _____da ro'yxatga olingan namunaviy o'quv dasturi asosida tuzilgan.

Tuzuvchi: **Usmonov I** - TDTU Qo'qon filiali dotsenti

Taqrizchi: **Butayev T** - TDTU Qo'qon filiali dotsenti

Ushbu uslubiy ko'rsatma “Elektr texnologiyalari” kafedrasining 2024 yil “__” _____dagi __-sonli yig'ilishida ko'rib chiqilgan va fakultet kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan.

Kafedra mudiri: _____ **G.Urozaliyev**

Uslubiy ko'rsatma “Energetika” fakulteti kengashida muhokama qilingan va filial o'quv-uslubiy kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan. (2024 yil “__” _____dagi __-sonli bayonnoma).

Fakultet dekani: _____ **I.Usmonov**

Uslubiy ko'rsatma filialning o'quv- uslubiy kengashida ko'rib chiqildi va foydalanishga tavsiya etildi. (2024 yil “__” _____dagi __- sonli majlis bayonnomasi).

O'quv uslubiy bo'lim boshlig'i: _____ **M.Mansurov**

I. Transformatorlarga oid amaliy mashg'ulotlar yechish namunalari

1– Amaliy mashg'ulot. Transformator zanjirining parametrlarini aniqlash

Berilgan liniyaviy kuchlanish $U_A=220$ V. Qarshiliklar: $R_A=16$ Ω , $R_B=4$ Ω , $R_C=12$ Ω , $x_A=6$ Ω , $x_B=10$ Ω , $x_C=12$ Ω . Fazaviy va liniyaviy toklar, nol simidagi tok, ayrim fazalarning va butun zanjirning aktiv va reaktiv quvvatlari aniqlansin.

Amaliy mashg'ulotning yechilishi:

1. Ulanish sxemasi “yulduz” uchun fazaviy kuchlanishni aniqlash:

$$U_f = \frac{U_A}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}$$

1. Fazalarning to'la qarshiliklarini aniqlash:

$$Z_A = \sqrt{r_A^2 + x_A^2} = \sqrt{16^2 + 6^2} = 17,088 \text{ Om}$$

$$Z_B = \sqrt{r_B^2 + x_B^2} = \sqrt{4^2 + 10^2} = 10,77 \text{ Om}$$

$$Z_C = \sqrt{r_C^2 + x_C^2} = \sqrt{8^2 + 12^2} = 14,422 \text{ Om}$$

2. Quvvat koeffitsientlarini aniqlash

$$\cos\varphi_A = \frac{R_A}{Z_A} = \frac{16}{17,088} = 0,936$$

$$\cos\varphi_B = \frac{R_B}{Z_B} = \frac{4}{10,77} = 0,371$$

$$\cos\varphi_C = \frac{R_C}{Z_C} = \frac{8}{14,422} = 0,555$$

$$\sin\varphi_A = \sqrt{1 - 0,936^2} = 0,351$$

$$\sin\varphi_B = \sqrt{1 - 0,371^2} = 0,928$$

$$\sin\varphi_C = \sqrt{1 - 0,555^2} = 0,832$$

3. Fazaviy toklarni aniqlash:

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A} = \frac{127}{17,088} = 7,433 \text{ A}$$

$$I_B = \frac{U_B}{Z_B} = \frac{127}{10,77} = 11,79 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{U_C}{Z_C} = \frac{127}{14,422} = 8,807 \text{ A}$$

“Yulduz” usulida ulashda liniyaviy toklar fazaviy toklarga teng bo'ladi, ya'ni:

$$I_N = I_f$$

4. Fazalarning aktiv quvvatlari:

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A = 127 \cdot 7,433 \cdot 0,936 = 884,07 \\ 0,371 = 556,35 \text{ W}$$

$$P_B = U_B I_B \cos \varphi_B = 127 \cdot 11,794 \cdot$$

$$P_C = U_C I_C \cos \varphi_C = 127 \cdot 8,807 \cdot 0,555 = 620,55 \text{ W}$$

5. Fazalarning reaktiv quvvatlari:

$$Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A = 127 \cdot 7,433 \cdot 0,351 = 331,526 \text{ VAr}$$

$$Q_B = U_B I_B \sin \varphi_B = 127 \cdot 11,794 \cdot 0,928 = 1390,886 \text{ VAr}$$

$$Q_C = U_C I_C \sin \varphi_C = 127 \cdot 8,807 \cdot 0,832 = 930,82 \text{ VAr}$$

6. Uch fazali zanjirning aktiv va reaktiv quvvatlari:

$$P_{3f} = P_A + P_B + P_C = 884,07 + 556,35 + 620,55 = 2060,97 \text{ W}$$

$$Q_{3f} = Q_A + Q_B + Q_C = 331,526 + 1390,886 + 930,82 = 2653,24 \text{ VAr}$$

7. Uch fazali tokning to'la quvvati:

$$S_{3f} = \sqrt{P_{3f}^2 + Q_{3f}^2} = \sqrt{2060,97^2 + 2653,24^2} = 3359,65 \text{ VA}$$

8. Uch fazali tokning quvvat koeffitsienti:

$$\cos \varphi_{3f} = \frac{P_{3f}}{S_{3f}} = \frac{2060,97}{3359,65} = 0,613$$

2– Amaliy mashg'ulot. Uch fazali moyli transformatorning qisqa tutashuv uchburchagini qurish

Uch fazali moyli transformatorning texnik qiymatlari 1.1 –jadvalda berilgan: nominal to'la quvvat $S_N=100 \text{ kVA}$, birlamchi $U_{1N}=10 \text{ kV}$ va ikkilamchi $U_{2N}=6,5 \text{ kV}$ chulg'am nominal kuchlanishlari, qisqa tutashuv quvvati $P_{q.N}=2270 \text{ Vt}$, qisqa tutashuv kuchlanishi $u_q=4,7 \%$, yuklamasiz toki $i_0=2,6\%$, yuklamasiz quvvati $P_{0N}=365 \text{ Vt}$. Ulanish sxemasi Y/Y bo'lgan transformatorning muhim parametrlarini aniqlab, qisqa tutashuv uchburchagini qurish kerak.

TM-100/10 tipidagi transformatorning yechimi:

1. Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{1q} = (u_q (\%) / 100) \cdot U_{1N} \cdot 10^3 = 10^{-2} \cdot 5,5 \cdot 10 \cdot 10^3 = 550 \text{ V}$$

2. Qisqa tutashuv toki ulanish sxemasi Y/Y bo'lgan chulg'am uchun

$$I_{1q} = I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = 630 \cdot 10^3 / (1,73 \cdot 10 \cdot 10^3) = 36,4 \text{ A}$$

3. Qisqa tutashuv rejimida transformatorning quvvat koeffitsienti

$$\cos \varphi_q = \frac{P_{qN}}{\sqrt{3} U_{1q} I_{1q}} = 7600 / (1,73 \cdot 550 \cdot 36,4) = 0,22$$

qisqa tutashuvda kuchlanish U_q va I_{1q} tok orasidagi burchak $\varphi_q=77^\circ$;
 $\sin \varphi_q=0,97$

4. Qisqa tutashuvda transformatorning to'la qarshiligi ulanish sxemasi Y/Y bo'lgan chulg'am uchun

$$z_q = U_{1q} / (\sqrt{3} I_{1q}) = 550 / (1,73 \cdot 36,4) = 8,7 \, \Omega$$

5. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi

$$r_q = z_q \cos \varphi_q = 8,7 \cdot 0,22 = 1,9 \, \Omega$$

6. Qisqa tutashuv qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi

$$x_q = z_q \sin \varphi_q = 8,7 \cdot 0,97 = 8,44 \, \Omega$$

7. Qisqa tutashuv uchburchagining tomonlari

$$U_q = I_{1q} z_q = 36,4 \cdot 8,7 = 317 \, \text{V}$$

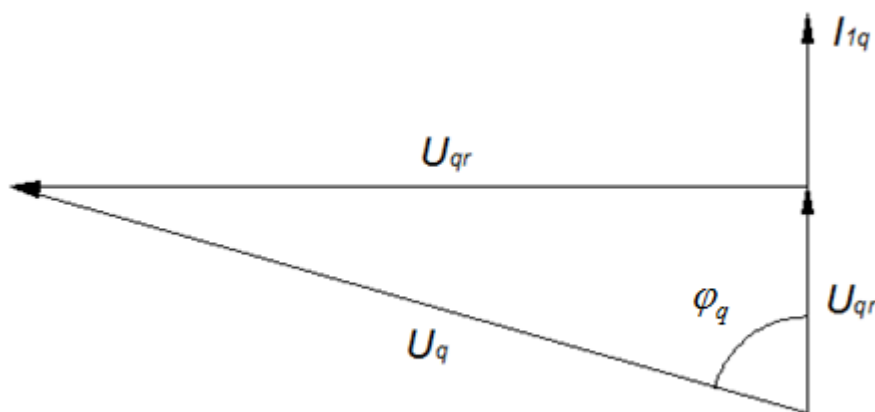
$$U_{q,a} = I_{1q} r_q = 36,4 \cdot 1,9 = 69 \, \text{V}$$

$$U_{q,r} = I_{1q} x_q = 36,4 \cdot 8,44 = 307 \, \text{V}$$

Qisqa tutashuv toki I_q vektorini chizamiz. Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi I_{1q} vektori bo'yicha chiziladi. Qisqa tutashuv kuchlanishining reaktiv tashkil etuvchisi I_q tok vektoriga perpendikulyar qilib o'tkaziladi. Kuchlanishi aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarining yig'indisi U_q qisqa tutashuv kuchlanishni beradi. I_{1q} toki U_q kuchlanishdan 77° ga orqada bo'ladi.

8. Kuchlanishning masshtabini tanlaymiz $m_v = 5 \, \text{V/mm}$, bu yerda vektorlarning uzunligi (qisqa tutashuv uchburchagining tomonlari) bo'yicha qisqa tutashuv uchburchagi quriladi (1.2-rasm).

$$U_q = 317/5 = 63 \, \text{mm}; \quad U_{qa} = 69/5 = 14 \, \text{mm}; \quad U_{qr} = 307/5 = 61 \, \text{mm}.$$



1.2-rasm. TM-630/10 tipidagi transformatorning qisqa tutashuv uchburchagi

3 – Amaliy mashg'ulot. Uch fazali transformatorni ΔU_N , $\eta = f(\beta)$ va $U_2 = f(\beta)$ bog'liqlik grafiklarini qurish

Uch fazali transformator quyidagi ko'rsatilgan parametrlarga ega: nominal quvvat $S_N = 100 \, \text{kVA}$, birlamchi $U_{1N} = 0,5 \, \text{kV}$ va ikkilamchi $U_{2N} = 0,23 \, \text{kV}$ chulg'amlarning liniyaviy kuchlanishlari, qisqa tutashuv kuchlanishi $u_q = 5,5\%$, yuklamasiz toki $i_0 = 6,5\%$, yuklamasizdagi quvvat isroflari $P_{0N} = 0,65 \, \text{Vt}$ va qisqa tutashuv quvvat isroflari $P_{q,N} = 2,0 \, \text{kVt}$. Transformatorning chulg'amlari Y/Y sxemaga ulangan.

Quyidagilarni aniqlash kerak:

T-simon almashtirish sxemasining parametrlari (ularni simmetrik deb hisoblaymiz $r_1=r'_2$ va $x_1=x'_2$); ikkilamchi chulg'am qarshiligining haqiqiy (real) ko'rsatkichlarini; transformator to'la quvvatining $0,25S_N$; $0,5S_N$; $0,75S_N$ va S_N qiymatlariga mos keladigan FIK η kattaliklarini quvvat koeffitsientining $\cos\varphi_2=0,8$ (aktiv-induktiv xarakterdagi yuklama) va $\cos\varphi_2=1$ (aktiv xarakterdagi yuklama) uchun aniqlash hamda kuchlanishning nominal o'zgarishi ΔU_N , $\eta=f(\beta)$ va $U_2=f(\beta)$ bog'liqlik grafiklarini qurish kerak.

1. Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{1q}=10^{-2}u_q U_{1N}=10^{-2}\cdot 5,5\cdot 500=27,5 \text{ V}$$

2. Yulduz ulangan sxema uchun qisqa tutashuv toki va nominal toki bir-biriga teng

$$I_{1q}=I_{1N}=S_N/(\sqrt{3} U_{1N})=100\cdot 10^3/(1,73\cdot 0,5\cdot 10^3)=115,6 \text{ A}$$

3. Qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koeffitsienti

$$\cos\varphi_q=P_q/(\sqrt{3} U_{1q} I_{1q})=2000/(1,73\cdot 27,5\cdot 115,6)=0,36$$

$$\varphi_q=69^\circ; \sin\varphi_q=0,93.$$

4. Qisqa tutashuv rejimida transformatorning to'la qarshiligi

$$z_q=U_{1q}/(\sqrt{3} I_{1q})=27,5/(\sqrt{3}\cdot 115,6)=0,137 \Omega$$

5. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi

$$r_q=z_q \cos\varphi_q=0,137\cdot 0,36=0,05 \Omega$$

6. Qisqa tutashuv qarshiligining induktiv tashkil etuvchisi

$$x_q=z_q \sin\varphi_q=0,137\cdot 0,93=0,13 \Omega$$

7. Transformatorning T-simon almashtirish sxemasining aktiv va induktiv qarshiliklari

$$r_1=r'_2=r_q/2=0,05/2=0,025 \Omega$$

$$x_1=x'_2=x_q/2=0,13/2=0,065 \Omega$$

8. Transformatorning ikkilamchi chulg'ami qarshiliklarining haqiqiy qiymatlari

$$r_2=r'_2/(U_{1f}/U_{2f})^2=0,025/(500/230)^2=0,005 \Omega.$$

$$x_2=x'_2/(U_{1f}/U_{2f})^2=0,065/(500/230)^2=0,014 \Omega.$$

9. Yuklamasiz toki, A

$$I_{0N}=10^{-2}i_0 I_{1N}=10^{-2}\cdot 6,5\cdot 115,6=7,5 \text{ A}.$$

1.1-jadval

Variant №	Transformatorning tipi	Nominal quvvati	Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning nominal kuchlanishlar		Chulg'amlarining ulanish sxemasi va guruhi	Yuklamasiz isroflari $P_{0N(N)}$ kW	Qisqa tutashuv isroflari P_{qN} kW	Qisqa tutashuv kuchlanishi $u_q\%$	Yuklamasiz toki $i_0\%$
		S_N kW	U_{1N} kV	U_{2N} kV					
1.	TM 100/10	100	10	0,4	Y/Y _N -0	1970	330	4,5	2,6
2.	TM 250/10	250	10	0,4	Y/Y _N -0	31700	740	4,5	2,3
3.	TM 400/6	400	6	0,4	Y/Y _N -0	5500	1310	4,5	2,1
4.	TM 630/10	630	10	0,69	Δ / Y _N -11	8500	1680	5,5	2,0
5.	TM 1000/35	1000	35	3,15	Y/ Δ -11	11600	2000	6,5	1,4
6.	TM 1600/35	1600	35	6,3	Y/ Δ -11	16500	2750	6,5	1,3
7.	TM 2500/35	2500	35	3,15	Y/ Δ -11	23500	3900	6,5	0,6
8.	TM 1600/35	1600	35	10,5	Y/Y _N -0	16500	2750	6,5	1,3
9.	TM 1000/35	1000	35	0,4	Y/ Δ -11	12200	2000	6,5	1,4
10.	TM 1600/35	1600	35	6,3	Y/ Δ -11	18000	2750	6,5	1,3
11.	TM 2500/35	2500	35	6,3	Y/ Δ -11	22500	4100	6,5	1,0
12.	TM 4000/10	4000	10	0,4	Y/ Y _N -0	33500	5200	7,5	0,9
13.	TM 6300/10	6300	10	6,3	Y/ Y _N -0	46500	7400	7,5	0,8
14.	TM 630/10	630	10	0,4	Y/ Y _N -0	7600	1310	5,5	2,0
15.	TM 630/35	630	35	0,4	Δ / Y _N -11	7600	1600	6,5	2
16.	TM 160/10	160	10	0,4	Y/ Δ -11	2650	510	4,5	2,4
17.	TM 160/10	160	10	6,3	Y/ Δ -11	3100	510	4,5	2,4
18.	TM 4000/35	4000	35	3,15	Y/ Δ -11	33500	5300	7,5	0,9
19.	TM 6300/35	6300	35	3,15	Y/ Y _N -0	46500	7600	7,5	0,8
20.	TM 4000/10	4000	10	3,15	Y/ Y _N -0	33500	5200	7,5	0,9
21.	TM 63/10	63	10	0,4	Y/ Y _N -0	1280	240	4,5	2,8

22.	TM 400/10	400	10	0,4	Y/Y _N -0	5500	950	4,5	2,1
23.	TM 400/35	400	35	0,69	Δ/Y _N -11	5900	1200	6,5	2,1
24.	TM 1600/10	1600	35	0,69	Y/Y _N -0	18000	2750	6,5	1,3
25.	TM 2500/35	2500	35	4,25	Y/Δ-11	23500	2700	5,3	0,9
26.	TM 1600/35	1600	35	10,5	Y/Y _N -0	16400	2780	5,5	1,5
27.	TM 1000/35	1000	35	0,4	Y/Δ-11	12500	2020	6,3	1,6
28.	TM 6300/10	6300	10	6,3	Y/ Y _N -0	46900	7600	6,5	0,9
29.	TM 630/10	630	10	0,4	Y/ Y _N -0	7650	1350	5,3	2,2
30.	TM 630/35	630	35	0,4	Δ/ Y _N -11	7650	1650	6,3	2,1

10. Yuklamasiz rejimidagi quvvat koeffitsienti

$$\cos\varphi_0 = P_{0N} / (\sqrt{3} I_{0N} U_{1N}) = 650 / (1,73 \cdot 7,5 \cdot 500) = 0,1$$

$$\sin\varphi_0 = 0,995.$$

11. Transformatorning T-simon almashtirish sxemasidagi magnitlovchi shoxobchani to'la qarshiligi

$$Z_m = U_{1N} / (\sqrt{3} I_{0N}) = 500 / (1,73 \cdot 7,5) = 38,5 \, \Omega.$$

12. Magnitlovchi shoxobchani aktiv va induktiv tashkil etuvchilari

$$r_m = Z_m \cos\varphi_0 = 38,5 \cdot 0,1 = 3,85 \, \Omega,$$

$$x_m = Z_m \sin\varphi_0 = 38,5 \cdot 0,995 = 38,3 \, \Omega.$$

13. FIK ni hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanib

$$\eta = \frac{\beta S_N \cos\varphi_2}{\beta S_N \cos\varphi_2 + P_{0N} + \beta^2 P_{qN}}$$

turli yuklanish koeffitsientlari $\beta = 0,25; 0,5; 0,75$ va $1,0$ uchun FIK ni avval $\cos\varphi_2 = 1$, (aktiv) keyin $\cos\varphi_2 = 0,8$ (aktiv-induktiv) yuklama uchun hisoblaymiz.

14. FIK ning maksimal qiymatiga mos keluvchi yuklanish koeffitsienti

$$\beta' = \sqrt{P_{0N} / P_{qN}} = \sqrt{0,65 / 2,0} = 0,57$$

15. FIK ning maksimal qiymati:

$\cos\varphi_2 = 1$ uchun

$$\eta_{\max} = \frac{\beta' S_N \cos\varphi_2}{\beta' S_N \cos\varphi_2 + 2P_{0N}} = \frac{0,57 \cdot 100 \cdot 1}{0,57 \cdot 100 \cdot 1 + 2 \cdot 0,65} = 0,978$$

$\cos\varphi_2 = 0,8$ uchun

$$\eta_{\max} = \frac{\beta' S_N \cos\varphi_2}{\beta' S_N \cos\varphi_2 + 2P_{0N}} = \frac{0,57 \cdot 100 \cdot 0,8}{0,57 \cdot 100 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,65} = 0,972$$

FIK hisoblash natijalari

1.2- jadval

β	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0
$\eta (\cos\varphi_2 = 1 \text{ uchun})$	0,94	0,969	0,977	0,976	0,974
$\eta (\cos\varphi_2 = 0,8 \text{ uchun})$	0,93	0,962	0,972	0,971	0,967

1.3– rasmda $\eta = f(\beta)$ bog'liqlik berilgan. Grafikdan ko'rinishicha, aktiv yuklamadagi FIK aktiv-induktiv yuklamadagidan yuqori bo'lishiga sabab, quvvat koeffitsienti ($\cos\varphi_2$)ning oshirilishi aktiv quvvatning oshishiga olib keladi, natijada FIK oshdi.

16. O'rtacha yillik FIK ni aniqlash uchun bir yillik po'latdagi quvvat isrofi xisobga olinadi:

$$T_0 = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ soat}$$

17. Chulg'am o'tkazgichlaridagi quvvat isrofi transformatorning faqat yuklamada ishlagandagi vaqtigina hisobga olinadi:

$$\eta_{yil} = \left(1 - \frac{P_0 T_0 + \beta^2 P_q T}{\beta S_N \cos\varphi_2 T + P_0 T_0 + \beta^2 P_q T} \right) = \left(1 - \frac{0,65 \cdot 8760 + 1 \cdot 2,0 \cdot 8760}{1 \cdot 100 \cdot 0,8 \cdot 8760 + 0,65 \cdot 8760 + 1 \cdot 2,0 \cdot 8760} \right) = 0,967$$

16. Kuchlanishni nominal o'zgarishini hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$\begin{aligned} \Delta U_N &= U_{qa} \cos \varphi_2 + U_{qr} \sin \varphi_2, \\ \text{bu yerda } U_{qa} &= U_q \cos \varphi_q = 5,5 \cdot 0,36 = 1,98\% \\ U_{qr} &= U_q \sin \varphi_q = 5,5 \cdot 0,93 = 5,1\%. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_2 = 0,8; \sin \varphi_2 = 0,6, & \quad \Delta U_N = 1,98 \cdot 0,8 + 5,1 \cdot 0,6 = 4,64\% \\ \cos \varphi_2 = 1; \sin \varphi_2 = 0, & \quad \Delta U_N = 1,98 \cdot 1 + 5,1 \cdot 0,6 = 1,98\% \\ \cos \varphi_2 = -0,8; \sin \varphi_2 = 0,6, & \quad \Delta U_N = 1,98 \cdot 0,8 - 5,1 \cdot 0,6 = -1,47\%. \end{aligned}$$

17. Quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_2$ o'zgarganda, ikkilamchi chulg'am kuchlanishini aniqlaymiz.

Aktiv xarakterdagi yuklamada $\cos \varphi_2 = 1$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\Delta U}{100} \right) = 230 \cdot \left(1 - \frac{1,98}{100} \right) = 225,4 \text{ V}.$$

Aktiv –induktiv xarakterdagi yuklamada $\cos \varphi_2 = 0,8$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\Delta U}{100} \right) = 230 \cdot \left(1 - \frac{4,64}{100} \right) = 219,3 \text{ V}.$$

Sig'im xarakterdagi yuklamada $\cos \varphi_2 = -0,8$

$$U_2 = U_{20} \left(1 - \frac{\Delta U}{100} \right) = 230 \cdot \left(1 + \frac{1,47}{100} \right) = 233,4 \text{ V}.$$

Transformatorning tashqi xarakteristikasini chizamiz (1.3-rasm).

Uch fazali transformator ikkilamchi chulg'amida kuchlanish o'zgarishining yuklama xarakteriga $\Delta U\% = f(\varphi_2)$ bog'liq xolda o'zgarishi (1.4-rasm):

$$\Delta U = U_{qa} \cos \varphi_2 + U_{qr} \sin \varphi_2,$$

$$U_{qa} = 2 \quad \%$$

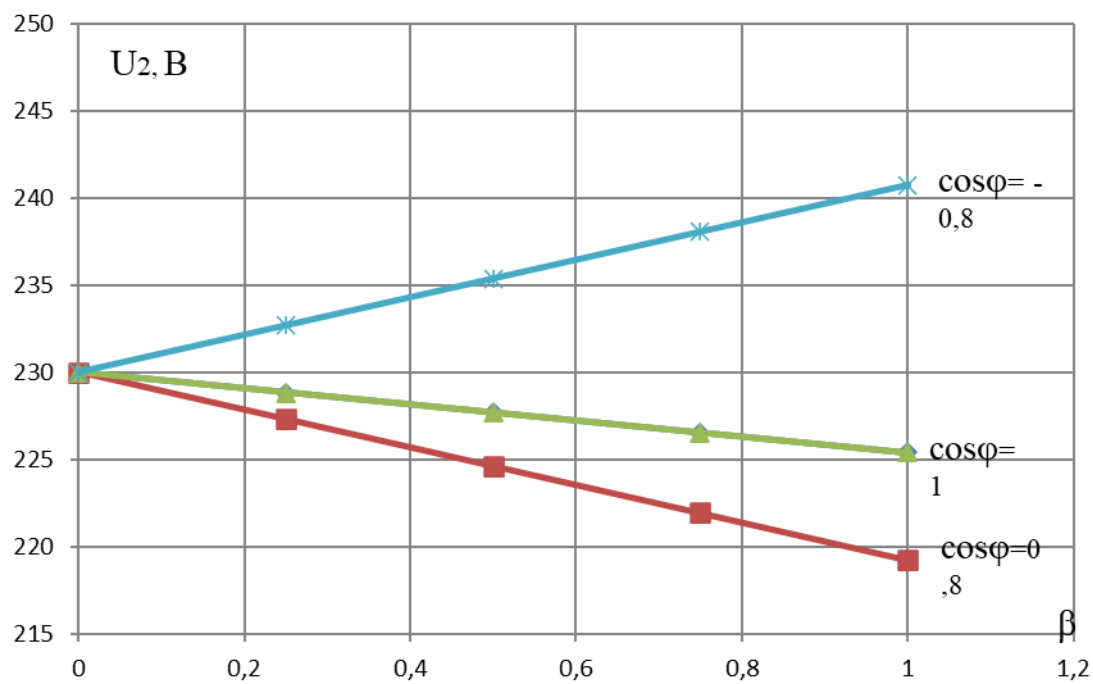
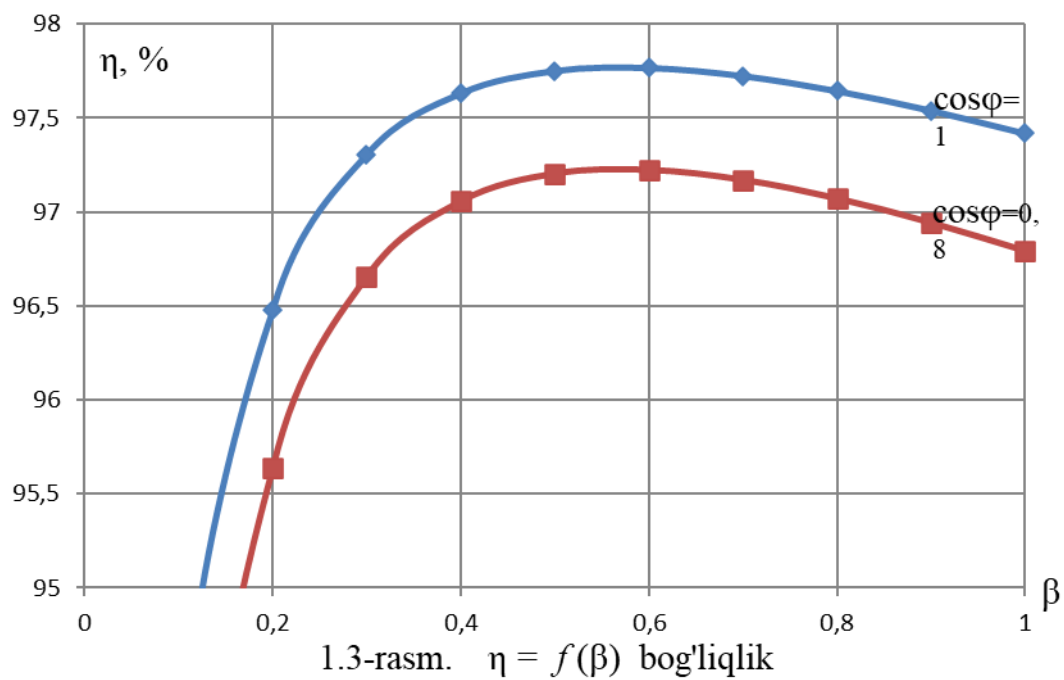
$$U_{qr} = 4,031 \quad \%.$$

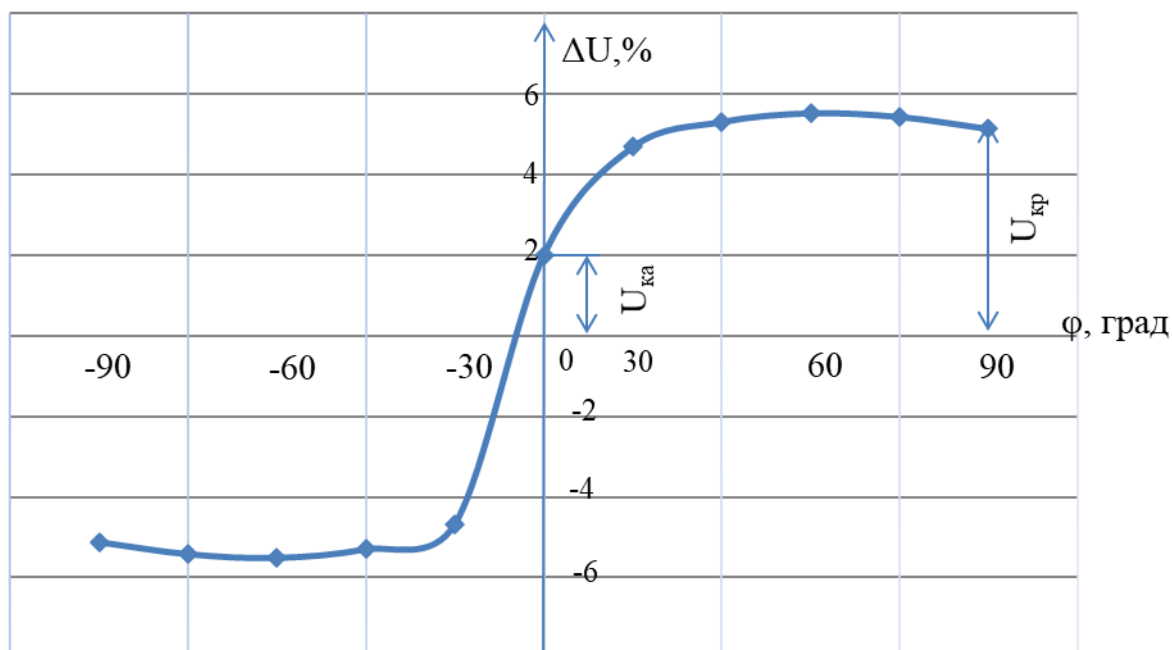
1.3- jadval

φ_2	-90°	-78°	-66°	-53°	-37°	0
$\cos \varphi_2$	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	1
$\sin \varphi_2$	1	-0,98	-0,92	-0,8	-0,6	0
$\Delta U, \%$	-4,0323	-4,35	-4,51	-4,5	-4,018	1,9977

φ_2	37°	53°	66°	78°	90°
$\cos \varphi_2$	0,8	0,6	0,4	0,2	0

$\sin\varphi_2$	0,6	0,8	0,92	0,98	1
$\Delta U, \%$	4,0175	4,42	4,51	4,35	4,032





1.5-rasm. $\Delta U\% = f(\varphi)$ bog'liqlik grafigi

1.4-jadval

Parametrlar							
Variant	S_N , kV·A	U_{1N} , kV	U_{2N} , kV	$u_q\%$	$i_0\%$	$P_{0(N)}$, kVt	$P_{q(N)}$, kVt
1	100	0,5	0,23	5,5	6,5	0,65	2,0
2	100	35	0,69	6,5	2,6	0,42	1,97
3	160	10	3,15	4,5	2,4	0,51	2,65
4	160	35	10	6,5	2,4	0,62	2,65
5	250	10	0,4	4,5	2,3	0,74	3,7
6	250	35	10	6,5	2,3	0,9	3,7
7	400	35	11	6,5	2,1	1,2	5,5
8	400	10	3,15	4,5	2,1	0,95	5,5
9	630	35	0,69	6,5	2,0	1,6	7,6
10	630	10	0,525	5,5	2,0	1,31	7,6
11	180	3,0	0,4	5,5	5,5	1,2	3,6
12	320	6	0,4	8,5	5,5	1,6	5,8
13	560	10	0,4	6,5	5,5	2,5	9,0
14	800	10	0,4	6,5	5,0	3,6	10
15	600	10	0,69	8,5	5,5	2,8	9,0
16	700	6	0,6	5,5	3,5	3,2	8,2
17	63	35	10	4,5	2,1	0,24	1,28
18	1200	35	10	5,5	1,4	2,1	11,6
19	900	10	0,69	5,5	1,3	1,9	10,5
20	4400	35	0,69	6,5	1	5,4	32
21	1600	10,5	0,69	5,5	1,3	3,3	16,5
22	4000	35	10	6,5	1,4	5,2	33,5
23	2500	35	0,69	6,5	1,0	3,9	26
24	200	3	0,23	5,5	3,5	1,5	4,0
25	120	10	0,69	5,5	1,3	2,2	12,7

4 – Amaliy mashg'ulot. Parallel ulangan uch fazali transformatorlarning yuklanishini hisoblash

Uchta bir xil ulanish guruhlariga ega bo'lgan uch fazali transformatorlar parallel ulanib, quvvati 5000 kVA bo'lgan umumiy yuklanishga ulangan. Transformatorlar quyidagi parametrlarga ega: $S_{NI}=1000$ kVA, $u_{q1}=6,5\%$, $S_{NII}=1800$ kVA, $u_{q2}=6,65\%$, $S_{NIII}=2200$ kVA, $u_{q3}=6,3\%$. Har bir transformator yuklanishini hisoblang.

Yechish:

$$\sum \frac{S_{Nx}}{x_q} = \frac{S_{NI}}{x_{qI}} + \frac{S_{NII}}{x_{qII}} + \frac{S_{NIII}}{x_{qIII}} + \dots$$

dan quyidagini aniqlaymiz

$$\sum \left(\frac{S_{Nx}}{U_{qx}} \right) = \frac{1000}{6,5} + \frac{1800}{6,65} + \frac{2200}{6,3} = 775$$

$$S_x = \frac{S}{u_{qx} \sum (S_{Nx}/u_{qx})} \cdot S_{Nx}$$

dan xar bir transformatorning yuklanishini aniqlaymiz

$$S_I = 5000 \cdot 1000 / (6,5 \cdot 775) = 995 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$S_{II} = 5000 \cdot 1800 / (6,65 \cdot 775) = 1755 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$S_{III} = 5000 \cdot 2200 / (6,3 \cdot 775) = 2250 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

ya'ni, uchinchi transformator $[(2250 - 2200)/2200]100 = 2,3\%$ ga o'ta yuklangan. Ushbu o'ta yuklanganlikni bartaraf etish uchun tashqi yuklanishni $2,3\%$ ga, ya'ni

$$S' = S - 2,3 \cdot S / 100 = 5000 - 2,3 \cdot 5000 / 100 = 4885 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

qisqartirish kerak ekan.

Bu holatda transformatorlar umumiy quvvati faqat $97,7\%$ ga foydalaniladi.

7– Amaliy mashg'ulot. Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor parametrlarini hisoblab, mexanik xarakteristikasi $n_2=f(M)$ ni qurish

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor quyidagi ko'rsatilgan nominal parametrlarga ega: $U=380$ V, foydali quvvati $P_N=22$ kVt, aylanish chastotasi $n_N=1455$ ayl/min, FIK $\eta_N=90$, $\cos\varphi_{IN}=0,88$, ishga tushirish toki karraligi $I_{i.t}/I_N=7$, ishga tushirish $M_{i.t}/M_N=1,2$, va maksimum moment karraligi $M_{max}/M_{i.t}=2$, stator faza chulg'amining aktiv qarshiligi 20°C temperaturada $r_a=0,17$. Parametrlarini hisoblab, mexanik xarakteristikasi $n_2=f(M)$ ni qurish kerak.

Qisqa tutashuv rejimida $\cos\varphi_{q.t}=0,5 \cos\varphi_{IN}$ deb olinadi.

1. Nominal yuklamada asinxron motorning olayotgan quvvati

$$P_{IN} = \frac{P_N}{\eta_N} = 22/0,9 = 24,4 \text{ kVt}$$

2. Nominal yuklamada asinxron motor iste'mol qilayotgan tok:

$$I_{1N}=P_{1N}/(3U_1 \cos \varphi_{1N})= 24400/3 \cdot 220 \cdot 0,88 = 42 \text{ A}$$

3. Asinxron motorning ishga tushirish toki

$$I_{i,t}= I_N (I_{i,t}/I_{1N})=42 \cdot 7=294 \text{ A}$$

4. Asinxron motorning qisqa tutashuv rejimidagi qarshiligi

$$Z_{q,t}= U_1/I_{yu}= 220/294= 0,75 \Omega$$

5. Qisqa tutashuv rejimida quvvat ko'effitsienti

$$\cos \varphi_q=0,5 \cdot 0,88=0,44; \quad \sin \varphi_q=0,895$$

6. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$x_q=Z_q \sin \varphi_q= 0,75 \cdot 0,895= 0,67 \Omega$$

$$r_q= Z_q \cos \varphi_q= 0,75 \cdot 0,44= 0,33 \Omega$$

7. Ishchi t⁰ temperaturada statorning faza chulg'ami qarshiligi

$$r_1= r_{1(20)}[1 + \alpha(\theta_{ish}-20)]=0,17[1+0,004(75-20)]=0,21$$

8. Nominal yuklamada sirpanish

$$s_N=(n_1-n_N)/n_1= (1500-1455)/1500=0,03$$

bunda $n_1= 60f_1/p$ – stator magnit maydoni aylanish chastotasi.

9. Rotor faza chulg'aming keltirilgan aktiv qarshiligi

$$r'_2= r_{q,t}-r_1=0,33-0,21=0,12 \Omega$$

9. Elektromagnit momentining nominal qiymati

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2^1 p}{2 p f_1 \times s_N \left[(r_1 + r'_2 / s_N)^2 + x_{kt}^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,03 \left[(0,21 + 0,12 / 0,03)^2 + 0,67^2 \right]} = 204 \text{ N} \cdot \text{m}$$

11. Maksimal moment

$$M_{max}=204 \cdot 2=408 \text{ N} \cdot \text{m}$$

12. Ishga tushirish momenti

$$M_{i,t}=204 \cdot 1,2=245 \text{ N} \cdot \text{m}$$

13. Kritik sirpanish

$$s_{kr}=s_N \left[M_{max} / M_N + \sqrt{(M_{max} / M_N)^2 - 1} \right] = 0,03 \left[2 + \sqrt{2^2 - 1} \right] = 0,11$$

14. s=0,5 dagi moment

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2^1 p}{2 p f_1 \times s_N \left[(r_1 + r'_2 / s_N)^2 + (x_1 + x_2)^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{50 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \left[(0,21 + 0,12 / 0,5)^2 + 0,67^2 \right]} = 341 \text{ N} \cdot \text{m}$$

15. Aylanish chastotasini formula bo'yicha hisoblab $n_2=n_1(1-s)$ formuladan asinxron motorning mexanik xarakteristikasini qurish uchun ma'lumotlarini natijasini olamiz.

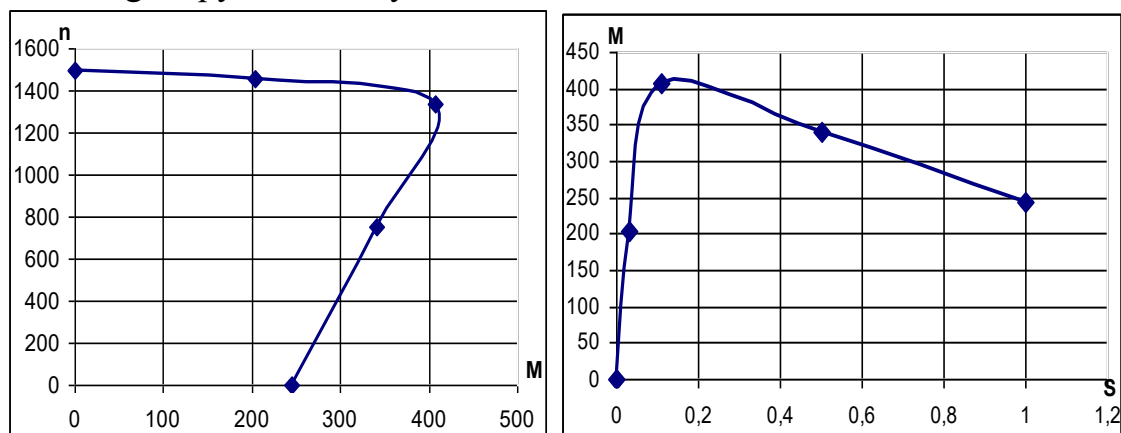
s	0	0,03	0,11	0,5	1
n, [ayl/min]	1500	1455	1335	750	0

M [N·m]	0	204	408	341	245
-----------	---	-----	-----	-----	-----

2.1-jadval

№	Asinxron motorning tiplari	P_N , [kVt]	n_N , [ayl/min]	η , %	$\cos\varphi_{1N}$	I_n/I_{1N}	$M_{i,t}/M_N$	M_{max}/M_N	$r_{1,20}$, Ω 20°C _{dagi}
1	5A160S2	15,0	2920	90	0,89	6,8	2,2	3	0,2100
2	5A160M2	18,5	2920	90,5	0,89	7	2,2	3	0,1800
3	AIP180S2	22,0	2930	90,5	0,89	6,8	2	2,9	0,1440
4	AIP180M2	30,0	2940	91,5	0,89	8	2,4	3,3	0,1120
5	5A225M2	55,0	2950	93,4	0,91	7,5	2,3	2,8	0,0540
6	5AM250S2	75,0	2960	93,6	0,92	7,5	2,0	3,0	0,0345
7	AIPM132M4	11,0	1455	89,0	0,85	7,3	2,2	3,0	0,2500
8	5A160M4	18,5	1450	90	0,86	6,5	2,2	2,6	0,1790
9	5AM250S4	75,0	1485	94,3	0,86	7,2	2,2	2,3	0,0534
10	5AM250M4	90,0	1485	95	0,88	7,3	2,2	2,3	0,0384
11	5A160M6	15,0	970	88,5	0,83	6,8	2,0	2,7	0,1900
12	5AM250M6	55,0	985	92,5	0,84	6,2	2,0	2,0	0,0928
13	5AM28096C	75,0	990	94,5	0,85	6,2	1,9	2,0	0,0550
14	5AM250S6	45,0	985	93,0	0,84	6,2	2,0	2,0	0,0480
15	5AM315S6	110,0	990	94,8	0,88	6,9	1,8	2,6	0,0590
16	5A160M8	11,0	725	87	0,74	5,0	1,6	2,2	0,1300
17	5A200L8	22,0	735	90,0	0,77	6,2	2,0	2,6	0,1600
18	5AM250M8	45,0	740	93,0	0,75	6,8	1,8	2,6	0,115
19	5AM280M8C	75,0	740	94,0	0,82	6,0	2,0	2,1	0,075
20	5AM250S8C	55,0	740	93,6	0,83	5,9	1,9	2,0	0,0810
21	5AM280S10C	37,0	590	93,0	0,79	6,0	1,5	2,5	0,0970
22	5AM280M10C	45,0	590	93,5	0,8	6,5	1,5	2,5	0,0750
23	5AM280MB10	90,0	590	93,0	0,81	5,8	2,1	2,2	0,0320
24	5AM315S12C	45	490	93,0	0,79	5,6	1,8	2,0	0,0980
25	5AM315MB12	75	490	92,2	0,8	5,3	1,8	2,0	0,0950

16. Olingan qiymatlar bo'yicha mexanik xarakteristikani chizamiz 2.1- rasm.



2.1- rasm. Mexanik xarakteristikalar

2.2– Amaliy mashg'ulot. Faza rotorli asinxron motor mexanik xarakteristikasini qurish

Faza rotorli asinxron motor quyidagi ko'rsatilgan nominal parametrlari ega: $U=380$ V, chastota foydali quvvat $P_N=30$ kVt, $n_N=720$ ayl/min, $\eta=87,5\%$, manbaning chastotasi $f=50$ Hz, stator chulg'ami Y ulangan. Asinxron motor tarmoqqa to'g'ridan-to'g'ri ulanganda ishga tushirish tok $\cos\varphi_N=0,79$ $I_{i,t}$ karraligi $I_{i,t}/I_N=7$, maksimum moment karraligi $M_{max}/M_N=1,7$, stator faza chulg'aming aktiv qarshiligi 20°C temperaturada $r_a=0,09335\ \Omega$, $\cos\varphi_q=0,5$ $\cos\varphi_N$ bo'lganda quyidagilarni topish kerak.

Nominal M_N va M_{max} s_N , s_{kr} shuningdek rotor zanjiriga ulangan rezistor qarshiligini topish kerak, bu paytda $M_{i,t}$ maksimal moment M_{max} ga teng bo'lishi kerak. Mexanik xarakteristikani qurib M_N bo'lgan sirpanish s ni topish kerak.

1. Nominal rejimda asinxron motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1N} = P_N / \eta_N = 30 / 0,875 = 34,3 \text{ kVt}$$

2. Nominal rejimda asinxron motor iste'mol qilayotgan tok

$$I_{1N} = P_{1N} / (3U_1 \cos\varphi_N) = 34300 / (3 \cdot 220 \cdot 0,79) = 66 \text{ A}$$

3. Nominal rejimdagi sirpanish

$$s_N = (750 - 720) / 750 = 0,04$$

4. 75°C ishchi temperaturada stator fazasining aktiv qarshiligi

$$r_1 = r_{1(20)} [1 + \alpha (75 - 20)] = 0,0935 [1 + 0,004 \cdot 55] = 0,114 \ \Omega$$

5. To'g'ridan-to'g'ri ulangandagi $I_{i,t}$ toki

$$I_{i,t} = I_N (I_{i,t} / I_N) = 66 \cdot 7 = 462 \text{ A}$$

6. Qisqa tutashuv qarshiligi

$$Z_q = U_1 / I_n = 220 / 462 = 0,48 \ \Omega$$

7. Qisqa tutashuvdagi $\cos\varphi_q$

$$\cos\varphi_q = 0,5 \cos\varphi_{1N} = 0,5 \cdot 0,79 = 0,395$$

$$\sin\varphi_q = 0,918$$

8. Qisqa tutashuv qarshiligining induktiv tashkil etuvchisi

$$X_q = Z_q \sin\varphi_q = 0,48 \cdot 0,918 = 0,44 \ \Omega$$

9. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi

$$r_q = Z_q \cos\varphi_q = 0,48 \cdot 0,395 = 0,19 \ \Omega$$

10. Stator fazasiga keltirilgan rotor fazasining aktiv qarshiligi

$$r'_2 = r_q - r_1 = 0,19 - 0,114 = 0,076 \ \Omega$$

11. $s_N=0,04$ dagi rotor fazasining aktiv qarshiligi

$$r'_2 / s_N = 0,076 / 0,04 = 1,9 \ \Omega$$

12. Elektromagnit momentning nominal qiymati

$$M_N = \frac{m_1 U_1^2 r_2^1 p}{2pf_1 \times s_N \left[(r_1 + r'_2 / s_N)^2 + x_k^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,076 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,04 \left[(0,114 + 0,19 / 0,04)^2 + 0,44^2 \right]} = 720 \text{ N} \cdot \text{m}$$

13.

$$M_{max} = \frac{m_1 U_1^2 p}{4 p f_1 \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_k^2} \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \left[0,114 + \sqrt{0,114^2 + 0,44^2} \right]} = 1640 \text{ N} \cdot \text{m}$$

14. $s_{kr} \approx \pm \frac{r_2^1}{x_k} = 0,076 / 0,44 = 0,17$

15. Rezistor qarshiligi $r_{qo'sh}$ rotorga ulanganda $M_{i.t.} = M_{max}$ teng bo'lishi uchun rotor fazasidagi umumiy aktiv qarshiliklar $\Sigma r_a x_q$ qarshilikka teng bo'lishi kerak

$$r_{qo'sh} = x_q - r_2' = 0,44 - 0,076 = 0,364 \Omega$$

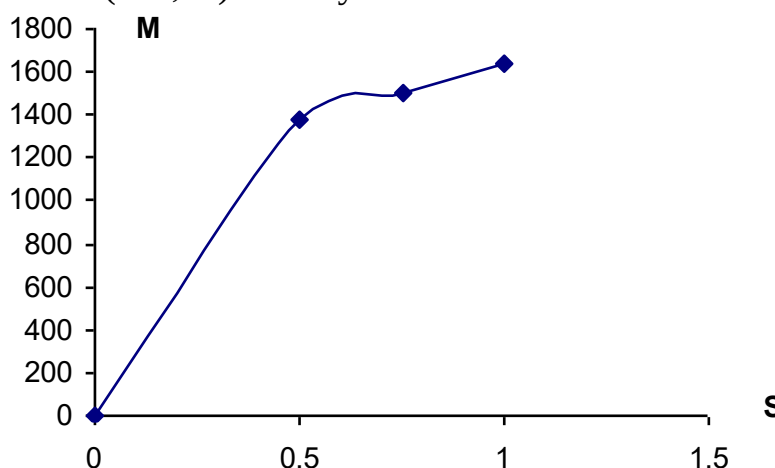
2.2-jadval

Nº	Asinxron motor tipi	P_N kVt	n_N ayl/min	η_N %	$\cos \varphi_N$	M_{max} / M_N	$r_{1.20, \Omega}$ 20°C da
1	4AK200L4Y3	30	1470	90,5	0,87	4	0,0725
2	4AK225M4Y3	37	1450	90	0,87	3	0,0690
3	4AK25SA4Y3	45	1470	91	0,88	3	0,071
4	4AK200L4Y3	55	1475	90,5	0,9	3	0,039
5	4AK200M6Y3	18,5	980	88	0,81	3,5	0,17
6	4AK250M6Y3	45	970	90,5	0,87	2,5	0,062
7	4AK200L6Y3	22	980	89	0,85	2,5	0,0890
8	4AK200LM8Y3	15	735	86	0,70	3	0,415
9	4AHK160M4Y3	17	1470	88	0,87	3,5	0,1790
10	4AHK180M4Y3	30	1480	88	0,81	3,2	0,0669
11	4AHK200L4Y3	45	1480	90	0,88	3,0	0,0718
12	4AHK225M4Y3	55	1455	89,5	0,87	2,5	0,038
13	4AHK250SA4Y3	75	1440	90,0	0,88	2,3	0,0437
14	4AHK250SB4Y3	90	1440	91,5	0,87	2,5	0,0350
15	4AHK250M4Y3	110	1460	92	0,90	2,5	0,0370
16	4AHK280S4Y3	132	1460	92	0,88	2,0	0,0338
17	4AHK315S4Y3	160	1470	92,5	0,88	2,0	0,0295
18	4AHK250M4Y3	200	1470	93	0,89	2	0,0258
19	4AHK225M6Y3	37	980	89	0,86	1,9	0,120
20	4AHK250M6Y3	75	970	91,5	0,85	2,5	0,0587
21	4AHK280M8Y3	90	735	90,5	0,84	1,9	0,095
22	4AHK315S10Y3	75	575	90	0,8	1,8	0,115
23	4AHK315S12Y3	55	480	89	0,75	1,8	0,040
24	4AHK355M12Y3	110	470	90	0,73	1,7	0,028
25	4AHK355S12Y3	90	475	89,5	0,73	1,7	0,032

16. Sun'iy mexanik xarakteristikani $r_{qo'sh} + r_2' = 0,440 \Omega$ rotor zanjir qarshiligiga mos qiymati uchun $M=f(s)$ qurish uchun $s=0,5$, $s=0,75$ dagi M ni hisoblash kerak. Elektromagnit momentning sirpanishga mos qiymatlarining natijasi quyidagicha

s	0	0,5	0,75	1
M	0	1381	1500	1640

Grafikdan ko'rinadiki nominal $M_N = 720 \text{ N}\cdot\text{m}$ ga mos $s=0,32$ bunda nominal aylanish chastotasi $n = 750(1-0,32)=510 \text{ ayl/min}$.



2.2-rasm. Mexanik xarakteristika

2.3– Amaliy mashg'ulot. Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor stator chulg'ami «yulduz» va «uchburchak» ulangan xol uchun parametrlarni aniqlash

4A seriyali qisqa tutashgan rotorli asinxron motor quyidagi ko'rsatilgan texnik qiymatlarga ega: foydali quvvat $P_N = 4 \text{ kVt}$, rotor aylanish chastotasi $n_{2N}=2880 \text{ ayl/min}$, FIK $\eta_N=86,5\%$, $\cos\varphi_1=0,89$, ishga tushirish tok karraligi $I_{i,t}/I_{1N} = 7,5$, ishga tushirish momenti karraligi $M_{i,t}/M_N$ maksimal momentni M_{max}/M_N , qutblar soni $2p$, nominal yuklamadagi sirpanishni, boshlang'ich yurgazish momentni $M_{i,t}$ maksimal momentni M_{max} , valdagi momentni M_N , motor tarmoqdan iste'mol qilayotgan aktiv quvvat P_{1N} ni, nominal yuklamadagi yig'indi quvvat isroflarini, ishga tushirish $I_{i,t}$ va nominal I_N toklarni stator chulg'ami «yulduz» va «uchburchak» ulangan xol uchun aniqlang.

4A100S2Y3 turdagi **motorning yechimi:**

1. Motor turining seriyasidan keyingi son val o'qining balandligini ko'rsatadi, ya'ni $h=100 \text{ mm}$.

2. Undan keyingi son qutblar sonini ko'rsatadi, ya'ni $2p=2$, o'zgaruvchan tok chastotasi 50 Hz bo'lganda magnit maydonining sinxron aylanish chastotasi

$$n_1 = \frac{60 f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ ayl/min}$$

3. Nominal yuklamadagi sirpanish asinxron motor rotorining nominal aylanish chastotasidan aniqlanadi:

$$s_N = \frac{n_1 - n_{2N}}{n_1} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0,04 \text{ yoki } 4\%$$

Nominal yuklamadagi, ya'ni nominal aylanish chastotadagi motorning valdagi momenti (foyдали moment)

$$M_2 = 9,55 \frac{P_N}{n_{2N}} = 9,55 \frac{4000}{2880} = 13,26 \text{ N}\cdot\text{m}$$

5. Asinxron motorning o'ta yuklanish qobiliyatidan maksimal kritik momenti aniqlanadi:

$$M_{max}=M_N(M_{max}/M_N)=13,26\cdot 2,5=33,15 \text{ N}\cdot\text{m}$$

6. Statorning faza chulg'amidagi nominal tok

$$I_{1N}=P_N/(m_1 U_1 \eta_N \cos \varphi_{1N})=4000/(3\cdot 220\cdot 0,865\cdot 0,89) =7,9 \text{ A}$$

8. Nominal yuklamada motor tarmoqdan iste'mol qilayotgan quvvat

$$P_{1N}=P_N/\eta_N=4/0,865=4,6 \text{ kVt}$$

10. Nominal yuklamadagi motorning yig'indi quvvat isroflari

$$\Sigma P=P_{1N}-P_N=4,6-4=0,6 \text{ kVt}$$

11. Statorning liniyaviy toki: stator chulg'ami «yulduz» ulanganda

$$I_{1Y}=I_1=7,9 \text{ A}$$

stator chulg'ami «uchburchak» ulanganda

$$I_{1\Delta}=1,73\cdot I_{1Y}=1,73\cdot 7,9=13,5 \text{ A}$$

2.3-jadval

No	Asinxron motor tipi	P_N [kVt]	n_{2N} [ayl/min]	$\eta_N\%$	$\cos \varphi_1$	$I_{i,t}/I_{1N}$	$M_{i,t}/M_N$	M_{max}/M_N	U_1 [V]
1.	4A10L2Y3	5,5	2890	87,5	0,91	7,5	2,0	2,5	220/380
2.	4A180S2Y3	22	2940	88,5	0,91	7,5	1,4	2,5	380/660
3.	4A250M2Y3	90	2945	92	0,9	7,5	1,2	2,5	220/380
4.	4A200M4Y3	37	1475	91	0,9	7,0	1,4	2,5	220/380
5.	4A 225M4Y3	55	1480	92,5	0,9	6,5	1,2	2,3	380/660
6.	4A160M6Y3	15	975	87,5	0,87	6	1,2	2	380/660
7.	4A180M6Y3	18,5	975	88	0,87	6,0	1,2	2	220/380
8.	4A 280S8Y3	55	740	92	0,84	5,5	1,2	2	380/660
9.	4A315M10Y3	7,5	590	92	0,8	6,0	1,0	1,8	220/380
10	4A315S12Y3	45	490	90,5	0,75	6,0	1,0	1,8	380/660
11	4A250S10Y3	30	590	88	0,81	6	1,2	1,9	220/380
12	4A132M8Y3	5,5	720	83	0,74	5,5	1,9	2,6	380/660
13	4A100S2Y3	4	2880	86,5	0,89	7,5	2,0	2,5	220/380
14	4A160S2Y3	15	2940	88	0,91	7,0	1,4	2,2	220/380
15	4A200M2Y3	37	2945	90	0,89	7,5	1,4	2,5	380/660
16	4A112M4Y3	5,5	1445	85,5	0,85	7	2	2,2	220/380
17	4A132M4Y3	11,0	1460	87,5	0,87	7,5	2,2	3,0	220/380
18	4A180M4Y3	30,0	1470	91,0	0,89	6,5	1,4	2,3	380/660
19	4A200M6Y3	22	975	90	0,9	6,5	1,3	2,4	220/380
20	4A280M6Y3	90	985	92,5	0,89	5,5	1,4	2,2	380/660
21	4A315M8Y3	110	740	93	0,85	6,5	1,2	2,3	380/660
22	4A355M10Y3	110	590	93	0,83	6,0	1,0	1,8	380/660

3.5 – Amaliyot mashg'ulot. Burchak xarakteristikasini hamda sinxronlovchi quvvatni qurish va hisoblash

Burchak xarakteristikasi va sinxronlovchi quvvat ko'effitsiyentini hisoblashda $U=U_N=const$, $f_N=const$, $I_{qN}=const$ bo'ladi (3.9-rasm). Qurish va hisoblashlar n.b.t. amalga oshiriladi. (3.5) tenglamadan quvvat bo'yicha aktiv quvvat:

$$P = \frac{1 \cdot 1,7}{0,87} \sin\theta + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,615} - \frac{1}{0,87} \right) \sin 2\theta = 1,954 \sin\theta + 0,238 \cdot \sin 2\theta,$$

bu yerda, $E_{f*} = 1,7$ – to'g'ri chiziqli yuklamasiz xarakteristikasi (3.4-rasm) orqali aniqlangan sinxron mashina EYK qiymati.

θ burchakka $0 \div 180^\circ$ qiymatlar berib, $\sin\theta$ va $\sin 2\theta$, quvvatning P_{as} – asosiy, $P_{qo'sh}$ – qo'shimcha (reaktiv) hamda umumiy P_{um} qiymatlarini hisoblab 3.2- jadvalga yozamiz.

3.2–jadval

№		0	15	30	45	60	75	90
1.	$\sin\theta$	0	0,2588	0,5	0,707	0,866	0,966	1
2.	$\sin 2\theta$	0	0,5	0,866	1,0	0,866	0,5	0
3.	$P_{as}=1,954\sin\theta$	0	0,506	0,977	1,38	1,69	1,89	1,954
4.	$P_{qo'sh}=0,238\sin 2\theta$	0	0,119	0,206	0,238	0,206	0,119	0
5.	$P_{um}=P_{as}+P_{qo'sh}$	0	0,625	1,183	1,618	1,896	2,01	1,954
№		105	120	135	150	165	180	
1.	$\sin\theta$	0,966	0,866	0,707	0,5	0,2588	0	
2.	$\sin 2\theta$	–0,5	–0,866	–1	–0,866	–0,5	0	
3.	$P_{as}=1,954\sin\theta$	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0	
4.	$P_{qo'sh}=0,238\sin 2\theta$	–0,119	–0,238	–0,238	–0,206	–0,119	0	
5.	$P_{um}=P_{as}+P_{qo'sh}$	1,77	1,484	1,1428	1,771	0,387	0	

θ_N – nominal burchakni ikkita usul bilan aniqlaymiz:

a) burchak xarakteristika bo'yicha grafik usulda (9-rasm) $P_N=\cos\varphi_N=0,8$ uchun $\theta=19^\circ 30'$;

b) (3.8) bo'yicha analitik:

$$\theta_N = \arctg \frac{0,615 \cdot 0,8}{1 + 0,615 \cdot 0,6} = \arctg 0,3367 = 19^\circ 46'.$$

Nominal qo'zg'atishdagi maksimal burchak θ_m burchak xarakteristikasidan (3.9-rasm) grafik usulda M nuqtadan absissa o'qiga perpendikulyar tushirib aniqlanadi: $\theta_m=75^\circ$.

Nominal qo'zg'atishda va nominal kuchlanishdagi maksimal quvvatni burchak xarakteristikasidan (3.9-rasm) M nuqtani ordinata o'qiga oborib topamiz. $P_s=f(\theta)$ bog'liqlikdan $P_{m*}=2,01$, sinxronlovchi quvvat ko'effitsiyentini (3.10) formuladan analitik usulda topiladi va burchak xarakteristikasi bilan bitta grafikda quriladi.

$$P_s=1,954\cos\theta + 0,476 \cos 2\theta.$$

Hisoblashlarni 3.3– jadvalga yozamiz.

3.3– jadval

		0	15	30	45	60	75	90
1	$\cos\theta$	1	0,966	0,866	0,707	0,5	0,2588	0
2	$\cos 2\theta$	1	0,866	0,5	0	–0,5	0,866	–1,0

3	$1,954\cos\theta$	1,954	1,89	1,69	1,38	0,977	0,506	0
4	$0,476\cos 2\theta$	0,476	0,412	0,238	0	-0,238	0,412	-0,476
5	P_s	2,43	2,302	1,928	1,38	0,739	0,094	-0,476

$k_{o',yu}$ – statik yuklanish ko'effitsiyentini (3.9) topamiz:

$$k_{o',yu} = \frac{P_{m*}}{P_N} = \frac{2,01}{0,8} = 2,51.$$

Hisoblangan va qurilgan grafiklar acosida gidrogeneratorning quyidagi parametrlari aniqlandi:

Nominal qo'zg'atish MYK – $F_{qN*} = 1,7$;

Nominal kuchlanish tushuvi % – $\Delta U_N = 26,5\%$;

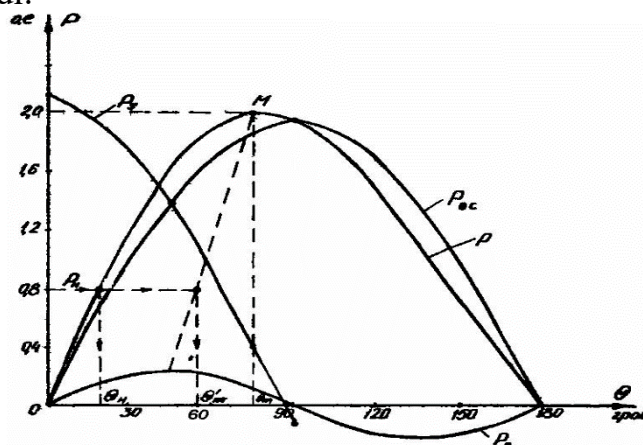
Nominal yuklamadagi qo'zg'atish tokining minimal qiymati $I_{qmin*}=0,54$;

Yuklama burchagining nominal qiymati: $\theta_N = 19^\circ 30'$;

Yuklama burchagining maksimal (kritik) qiymati: $\theta_m = 75^\circ$;

Statik o'ta yuklanish ko'effitsiyenti: $k_{o',yu} = 2,51$.

Keltirilgan qiymatlar, hisoblangan gidrogeneratorni GOST talablariga to'la javob berishini ko'rsatadi.



3.9-rasm. Burchak xarakteristikasi
Mustaqil hisoblash uchun variantlar

3.4-jadval

N _o	U_N	x_σ	x_d	x_q	$\cos\varphi$	F_a	F_δ	F_{fx}	k_{ad}
1	1,1	0,158	0,5	0,3	0,6	11000	13256	16356	0.625
2	1,2	0,169	0,65	0,33	0,65	12500	15245	18125	0.698
3	1,3	0,186	0,72	0,6	0,7	13600	16325	20145	0.725
4	1,4	0,176	0,81	0,55	0,75	16800	19852	25563	0.789
5	1,12	0,185	0,92	0,66	0,8	11650	14523	17852	0.82
6	1,13	0,196	0,44	0,22	0,85	12860	16523	19452	0.89
7	1,14	0,175	0,28	0,11	0,9	15480	18256	21452	0.95
8	1,15	0,169	0,29	0,15	0,95	14065	18236	22365	0.99
9	1,16	0,184	0,33	0,27	0,6	16750	20356	24478	0.68
10	1,17	0,192	0,214	0,1	0,65	12690	15624	19852	0.69

11	1,18	0,173	0,22	0,12	0,7	12800	16452	20145	0.754
12	1,21	0,175	0,72	0,65	0,75	13500	16452	19874	0.798
13	1,22	0,184	0,88	0,57	0,8	17500	20145	23654	0.86
14	1,23	0,196	0,77	0,62	0,85	13670	16452	19852	0.89
15	1,24	0,165	0,66	0,44	0,9	14680	18236	22365	0.96
16	1,25	0,183	0,55	0,32	0,95	15630	20145	24582	0.99
17	1,26	0,172	0,93	0,55	0,6	17560	21452	25698	0.69
18	1,27	0,258	0,94	0,54	0,65	13250	16253	20145	0.71
19	1,28	0,213	0,96	0,55	0,7	16820	19254	24452	0.75
20	1,29	0,235	0,98	0,56	0,75	16580	20132	25485	0.78
21	1,3	0,215	0,82	0,57	0,8	17850	22145	26741	0.86
22	1,31	0,218	0,84	0,58	0,85	18000	21852	24569	0.89
23	1,32	0,216	0,86	0,59	0,9	15689	19256	23654	0.95
24	1,33	0,217	0,88	0,61	0,95	17560	22152	26589	0.99
25	1,34	0,225	0,72	0,62	0,6	12639	15962	19452	0.64
26	1,35	0,165	0,76	0,33	0,65	17582	20152	23654	0.69
27	1,36	0,215	0,722	0,34	0,7	14658	19452	22585	0.78
28	1,37	0,218	0,78	0,35	0,75	16523	20123	24569	0.79
29	1,38	0,219	0,79	0,36	0,8	14236	19452	23654	0.84
30	1,39	0,216	0,62	0,21	0,85	12588	16253	19785	0.89
31	1,4	0,218	0,64	0,22	0,9	25896	30125	35456	0.97
32	1,03	0,213	0,66	0,23	0,95	23695	28523	32652	0.99
33	1,04	0,218	0,68	0,24	0,6	21478	24125	27851	0.68
34	1,05	0,182	0,71	0,25	0,65	13665	16325	19452	0.69
35	1,06	0,175	0,72	0,26	0,7	14563	17258	20123	0.75

3.6– Amaliy mashg'ulot. Ayon qutbli sinxron generatorning tormozlovchi momentini topish

Ayon qutbli sinxron generatorning quvvati $S=640 \text{ kV}\cdot\text{A}$, qutblar soni $2p=12$, parallel ishlaganda ulangan kuchlanish $U_1=6000 \text{ V}$, chastota $f_1=50 \text{ Hz}$. Stator uzunligi $l_1=0,52$, diametri $D_1=0,8 \text{ m}$, havo oralig'idagi magnit induksiyasi $B_\delta=0,88$, stator o'zagini po'lat bilan to'ldirish ko'effitsienti $k_p=0,95$, stator faza chulg'aming ketma-ket ulangan o'ramlari soni $W_1=420$, chulg'am ko'effitsienti $k_{ch1}=0,92$. Stator faza chulg'amlari Y ulangan. Generatorning sinxron induktiv qarshiliklari: mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha $x_d=89 \text{ Om}$ va ko'ngdalang o'qi bo'yicha $x_q=41,4 \text{ Om}$.

Quyidagilarni topish kerak: generator rotoriga ta'sir etuvchi tormozlovchi momentlarni: asosiy M_{as} va M_r reaktiv momentni, ularning yig'indisini topib, momentlarni θ yuklanish burchagiga bog'liqligini chizish va generatorlarning o'ta yuklanish qobiliyatini yuklanish burchagi $\theta_N=16,5^\circ$ bo'lgan nominal yuklama uchun topish kerak.

1. Generatorning faza kuchlanishi

$$U_{1f}=6000/1,73=3468 \text{ V}.$$

2. Qutb bo'linmasi

$$\tau = \frac{\pi D_1}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,8}{12} = 0,21 \text{ m.}$$

3. Asosiy magnit oqimi

$$\Phi = (2/\pi) B_\delta \tau l_1 K_p = 0,64 \cdot 0,88 \cdot 0,21 \cdot 0,52 \cdot 0,95 = 0,058 \text{ Vb}$$

4. Generator EYK

$$E_0 = 4,44 f_1 W_1 \Phi K_{ch} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,058 \cdot 420 \cdot 0,92 = 4975 \text{ V.}$$

5. Sinxron burchak aylanish chastotasi

$$\omega_1 = 2\pi f_1/p = 2 \cdot 3,44 \cdot 50/6 = 52,3 \text{ rad/s yoki } n = 500 \text{ ayl/min.}$$

6. Generator asosiy elektromagnit momentning max qiymatlari ($\theta = 90^\circ$)

$$M_{amax} = \frac{m_1 U_{1f} \cdot E_0}{\omega_1 x_d} = \frac{3 \cdot 3468 \cdot 4975}{52,3 \cdot 89} = 11120 \text{ N} \cdot \text{m}$$

7. Generator reaktiv momentni maksimal qiymati

$$M_{rmax} = \frac{m_1 U_{1f}^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) = \frac{3 \cdot 3468^2}{2 \cdot 52,3} \left(\frac{1}{41,4} - \frac{1}{89} \right) = 4484 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

8. Hisoblash natijalari:

Asosiy moment

$$M_a = M_{amax} \sin \theta;$$

reaktiv moment

$$M_r = M_{rmax} \sin 2\theta;$$

momentlar yig'indisi $M_{em} = M_a + M_r$. Yuklama burchagi θ ning ba'zi qiymatlari uchun jadval tuziladi.

9. Yig'indi maksimal momentga mos keluvchi yuklanish burchak kritik qiymati θ_{kr}

$$\cos \theta_{kr} = \sqrt{\beta^2 + 0,5} - \beta = \sqrt{0,31^2 + 0,5} - 0,31 = 0,49 \quad \sin \theta_{kr} = 0,857$$

bu yerda $\theta_{kr} = \arccos 0,49 = 59^\circ$

$$\beta = \frac{E_0}{4U_{1f} (x_d / x_q - 1)} = \frac{4975}{4 \cdot 3468 (89 / 41,4 - 1)} = 0,31$$

$\theta_{kr} = 59^\circ$ ga mos keluvchi moment

$$M'_a = M_{a,max} \sin \theta_{kr} = 11120 \cdot 0,857 = 9530 \text{ N} \cdot \text{m};$$

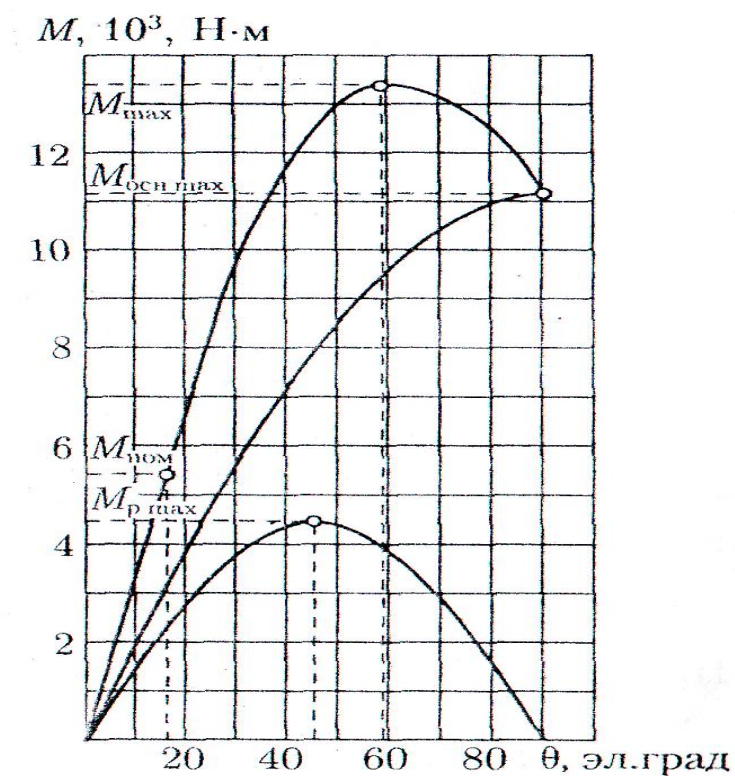
$$M'_r = M_{r,max} \sin 2\theta_{kr} = 4484 \cdot 0,857 = 3960 \text{ N} \cdot \text{m};$$

$$M_{max} = M'_a + M'_r = 9530 + 3960 = 13490 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

Hisoblashlar natijasi bo'yicha burchak xarakteristikasi qurilgan. Natijaviy moment xarakteristikasidan nominal holatdagi momentni topamiz. $\theta_N = 16,5^\circ$; $M_N = 5600 \text{ N} \cdot \text{m}$. Shu vaqtdagi generatorning o'ta yuklanish qobiliyati $M_{max}/M_N = 13490/5600 = 2,4$.

Parametr	Parametr qiymatlari					
θ	20	30	45	60	70	90
$\sin \theta$	0,342	0,5	0,707	0,866	0,94	1
$M_a, \text{ N} \cdot \text{m}$	3803	5560	7861	9629	10452	11120
$\sin 2\theta$	0,643	0,866	1	0,866	0,643	0
$M_r, \text{ N} \cdot \text{m}$	2883	3883	4484	3883	2883	0

$M, \text{N}\cdot\text{m}$	6686	9443	12345	13512	13335	11120
----------------------------	------	------	-------	-------	-------	-------



3.10-rasm. $P = f(\theta)$ ayon qutbli SG ning burchak xarakteristikasi

3.5-jadval

N_0	S_N, kVA	U_1, V	$2p$	D_l, m	l_1, m	B_δ, Tl	W_1	χ_d, Om	χ_q, Ω
1	640	6000	12	0,80	0,52	0,88	420	89	41,4
2	400	660	8	0,92	0,25	0,78	66	4,7	0,78
3	700	6000	10	0,86	0,35	0,8	480	85	36,6
4	950	6000	16	1,80	0,50	0,85	450	62,7	21,5
5	630	6000	12	1,0	0,5	0,78	380	96,5	33,6
6	460	660	8	0,8	0,30	0,76	62	1,50	0,45
7	570	660	10	1,0	0,32	0,8	58	0,95	0,37
8	800	6000	6	0,85	0,57	0,8	430	80	35,4
9	6,25	230	4	1,1	0,52	0,81	300	2	0,38
10	630	400	16	0,7	0,36	0,85	400	80	37
11	800	400	16	0,95	0,44	0,88	420	70	28
12	630	6300	16	0,78	0,36	0,87	380	75	30
13	800	6300	16	1,2	0,5	0,86	410	88	38,9
14	37,5	400	4	1,4	0,82	0,88	100	1,5	0,4
15	25	230	4	1,2	0,81	0,85	120	2,5	0,7
16	62,5	230	4	1,5	0,91	0,78	80	10	2,8
17	62,5	400	6	1,4	0,92	0,8	78	8	1,7
18	75	230	4	1,3	0,92	0,82	90	7	2,3

19	93,7	400	4	1,5	0,93	0,84	95	9	3,2
20	93,7	230	4	1,7	0,93	0,86	100	11	4
21	31,5	230	4	1,3	0,82	0,8	110	1,3	0,35
22	10	400	4	0,8	0,61	0,82	115	1,5	0,4
23	15	400	4	0,88	0,62	0,84	120	1,8	0,6
24	500	6000	24	1,2	0,34	0,85	55	1,3	0,35
25	315	380	10	0,9	0,25	0,76	65	1,4	0,38

3.7 – Amaliy mashg’ulot. Uch fazali sinxron motorning momentini topish

СДН 2 seriyali uch fazali sinxron motorning qiymatlari: foydali quvvat $P_N=500$ kVt qutblar soni $2p=12$; FIK $\eta_N=93,7\%$; ishga tushirish toki karraligi $I_{i,t}/I_N=5,2$; ishga tushirish momentining karraligi $M_{i,t}/M_N=1$; maksimal sinxron momentning karraligi $M_{max}/M_N=1,9$ sirpanish $s=5\%$ bo’lgandagi asinxron moment karraligi $M_{5\%}/M_N=1,3$ (sinxronizmga kirish momenti). Stator chulg’amlari «yulduz» ulangan.

Quyidagilarni aniqlash kerak: aylanish chastotasi, stator zanjiridagi nominal va ishga tushirish toklarini, maksimal, nominal, sinxron, ishga tushirish momentlarini hamda sinxronizmga kirayotgandagi ($s=5\%$) asinxron momentni topish kerak.

Tarmoq kuchlanishi $U_t=10$ kV $f=50$ Hz;

Quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_1=0,8$.

Masalaning yechilishi:

1. Aylanish chastotasi

$$n_1=60f/p=60\cdot10\cdot50/6=500 \text{ ayl/min}$$

2. Nominal yuklama rejimida motor iste’mol qilayotgan quvvat

$$P_{1N}=P_N/\eta_N=500/0,937=534 \text{ kVt.}$$

3. Nominal yuklama rejimida stator zanjiridagi tok

$$I_{1N}=P_{1N}/(\sqrt{3}U_1\cos\varphi_1)=534/(1,73\cdot0,8)=39 \text{ A}$$

4. Stator zanjiridagi ishga tushirish toki

$$I_{i,t}=I_N(I_{i,t}/I_N)=39\cdot5,2=203 \text{ A.}$$

5. Nominal yuklama rejimida motor validagi moment

$$M_N=9,55P_N/n_1=9,55\cdot500\cdot10^3/500=9550 \text{ N}\cdot\text{m}$$

6. Maksimal (sinxron) moment

$$M_{max}=M_N(M_{max}/M_N)=9550\cdot1,9=18145 \text{ N}\cdot\text{m}$$

7. Ishga tushirish momenti

3.6-jadval

No	Sinxron motorning tipi	P_N [kVt]	$2p$	η_N %	M_{max}/M_N	$M_{5\%}/M_N$	$M_{yu}/M_{i,t}$	$I_{i,t}/I_N$
1	СДН216-36-12	500	12	93,7	1,9	1,3	1,0	5,2
2	СДН216-31-6	800	6	95,3	2	1,5	0,85	6
3	СДН216-49-6	1250	6	95,9	1,9	1,8	1,1	6,6
4	СДН216-74-6	2000	6	96,6	1,8	1,7	1,2	7
5	СДН217-71-6	3200	6	96,9	1,7	1,4	1,3	6,6

6	СДН216-31-8	630	8	94,3	1,8	1,2	0,9	5,5
7	СДН216-46-8	1000	8	95,4	1,8	1,5	1	5,8
8	СДН217-71-8	2500	8	96,5	1,9	1,5	1,3	6,6
9	СДН216-44-10	800	10	94,9	1,8	1,4	0,75	5
10	СДН216-56-10	1000	10	95,1	1,9	1,4	0,8	5,4
11	СДН217-51-10	1600	10	95,9	1,8	1,2	1	5,2
12	СДН2 17-19-16	315	16	91,1	2,1	1,1	0,9	4,6
13	СДН2 17-21-16	400	16	91,4	2,1	1,1	0,85	4,4
14	СДН2 16-44-12	630	12	94,2	1,9	1,3	1,0	5,1
15	СДН2 17-31-12	800	12	94,3	1,9	1,1	1,0	4,7
16	СДН2 17-39-12	1000	12	94,9	1,8	1,0	1,0	4,5
17	СДН216-49-12	1250	12	95,3	1,9	1,2	1,1	5,2
18	СДН3–2 18-64-12	2500	12	96,2	1,8	1,4	1,2	6,5
19	СДН3–2 16-36-10	630	10	94,4	1,8	1,4	0,75	5,0
20	СДН3–2 17-44-10	1250	10	95,5	1,9	1,2	1,1	5,4
21	СДН3–2 17-26-20	315	20	91	2,6	1,0	0,9	4,5
22	СДН3–2 17-31-20	400	20	91,7	2,7	1,0	0,75	4,5
23	СДН3–2 17-41-20	500	20	92,8	2,5	1,1	0,75	5,7
24	СДН3–2 20-49-20	3150	20	96	1,8	0,9	0,8	4,5

$$M_{i,t}=M_n(M_i/M_N)=9550\cdot1,0=9550 \text{ N}\cdot\text{m}$$

8. Sinxronizmga kirishdagi moment ($s=5\%$ dagi asinxron moment)

$$M_{5\%}=M_N(M_{5\%}/M_N)=9550\cdot1,3=12415 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

4.3 – masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok motoring nominal quvvati P_{nom} , U_{tar} kuchlanishli tarmoqqa ulangan; motoring FIK η_{nom} , qutblar soni $2p=4$ bo'lgan yakor chulg'ami oddiy to'liqsimon ($2a=2$), qo'zg'atish chulg'amidagi tok $I_{qo'z}=0,02\cdot I_{ya.nom}$, bir tomonlama havo bo'shlig'ining kattaligi δ , bo'shliqdagi magnit induksiya B_δ , yakor tishlaridagi magnit induksiya B_{tish} , havo bo'shlig'i koeffitsiyenti $k_\delta=1,3$; motor magnit o'tkazgichining magnit to'yinish koeffitsiyenti $k_\mu=1,35$.

Qayd etilgan parametrlarning qiymatlari 4.4 – jadvalda keltirilgan. Ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasining MYuK ni va motoring nominal yuklamasida ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasini kompensatsiya qilish uchun zarur bo'lgan qo'zg'atishning qutb g'altagidagi o'ramlar sonini aniqlash talab etiladi.

4.4-jadval

Parametr	Variantlar						
	1	2	3	4	5	6	7
P_{nom}, kW	100	120	85	30	45	90	75
$U_{cho't}, V$	440	440	220	220	440	440	220
$\eta_{nom}, \%$	89	90	87	85	85	87	86
N	280	300	150	120	260	240	120
δ, mm	2,0	2,0	1,8	1,8	1,6	1,8	1,6
B_{tish}, Tl	2,2	2,3	1,8	1,9	1,7	1,9	2,0
B_δ, Tl	0,82	0,85	0,80	0,83	0,80	0,83	0,82

Yechish variant 1.

1. Nominal rejimda motor iste'mol qiladigan tok

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{U_{tar} \cdot \eta_{nom}} = 100 \cdot \frac{10^3}{440 \cdot 0,89} = 255 \text{ A.}$$

2. Qo'zg'atish chulg'amdagi tok

$$I_{qo'z} = 0,02 \cdot I_{nom} = 0,02 \cdot 255 = 5 \text{ A.}$$

3. Nominal yuklamada yakor zanjiridagi tok

$$I_{ya.nom} = 255 - 5 = 250 \text{ A.}$$

4. Havo bo'shlig'ining MYuK

$$F_{\delta} = 0,8 \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 0,82 \cdot 2,0 \cdot 1,3 \cdot 10^3 = 1700 \text{ A.}$$

5. Salt ishlash rejimida ikki juft qutblardagi qo'zg'atish chulg'aming MYuK

$$F_{qo'z-q} = 2 \cdot F_{\delta} \cdot k_{\mu} = 2 \cdot 1700 \cdot 1,35 = 4590 \text{ A.}$$

6. Nominal yuklama rejimida juft qutblardagi yakor MYuK

$$F_{ya.nom} = N \cdot I_{ya.nom} / (4a \cdot p) = 280 \cdot 250 / (4 \cdot 1 \cdot 2) = 8750 \text{ A.}$$

7. $B_{cheg} = 2,2 \text{ Tl}$ da ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasi koeffitsiyenti (5.1-rasmga qarang); $B_{cheg} = 2,2 \text{ Tl}$ (grafikning yuqori chegarasi) va $F_{ya}/F_{qo'z-o} = 8760/4590 = 1,9$ koeffitsiyent $k_{ya,r} = 0,22$.

8. Ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasi ta'sirini kompensatsiyalovchi qo'zg'atish MYuK ning o'sishi

$$F_{d,q} = k_{ya,r} \cdot F_{ya.nom} = 0,22 \cdot 8750 = 1925 \text{ A.}$$

9. Motorning nominal yuklamasida yakor reaksiyasi ta'sirini kompensatsiya qilish uchun yetarli bo'lgan juft qutblardagi qo'zg'atishning MYuK

$$F_{qo'z.nom} = F_{qo'z-o} + F_{d,q} = 4590 + 1925 = 6515 \text{ A.}$$

10. Qo'zg'atish chulg'aming qutb g'altagidagi o'ramlar soni

$$w_{g'.qo'z} = \frac{F_{qo'z.nom}}{2 \cdot I_{qo'z}} = \frac{6515}{2 \cdot 5} = 651 \text{ o'ram.}$$

4.4 – masala. Nominal kuchlanish U_{nom} va nominal aylanish chastotasi n_{nom} bo'lgan mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorining yakori N o'tkazgichlardan tashkil topgan oddiy to'lqinsimon chulg'amga ega. Generatorning qutblar soni $2p = 4$, ishchi temperaturada yakor zanjiri chulg'aming qarshiligi Σr , cho'tkalar ko'mir-grafitli $\Delta U_{cho't} = 2 \text{ V}$, asosiy magnit oqimi Φ . Qayd etilgan paremetrlarning qiymatlari 5.5-jadvalda keltirilgan. Generatorning nominal ish rejimi uchun aniqlanishi talab etiladi: Yakor EYuK E_a , yuklama toki I_{nom} (yakor reaksiyasining magnitsizlantiruvchi ta'siri hisobga olinmasin), foydali quvvat P_{nom} , elektromagnit quvvat $P_{el.m}$, elektromagnit moment M_{nom} .

Yechish varinat 1.

1. Nominal aylanish chastotasida generator yakorining EYuK

$$E_{ya} = Ce \cdot \Phi \cdot n = 3,33 \cdot 4,8 \cdot 10^{-2} \cdot 1500 = 240 \text{ V,}$$

bu yerda $Ce = p \cdot \frac{N}{60 \cdot a} = 2 \cdot \frac{100}{60 \cdot 1} = 3,33$; oddiy to'lqinsimon chulg'amda juft parallel shoxobchalar soni $a=1$.

2. Generator uchun kuchlanishlar tenglamasidan foydalanib, nominal rejimdagi yakor tokini aniqlash mumkin

$$U = E_{ya} - I_{ya} \cdot \Sigma r - \Delta U_{cho't},$$

bundan nominal rejimdagi yakor toki

$$I_{ya.nom} = \frac{E_{ya.nom} - U_{nom} - \Delta U_{cho't}}{\Sigma r} = \frac{240 - 230 - 2}{0,175} = 45,7 \text{ A.}$$

3. Generatorning foydali (nominal) quvvati

$$P_{nom} = U_{nom} \cdot I_{ya.nom} = 230 \cdot 45,7 = 10511 \text{ W ёки } P_{nom} = 10,51 \text{ kW.}$$

4. Generatorning elektromagnit quvvati

$$P_{el.m} = E_{ya.nom} \cdot I_{ya.nom} = 240 \cdot 45,7 = 10968 \text{ W ёки } P_{nom} = 10,97 \text{ kW.}$$

5. Nominal rejimdagi elektromagnit moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{el.m}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{10968}{1500} = 69,8 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

4.2.2. O'zgaras tok generatorlari

4.5 – masala. Quvvati P_{nom} va kuchlanishi U_{nom} bo'lgan mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok generatori, yakor zanjirida ishchi temperaturaga keltirilgan chulg'amlar qarshiligi Σr ga ega, generatora ΔU rusumidagi elektrgratitli cho'tkalar qo'llanilgan ($\Delta U_{cho't} = 2,5 \text{ V}$). Yuklama pasayishidagi nominal kuchlanish o'zgarishi aniqlansin. Parametrlar qiymatlari 4.6 – jadvalda keltirilgan.

4.6-jadval

Parametr	Variantlar						
	1	2	3	4	5	6	7
P_{nom}, kW	20	45	15	90	80	30	18
U_{nom}, V	230	460	230	460	460	230	230
$\Sigma r, \Omega$	0,12	0,22	0,15	0,12	0,11	0,08	0,13

Yechish variant 1.

1. Nominal rejimdagi tok

$$I_{ya.nom} = \frac{P_{nom}}{U_{nom}} = \frac{20 \cdot 10^3}{230} = 87 \text{ A.}$$

2. Generator EYuK

$$E_{ya} = U_0 = U_{om} + I_{ya.nom} \cdot \Sigma r + \Delta U_{cho't} = 230 + 87 \cdot 0,12 + 2,5 = 243 \text{ V.}$$

3. Yuklama pasayishidagi nominal kuchlanish o'zgarishi

$$\Delta U_{nom} = \frac{U_0 - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100 = \frac{243 - 230}{230} \cdot 100 = 5,65\%.$$

4.6 – masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok generatori quyidagi ma'lumotlarga ega: quvvat P_{nom} , kuchlanish U_{nom} , aylanish chastotasi n_{nom} , ishchi temperaturaga keltirilgan yakor zanjiri chulg'amlarining qarshiligi Σr , juft cho'tkalarining cho'tkali kontaktidagi kuchlanish tushuvi $\Delta U = 2 \text{ V}$, qo'zg'atish chulg'ami zanjirining qarshiligi $r_{qo'z}$, nominal rejimdagi FIK η_{nom} , generator toki I_{nom} , qo'zg'atish zanjiridagi tok $I_{qo'z}$, yakor zanjiridagi tok $I_{ya.nom}$, yakor EYuK $E_{ya.nom}$, elektromagnit quvvat $P_{el.m}$, nominal yuklamadagi elektromagnit moment M_{nom} , yuritma dvigatel quvvati P_{1nom} .

Qayd etilgan parametrlarning qiymatlari 4.7 – jadvalda keltirilgan. Jadvalda keltirilmagan parametrlarning qiymatlari aniqlansin.

4.7-jadval

Parametr	Variantlar
----------	------------

	1	2	3	4	5
P_{nom}, kW	10	—	—	18	45
U_{nom}, V	230	230	460	230	—
$n_{nom}, \frac{ayl}{min}$	1450		—	1500	1000
$\Sigma r, \Omega$	0,3	0,15	—	—	—
$r_{qo'z}, \Omega$	150	100	—	—	92
$\eta_{nom}, \%$	86,5	—	88	—	88
I_{nom}, A	—	87			97,8
$I_{qo'z}, A$	—	—	4	—	—
$I_{ya.nom}, A$	—	—	—	75	—
E_{ya}, V	—	—	480	240	477
$P_{el.m.nom}, kW$	-	-	55	—	—
$M_{nom}, N \cdot m$	—	280	525	—	—
P_{nom}, kW	—	23		21	—

Yechish varinat 1.

1. Generator chiqishidagi nominal tok

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{U_{nom}} = \frac{10000}{230} = 43,5 \text{ A.}$$

2. Qo'zg'atish chulg'amidagi tok

$$I_{qo'z} = \frac{U_{nom}}{r_{qo'z}} = \frac{230}{150} = 1,5 \text{ A.}$$

3. Nominal yuklamada yakor zanjiridagi tok

$$I_{ya.nom} = I_{nom} + I_{qo'z} = 43,5 + 1,5 = 45 \text{ A.}$$

4. Nominal rejimda yakor EYuK

$$E_{ya} = U_{nom} + I_{ya.nom} \cdot \Sigma r + \Delta U_{cho't} = 230 + 45 \cdot 0,3 + 2 = 245,5 \text{ V.}$$

5. Nominal yuklamada generatorning elektrmagnit quvvati

$$P_{el.m.nom} = E_{ya} \cdot I_{ya.nom} = 245,5 \cdot 45 = 11047 \text{ W.}$$

6. Nominal yuklamada generatorning elektromagnit momenti

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{el.m.nom}}{\eta_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{11047}{1450} = 73 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

4.2.3. O'zgarmas tok motorlari

4.7 – masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori quyidagi ma'lumotlarga ega: nominal quvvat P_{nom} , ta'minot kuchlanishi U_{nom} , nominal aylanish chastotasi n_{nom} , yakor zanjiri chulg'amining qarshiligi Σr , qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $r_{qo'z}$, cho'tklarning cho'tkali kontaktidagi kuchlanishi tushuvi ($\Delta U_{cho't} = 2 \text{ V}$). Qayd etilgan parametrlar 4.8 – jadvalda keltirilgan.

Aniqlanishi talab etiladi: nominal yuklama rejimida motor iste'mol qiladigan tok I_{nom} , motor yakor zanjiridagi boshlang'ich ishga tushirish toki $2,5 \cdot I_{ya.nom}$ ga teng bo'lishidagi ishga tushirish reostatining qarshiligi $R_{ish.t.r}$, boshlang'ich ishga tushirish momenti $M_{ish.t}$, salt ishlash rejimidagi aylanish chastotasi n_0 va tok I_0 , yuklama pasayishidagi motor yakorining aylanish chastotasining nominal o'zgarishi. Yakor reaksiyasining ta'siri hisobga olinmasin.

Yechish varinat 1.

1. Nominal yuklamada motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{25}{0,85} = 29,4 \text{ kW}.$$

2. Nominal yuklamada motor iste'mol qiladigan tok

$$I_{nom} = \frac{P_{1nom}}{U_{nom}} = \frac{29,4 \cdot 10^3}{440} = 67 \text{ A}.$$

3. Qo'zg'atish chulg'ami zanjiridagi tok

$$I_{qo'z} = \frac{U_{nom}}{r_{qo'z}} = \frac{440}{88} = 5 \text{ A}.$$

4.8-jadval

Parametr	Variantlar				
	1	2	3	4	5
P_{nom}, kW	25	15	45	4,2	18
U_{nom}, V	440	220	440	220	220
$n_{nom}, \frac{ayl}{min}$	1500	1000	1500	1500	1200
$\eta_{nom}, \%$	85	83,8	88	78	84
$\Sigma r, \Omega$	0,15	0,12	0,13	0,15	0,12
$r_{qo'z}, \Omega$	88	73	88	64	73

4. Yakor chulg'amidagi tok

$$I_{ya.nom} = I_{nom} - I_{qo'z} = 67 - 5 = 62 \text{ A}.$$

5. Karralik 2,5 berilganda yakorning boshlang'ich ishga tushirish toki

$$I_{ya.ish.t} = 2,5 \cdot I_{ya.nom} = 2,5 \cdot 62 = 155 \text{ A}.$$

6. Ishga tushirish tokining karraligi 2,5 berilgandagi yakor zanjirining talab etilgan qarshiligi

$$R_{ya} = R_{ish.t.r} + \Sigma r = \frac{U_{nom}}{I_{ya.ish.t}} = \frac{440}{155} = 2,83 \Omega.$$

7. Ishga tushirish reostatining qarshiligi

$$R_{ish.t.r} = R_{ya} - \Sigma r = 2,83 - 0,15 = 2,68 \Omega.$$

8. Nominal yuklama rejimida yakor EYuK

$$E_{ya.nom} = U_{nom} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r - \Delta U_{cho't} = 440 - 62 \cdot 0,15 - 2 = 428,7 \text{ V}.$$

9. $E_{ya} = Ce \cdot \Phi \cdot n$ ifodadan aniqlaymiz,

$$Ce \cdot \Phi = \frac{E_{ya}}{n} = \frac{428,7}{1500} = 0,285$$

koeffitsiyentlar nisbati

$$C_M / Ce = [p \cdot N / (2 \cdot \pi \cdot a)] / [p \cdot N / (60 \cdot a)] = 9,55$$

demak, bu holda

$$Ce \cdot \Phi = 9,55 \cdot Ce \cdot \Phi = 9,55 \cdot 0,285 = 2,72.$$

10. Ishga tushirish tokining karraligi 2,5 berilgandagi boshlang'ich ishga tushirish momenti

$$M_{ish.t} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{a.ish.t} = 2,72 \cdot 155 = 422 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

11. Nominal yuklamada motor validagi moment

$$M_{2nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{1500} = 159 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

12. Nominal yuklamadagi elektromagnit moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{el.m}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{26579}{1500} = 169 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

bunda nominal yuklamadagi elektromagnit quvvat

$$P_{el.m.nom} = E_{ya.nom} \cdot I_{ya.nom} = 428,7 \cdot 62 = 26579 \text{ W}.$$

13. Salt ishlash momenti

$$M_o = M_{nom} - M_{2nom} = 169 - 159 = 10 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

14. Salt ishlash rejimidagi yakor toki

$$I_{ya.o} = \frac{M_o}{C_M \cdot \Phi} = \frac{10}{2,72} = 3,68 \text{ A}.$$

15. Salt ishlash rejimidagi yakor EYuK ($\Delta U_{cho't} = 0$ qabul qilamiz)

$$E_{ya.o} = U_{nom} - I_{ya.o} \cdot \Sigma r = 440 - 3,68 \cdot 0,15 = 439 \text{ V}.$$

16. Salt ishlash rejimidagi yakorning aylanish chastotasi

$$n_o = \frac{E_{ya.o}}{C_e \cdot \Phi} = \frac{439}{0,285} = 1540 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}.$$

17. Yuklama pasayishida motor aylanish chastotasining nominal o'zgarishi

$$\Delta n_{nom} = \frac{n_o - n_{nom}}{n_{nom}} \cdot 100 = \frac{1540 - 1500}{1500} \cdot 100 = 2,66\%.$$

4.8 – masala. 4.9-jadvalda mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori parametrlarining qiymatlari berilgan: motorning nominal quvvati P_{nom} , yakor zanjirining ta'minot kuchlanishi U_{nom} , qo'zg'atish zanjirining ta'minot kuchlanishi $U_{qo'z}$, nominal rejimda yakorning aylanish chastotasi n_{nom} , yakor zanjirining Σr va qo'zg'atish zanjirining $r_{qo'z}$ qarshiliklari (ishchi temperaturaga keltirilgan), nominal tokdagi cho'tkali kontaktda kuchlanish tushuvi $\Delta U_{cho't} = 2 \text{ V}$, yuklama pasayishidagi kuchlanishning nominal o'zgarishi $\Delta n_{nom} = 8,0\%$, salt ishlash rejimida yakor toki I_o . Barcha isroflar turlari va motorning FIK aniqlansin.

4.9-jadval

Parametr	Variantlar					
	1	2	3	4	5	6
P_{nom}, kW	25	40	53	75	16	11
U_{nom}, V	440	440	440	440	220	220
$U_{qo'z}, V$	220	220	220	220	220	110
I_o, A	6,0	7,5	8,0	10,8	8,7	5,8
$\Sigma r, \Omega$	0,30	0,17	0,12	0,70	0,18	0,27
$r_{qo'z}, \Omega$	60	55	42	40	60	27
$n_{nom}, \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$	220	1000	2360	3150	1500	800

Yechish variant 1.

1. Salt ishlash rejimidagi aylanish chastotasi

$$n_o = n_{nom} \cdot \left[1 + \left(\frac{\Delta n_{nom}}{100} \right) \right] = 2200 \cdot \left(1 + \frac{8}{100} \right) = 2376 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}.$$

2. Salt ishlash rejimidagi yakor EYuK (salt ishlash rejimida cho'tkali kontaktda kuchlanishning tushuvi juda kichik bo'lgani uchun hisobga olmaymiz)

$$E_{ya.o} = U_{nom} - I_o \cdot \Sigma r = 440 - 6 \cdot 0,3 = 438,2 \text{ V}.$$

3. Salt ishlash rejimidagi moment

$$M_0 = 9,55 \cdot E_{ya,0} \cdot I_0 / n_0 = 9,55 \cdot 438,2 \cdot 6 / 2376 = 10,6 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

4. Nominal yuklama rejimida motor validagi moment

$$M_{2nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{2200} = 108,5 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

5. Nominal yuklamada motorning elektromagnit momenti

$$M_{nom} = M_0 + M_{2nom} = 10,6 + 108,5 = 119 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

6. Nominal yuklama rejimida motorning elektromagnit quvvati

$$P_{el.m.nom} = 0,105 \cdot M_{nom} \cdot n_{nom} = 0,105 \cdot 119 \cdot 2200 = 27490 \text{ W}.$$

7. Salt ishlash rejimidagi yakor EYuK

$$E_{ya,0} = C_e \cdot \Phi \cdot n_0$$

bundan

$$C_e \cdot \Phi = \frac{E_{ya,0}}{n_0} = \frac{438,2}{2376} = 0,185$$

lekin $C_M / C_e = 9,55$ unda $C_e \cdot \Phi = 9,55 \cdot C_e \cdot \Phi = 9,55 \cdot 0,185 = 1,75$.

Nominal yuklamadagi elektromagnit moment ifodasidan

$$M_{nom} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{ya.nom}$$

yakor tokining nominal yuklama rejimidagi qiymatini aniqlaymiz

$$I_{ya.nom} = \frac{M_{nom}}{C_M \cdot \Phi} = \frac{119}{1,77} = 67 \text{ A}.$$

8. Motorning magnit va mexanik isroflar yig'indisi salt ishlash momentiga proporsional

$$P_{mag} = P_{mex} = 0,105 \cdot M_0 \cdot n_0 = 0,105 \cdot 10,6 \cdot 2376 = 2644 \text{ W}.$$

9. Yakor chulg'ami zanjiridagi elektr isroflar

$$P_{ya.el} = I_{ya.nom}^2 \cdot \Sigma r = 67^2 \cdot 0,3 = 1347 \text{ W}.$$

10. Yakorning cho'tkali kontaktidagi elektr isroflar

$$P_{cho't.el} = I_{ya.nom} \cdot \Delta U_{cho't} = 67 \cdot 2 = 134 \text{ W}.$$

11. Nominal rejimda yakor zanjiriga keltiriladigan quvvat

$$P_{1ya.nom} = U_{nom} \cdot I_{ya.nom} = 440 \cdot 67 = 29480 \text{ W}.$$

12. Qo'zg'atish chulg'amidagi tok

$$I_{qo'z} = \frac{U_{qo'z}}{r_{qo'z}} = \frac{220}{60} = 3,7 \text{ A}.$$

13. Qo'zg'atish zanjirida quvvat

$$P_{qo'z} = U_{qo'z} \cdot I_{qo'z} = 220 \cdot 3,7 = 814 \text{ W}.$$

14. Nominal yuklama rejimida motorning iste'mol quvvati

$$P_{1nom} = P_{1ya.nom} + P_{qo'z} = 29480 + 814 = 30295 \text{ W} \text{ ёки } P_{1nom} = 30,3 \text{ kW}.$$

15. Nominal rejimda motorning FIK

$$\eta_{nom} = \left(\frac{P_{nom}}{P_{1nom}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{25}{30,3} \right) \cdot 100 = 82,5 \text{ \%}.$$

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETINING QO‘QON FILIALI**

RO‘YXATGA OLINDI:

№ _____

“ ____ ” _____ 2024 yil

“TASDIQLAYMAN”

Toshkent davlat texnika
universitetining Qo‘qon filiali
O‘IB direktor o‘rinbosari

_____ N.M.Babayeva

“ ____ ” _____ 2024 yil



“Elektr texnologiyalari”
kafedra

“ELEKTR MASHINALARI”
fanidan

Laboratoriya mashg‘ulotlari uchun

Ushbu uslubiy qo‘llanma 60710700-Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari
(elektr mashinasozlik) yo‘nalishi talabalari uchun

USLUBIY KO‘RSATMA

QO‘QON–2024

Ushbu uslubiy qo'llanma TDTU QF ning "___" _____202_y "___" sonli uslubiy tasdiqlangan fan dasturi asosida ishlab chiqildi.

Tuzuvchi: **Usmonov I** - TDTU Qo'qon filiali dotsenti

Taqrizchi: **Butayev T** - TDTU Qo'qon filiali dotsenti

Ushbu uslubiy ko'rsatma "Elektr texnologiyalari" kafedrasining 2024 yil "___" _____dagi ___-sonli yig'ilishida ko'rib chiqilgan va fakultet kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan.

Kafedra mudiri: _____ **G.Urozaliyev**

Uslubiy ko'rsatma "Energetika" fakulteti kengashida muhokama qilingan va filial o'quv-uslubiy kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan. (2024 yil "___" _____dagi ___-sonli bayonnoma).

Fakultet dekani: _____ **I.Usmonov**

Uslubiy ko'rsatma filialning o'quv- uslubiy kengashida ko'rib chiqildi va foydalanishga tavsiya etildi. (2024 yil "___" _____dagi ___- sonli majlis bayonnomasi).

O'quv uslubiy bo'lim boshlig'i: _____ **M.Mansurov**

T1- laboratoriya ishi

Uch fazali ikki chulg'amli transformatorning salt ishlash, qisqa tutashuv holatlaridagi tavsiflari va parametrlarini tekshirish

1. Ishni bajarishdan maqsadi

1. Uch fazali transformatorning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishish.
2. Transformatorning salt ishlash holati va uning parametrlarini aniqlash.
3. Transformatorning salt ishlash tavsiflarini qurish.
4. Transformatorning qisqa tutashuv holati va uning parametrlarini aniqlash.
5. Transformatorning qisqa tutashuv tavsiflarini qurish.

2. Ishni bajarish yuzasidan topshiriqlar

1. Transformator tashqi ko'rikdan o'tkazilsin va pasportida ko'rsatilgan ma'lumotlar hamda chulg'amlar qarshiliklari hisobot daftariga yozilsin.
2. Transformatsiyalash koeffitsiyenti topilsin, salt ishlash tavsiflari $I_o, P_o, \cos\varphi_o = f(U_o)$ ni qurish uchun ma'lumotlar (1.1-jadvalda) yozib olinsin.
3. Tajriba ma'lumotlaridan foydalanib salt ishlash parametrlari r_o, Z_o, X_o va salt ishlash toki I_o aniqlansin.
4. Qisqa tutashuv tavsiflari $I_{st}, P_{st}, \cos\varphi_{st} = f(U_{st})$ ni qurish uchun ma'lumotlar 2-jadvalga yozib olinsin.
5. Tajriba ma'lumotlaridan foydalanib qisqa tutashuv parametrlari $r_{st}, Z_{st}, X_{st}, U_{st}$ aniqlansin.

3. Ishni bajarishga oid qisqacha nazariy tushunchalar

Transformator bu statik elektromagnit uskuna bo'lib, birlamchi o'zgaruvchan tok sistemasini ikkilamchi o'zgaruvchan tok sistemasiga aylantirib beradi. Bunda chastota o'zgarmaydi. Transformator asosiy va yordamchi qismlardan tuzilgan. Asosiy qismga magnit o'tkazgich va chulg'amlar kiradi. Yordamchi qismlarga bak, kengaytirgich, gaz relyesi, idish qopqog'i, radiatorlar, termosifon filtri, yog' sathini ko'rsatuvchi shisha naycha, ko'targich halqalar, yuqori va past kuchlanishlar ulanadigan izolatorlar, tozalagich va boshqalar kiradi. Transformatorning ish davrida hosil bo'ladigan uyurma toklarini keskin kamaytirish maqsadida uning magnit o'tkazgichi bir-biridan izolatsiyalangan va qalinligi 0,15-0,5 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat tunikachalardan yig'iladi. Transformator chulg'amlari yasallashida izolatsiyalangan mis va aluminiy simlaridan foydalaniladi. Transformatorlarda moy sovutish va izolatsiya vazifasini bajaradi. **Transformatorlarning tasnifi.** Bajaradigan vazifasiga ko'ra transformatorlar quyidagi turlarga bo'linadi: 1) *kuch transformatorlari*; 2) *maxsus transformatorlar*. Kuch transformatorlari o'z navbatida: *umumiy maqsadli* va *sohaviy* turlarga bo'linadi.

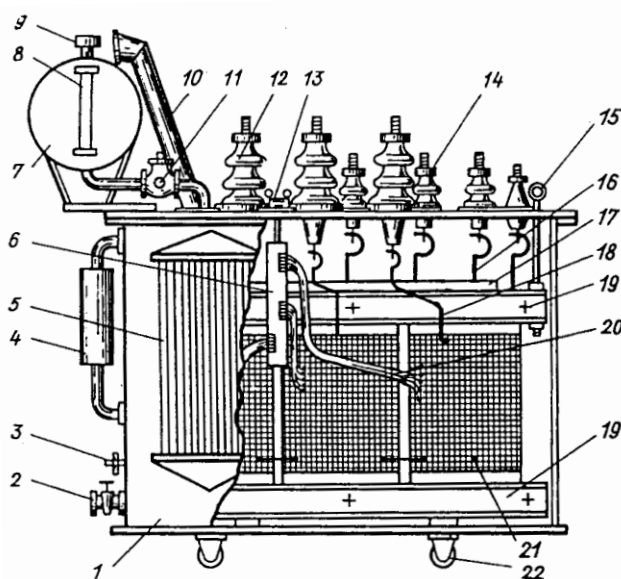
Elektr energiyani uzatish, qabul qilish hamda ishlatishga mo'ljallangan elektr tarmoqlari va uskunalarida elektr energiyani o'zgartirish (kuchlanishni oshirish

yoki kamaytirish) vazifasini bajaradigan transformator **kuch transformatori** deyiladi. Bu toifaga: quvvati $6,3 \text{ kV} \cdot \text{A}$ va undan katta bo'lgan *uch fazali* transformatorlar hamda quvvati $5 \text{ kV} \cdot \text{A}$ va undan katta bo'lgan *bir fazali* transformatorlar kiradi.

Normal sharoitda ishlayotgan elektr tarmog'iga ulash uchun, yohud maxsus ish sharoiti, yuklamaning xarakteri yoki ish rejimi bilan farq qilmaydigan energiya iste'molchilarini bevosita ta'minlashga tayyorlangan transformatorlar **umumiy maqsadli kuch transformatorlari** deyiladi. Transformatorlar *fazalar soniga ko'ra*: bir, uch va ko'p fazali (sohaviy); *chulg'amlar soniga ko'ra* – ikki, uch va ko'p chulg'amli turlarga bo'linadi. Agar transformatorning har fazasida uchta yuqori kuchlanishli (YuK), o'rta kuchlanishli (O'K) va past kuchlanishli (PK)] elektr jihatdan ulanmagan chulg'amlari bo'lsa, bunday holda **uch chulg'amli** transformator deyiladi. Agar transformatorida $U_{1N} < U_{2N}$ bo'lsa **oshiruvchi**, $U_{1N} > U_{2N}$ bo'lganida esa – **pasaytiruvchi** transformator deyiladi.

Elektr energiyani transformatorning qaysi chulg'amiga berilishiga qarab transformatorni oshiruvchi yoki pasaytiruvchi sifatida foydalanish mumkinligi uning qaytarlik xossasidir. Nominal quvvati va kuchlanishlariga bog'liq ravishda kuch transformatorlari va avtotransformatorlar gabaritlarga ajratiladi.

Kuch transformatorlariga qo'yiladigan asosiy talablar. Elektrotexnika sanoatida ishlab chiqarilayotgan kuch transformatorlari ishonchlilik, tejamlilik, chidamlilik va boshqa muhim jihatlari bilan *jahon bozorida yuksak raqobatbardosh bo'lishi zarur*. Shu sababli mazkur transformatorlarga *quyidagi asosiy talablar qo'yiladi*: **a)** ishlab chiqarishda va ishlatishda tejimli bo'lishi; **b)** ishlatishda ishonchlilik; **c)** isroflar standartda belgilangan me'yordan oshmasligi; **d)** parallel ulash shartlarini qanoatlantirishi; **e)** me'yordan ortiqcha qizib ketmasligi; **f)** kuchlanishni rostlashga imkon berishi; **g)** transformatorni ishlatish jarayonida ayrim sabablarga ko'ra sodir bo'ladigan qisqa muddatli o'ta kuchlanishlarga va kam muddatli qisqa tutashuvdagi ancha katta bo'lgan toklar ta'siriga bardosh berishi zarur.



1.1-rasm. Kuchlanish klassi 35 kV quvvati 1000÷6300 kV·A konstruksiyasiga mos keladigan pasaytiruvchi kuch transformatori:

1 – bak; 2 – moy uchun ventily; 3 – zaminlash uchun qistirma; 4 – termosifonli filtr; 5 – radiator; 6 – kuchlanishni rostlovchi qayta ulagichi; 7 – kengaytirgich; 8–moy ko‘rsatkich; 9 – havo quritgich; 10 – chiqaruvchi (saqllovchi) truba; 11 – gaz relye; 12 – YuK chulg‘am uchun o‘tish izolatori; 13 – qayta ulagich dastagi; 14 – PK chulg‘amga oid o‘tish izolatori; 15 – transformatorni ko‘tarish uchun ilgich; 16 – PK chulg‘amni o‘tish izolatori bilan bog‘lovchi o‘tkazgich; 17 – magnit o‘tkazgich; 18 – YuK chulg‘amni o‘tish izolatori bilan bog‘lovchi o‘tkazgich; 19 – yuqorigi va pastki yarmo balkalari; 20 – YuK chulg‘am rostlash tarmog‘ining simlari; 21– YuK chulg‘am; 22 – aravacha g‘ildiragi

Elektromagnit induksiya hodisasi transformator nazariyasining asosini tashkil qiladi. Elektromagnit induksiya hodisasi ikki shaklda namoyon bo‘ladi:

1) Faradey ta’rifi. «Vaqt bo‘yicha o‘zgaras bo‘lgan magnit maydon kuch chiziqlarini biror tezlik bilan kesib o‘tayotgan o‘tkazgichda hosil bo‘lgan EYuK ning qiymati magnit induksiya B ga, o‘tkazgich uzunligi l ga va uning harakat tezligi v ga to‘g‘ri mutanosib bo‘ladi, ya’ni $E=Blv$ ».

2) Maksvell ta’rifi. «Magnit oqimi bilan ilashgan berk o‘tkazgichdagi EYuK ning qiymati magnit oqimi o‘zgarish tezligining kattaligiga teng, ya’ni $e = - d\Phi/dt$ ».

Bundagi EYuK ning yo‘nalishi rus olimi Lyens kashf qilgan prinsip (qoida) bo‘yicha aniqlanadi, ya’ni berk o‘tkazgich bilan ilashadigan magnit oqim $(d\Phi/dt)>0$ bo‘lganda berk o‘tkazgichda vujudga keladigan EYuK ning ishorasi «manfiy» bo‘lib, $(d\Phi/dt) < 0$ bo‘lganda esa uning ishorasi «musbat» bo‘ladi.

4. Ishni bajarish va hisobot tayyorlash tartibi

1. Yuksiz ishlash tajribasi. Tajribaning bajarilishidan maqsad transformatorning transformatsiyalash koefitsiyenti, magnit o‘zakdagi quvvat isrofini va ekvivalent almashtirish sxemasining ayrim parametrlarini aniqlash hamda yuksiz ishlash xarakteristikasini qurishdir.

1.1. Yuksiz ishlash tajribasini o‘tkazish sxemasi 1.2-rasmda ko‘rsatilgan. Transformator birlamchi chulg‘amidagi kuchlanish noldan $U=1,2U_n$ gacha oshiriladi. Kuchlanishning bir necha qiymatlari uchun ampermetr, voltmetr va vattmetrlarning ko‘rsatkichlari 1.1-jadvalga yozib olinadi.

2. Transformatorning transformatsiyalash koefitsiyenti:

$$K_{TR} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$$

bu yerda: E_1, U_1, W_1 ba E_2, U_2, W_2 – birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning EYuKlari, kuchlanishlari va oʻramlar soni.

3. Yuksiz ishlash tokining nominal toki

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \cdot \alpha_I$$

bu yerda (I – ampermetrning bir boʻlinmasidagi tok qiymati, (A).

4. Faza kuchlanishlarining oʻrtacha qiymati

$$U_0 = \frac{U_A + U_B + U_C}{3} \cdot \alpha_U$$

5. Yuksiz ishlash quvvati

$$P_0 = (P_A + P_B + P_C) \cdot \alpha_P$$

6. Yuksiz ishlash va almashtirish sxemasining baʼzi parametrlari

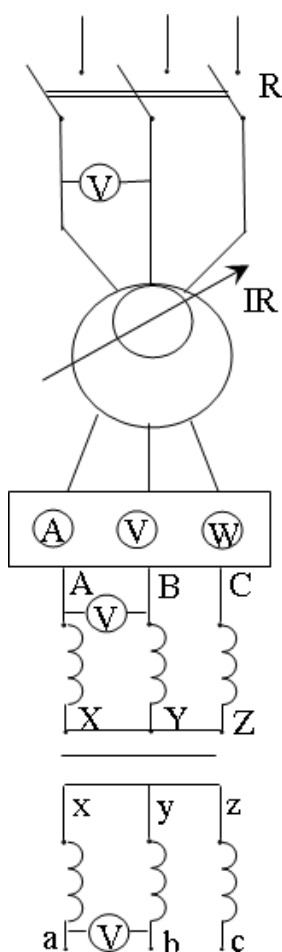
$$Z_0 = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot I_0}, \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}, \quad r_0 = \frac{P_0}{mI_0^2}$$

7. Transformatorning yuksiz ishlash quvvat koefitsiyenti

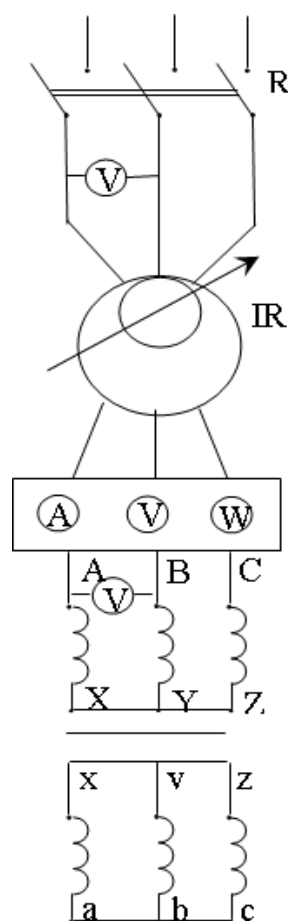
$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{mU_0 I_0}$$

1.1-jadval

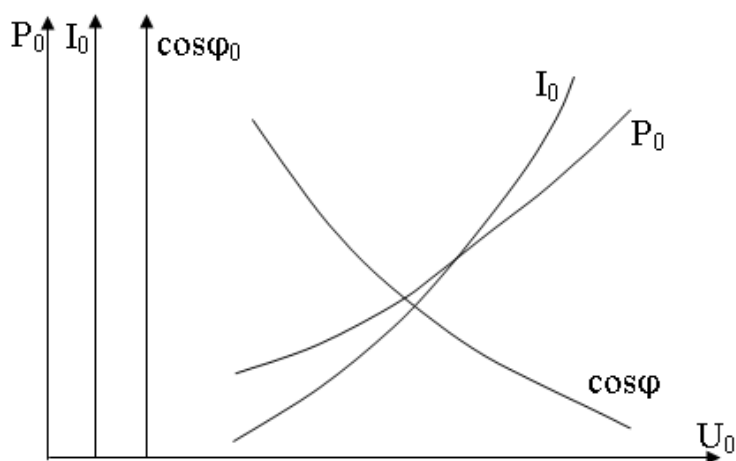
Oʻlchangan qiymatlar									Hisoblangan qiymatlar						
I_A	I_B	I_C	U_A	U_B	U_C	P_A	P_B	P_C	I_0	U_0	P_0	$\cos \varphi_0$	Z_0	X_0	r_0



1.2- rasm. Transformatorning salt ishlash tajribasi sxemasi



1.3-rasm. Transformator qisqa tutashish tajribasi



1.4-rasm. Transformatorning salt ishlash taysifi

8. Hisoblangan qiymatlar asosida yuksiz ishlash xarakteristikalarini quriladi (1.4-rasm).

8.1. Transformatorning qisqa tutashuv tajribasi.

8.2. Transformator qisqa tutashuvi ikkilamchi chulg'ami boshi va oxiri qarshiligi nolga yaqin bo'lgan o'tkazgich bilan ulanib, birlamchi chulg'amga kuchlanish berilganda sodir bo'ladi. Bunda ikkilamchi chulg'am kuchlanishi $U_2=0$ va YuK qarshiligi $Z_{yu}=0$ bo'ladi.

Transformator qisqa tutashuv holatida birlamchi chulg'amga nominal kuchlanish berilsa uning qarshiliklari nisbatan kichik bo'lganligi sababli, chulg'amlarda nominal tokdan 15-20 marta katta bo'lgan qisqa tutashuv toklari I_{1st} , va I_{2st} o'ta boshlaydi. Chulg'amlar o'ramlarida bu toklarning kvadratiga proporsional bo'lgan elektrodinamik kuchlar vujudga keladi va issiqlik ajralib chiqadi. Elektrodinamik kuchlar chulg'am simlarini uzib va eritib yuborishga olib kelishi mumkin. Shu tufayli nominal kuchlanishli transformatorning qisqa tutashuvi «avariya qisqa tutashuvi» deb hisoblanadi. Agar birlamchi chulg'am kuchlanishini shunday U_{st} , qiymatgacha kamaytirilganda $I_{1st}=I_{1n}$ bo'lsa, bunday holatni sinov qisqa tutashuvi deyiladi. Z_{st} ning qiymati kichikligi sababli $U_{st}=(0,05-0,17) U_n$ bo'ladi.

Qisqa tutashuv holatidagi ekvivalent elektr sxemasi parametrlarini va qisqa tutashuv kuchlanishi uchburchagini aniqlash imkonini beradi. Uchburchak yordamida esa transformator ishchi holatida tajriba o'tkazmay turib uning ishchi tavsiflarini qurish mumkin bo'ladi. Qisqa tutashuv tajribasi 1.3-rasmdagi sxema asosida bajariladi.

Sxema yig'ilgandan so'ng IR minimal kuchlanishlik holatga keltiriladi va manbaga ulanadi. Kuchlanish noldan oshirilib, tokning qiymati $1.2I_n$ da o'rnatiladi. O'lchov asboblarning ko'rsatkichlari yozib olinadi. Tok qiymati I_n o'rnatilib, ikkinchi ko'rsatkichlar yozib olinadi. Shu tariqa tok nolgacha 4 marta kamaytirilib 1.2-jadvalning chap tomoni to'ldiriladi.

Qisqa tutashuv tajribasi ma'lumotlari asosida quyidagilar hisoblanadi va 1.2-jadvalning o'ng tomoniga kiritiladi.

1.2-jadval

O'lchangan qiymatlar									Hisoblangan qiymatlar						
I_A	I_B	I_C	U_A	U_B	U_C	P_A	P_B	P_C	I_{st}	U_{st}	P_{st}	$\cos\varphi_{st}$	Z_{st}	X_{st}	r_{st}

Qisqa tutashuv toki I_{st} , kuchlanishi U_{st} , quvvati P_{st} , va quvvat koefitsiyenti $\cos\varphi_0$ quyidagicha topiladi:

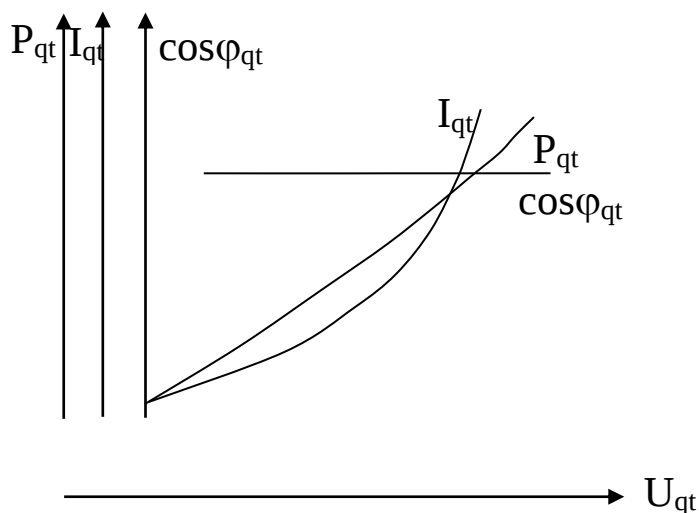
$$I_{qt} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \alpha_I;$$

$$U_{qt} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} \alpha_U;$$

$$P_{qt} = (P_a + P_b + P_c) \alpha_W;$$

$$\cos\varphi_{qt} = \frac{P_{qt}}{3U_{qt} \cdot I_{qt}}.$$

Ular yordamida transformatorning qisqa tutashuv tavsifi – I_{st} , P_{st} , $\cos\varphi_{st}=f(U_{st})$ quriladi (1.5-rasm).



1.5-rasm. Transformatorning qisqa tutashuv tavsifi

Qisqa tutashuv holatidagi aktiv, induktiv va to‘la qarshiliklar quyidagicha topiladi:

$$Z_{qt} = \frac{U_{qt}}{I_{qt}}, \quad r_{qt} = \frac{P_{qt}}{mI_{qt}^2}, \quad X_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}.$$

Sinov savollari

1. Nima uchun transformatorning qisqa tutashuv holati tekshiriladi?
2. Qisqa tutashuv holatidagi aktiv, induktiv va to‘la qarshiliklari qanday topiladi?

T2- laboratoriya ishi

Uch fazali, ikki chulg‘amli transformatorning yuklama holatidagi tavsiflari va parametrlarini tekshirish

1. Ishni bajarishdan maqsad

1. Transformatorning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishish.
2. Transformatorning yuklama holati va uning parametrlarini aniqlash.
3. Transformatorning yuklama tavsiflarini qurish.

2. Ishni bajarish yuzasidan topshiriqlar

1. Transformator tashqi ko‘rikdan o‘tkazilsin va pasportida ko‘rsatilgan ma’lumotlar hisobot daftariga yozilsin.
2. Yuklama tavsiflari I_1 , P_1 , $\cos\varphi_1$, U_2 , $\eta=f(k_{yu})$ ni qurish uchun ma’lumotlar 2-jadvalga yozib olinsin.

3. Ishni bajarishga oid qisqacha nazariy tushunchalar

Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amiga yuklama (Z_{yu}) ulansa, EYuK E_2 ta'sirida shu chulg'amdan I_2 tok o'tib, MYuK $I_2 w_2$ ni vujudga keltiradi. Bu MYuK asosiy magnit oqimga aks ta'sir qilishdan tashqari kuch chiziqlari nomagnit yo'llar orqali faqat shu chulg'am o'ramlari bilan ilashadigan tarqoq magnit oqim $F_{\sigma 2}$ ni ham hosil qiladi. Ikkilamchi chulg'am MYuK $I_2 w_2$ ning asosiy magnit oqimga ko'rsatadigan ta'sirini Lens qoidasi yordamida tushuntirish mumkin.

Lyens qoidasining ta'rifi: «O'zgarayotgan magnit oqim ilashgan berk o'tkazuvchi kontur (zanjir)da shunday yo'nalishdagi EYuK hosil bo'ladiki, uning vujudga keltirgan toki va u bilan bog'liq bo'lgan mexanik kuchlar magnit oqimning o'zgarishiga aks ta'sir qiladi».

Demak, agar ikkilamchi chulg'amga aktiv-induktiv yuklama ulansa, undan o'tayotgan tokning reaktiv tashkil etuvchisi I_{2r} vujudga keltirgan MYuK $I_{2r} w_2$ transformatorning birlamchi chulg'am MYuK $I_0 w_1$ ga teskari yo'nalgan bo'lib, asosiy magnit oqim F ni kamaytirishga, aktiv-sig'imiyluk Yuklamada esa $I_0 w_1$ ga mos yo'nalgan bo'lib, asosiy magnit oqimni oshirishga intiladi.

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

Shunday qilib, ikkilamchi chulg'amiga yuklama ulangan transformatorida magnit oqim Φ to'la tok qonuniga binoan birlamchi va ikkilamchi chulg'am MYuK larining birgalikdagi ta'siri tufayli yaratilib, ularning ta'sir etuvchi qiymatlarining geometrik yig'indisi salt ishlashdagi birlamchi chulg'am MYuK $I_0 w_1$ ga taxminan teng bo'ladi:

$$\underline{I}_1 w_1 + \underline{I}_2 w_2 \approx \underline{I}_0 w_1$$

Bu ifoda **transformatorning MYuK lari muvozanat tenglamasi** deyiladi. Bunda $\underline{I}_1 w_1$ – yuklama ulangan transformatorning birlamchi chulg'amida vujudga keladigan MYuK; $\underline{I}_2 w_2$ – ikkilamchi chulg'amda hosil bo'ladigan MYuK; $\underline{I}_0 w_1$ – salt ishlayotgan transformator birlamchi chulg'amining MYuK.

2.1-jadval

O'lchangan qiymatlar							Hisoblangan qiymatlar						
I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	U_2	I_2	U_1	P_1	I_1	P_2	$\cos \varphi_1$	η

Yuqoridagi tenglamaning ikkala tomonini w_1 ga bo'lamiz va $\underline{I}_2 (w_2/w_1) = \underline{I}'_2$ belgilashdan keyin hosil bo'lgan tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$\underline{I}_1 \approx \underline{I}_0 + (-\underline{I}'_2).$$

Bu ifoda transformatorning **toklar muvozanati tenglamasidir**.

Bu tenglamadan *quyidagi xulosa* kelib chiqadi: transformator birlamchi chulg‘amining toki I_1 2 ta tokning geometrik yig‘indisidan iborat ekan:

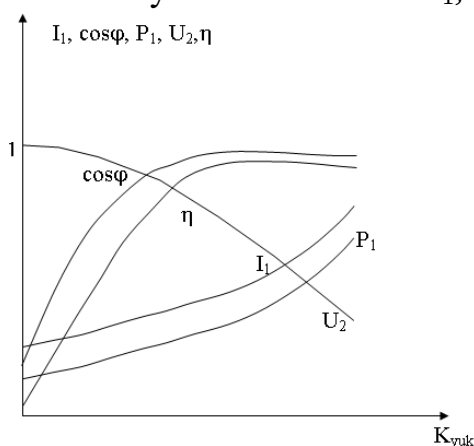
1) I_0 – birlamchi chulg‘amda MYuK $I_0 w_1$ ni hosil qilib magnit o‘tkazgichda asosiy magnit oqimni vujudga keltiradi;

2) $(-I'_2)$ – Yuklama tokining ta'siri tufayli birlamchi chulg‘amdagi tok shu kattalikka oshadi va uning birlamchi chulg‘amda hosil qilgan $(-I'_2 w_1)$ MYuK si *Lens qoidasiga binoan* ikkilamchi chulg‘am MYuK $I_2 w_2$ ning ta'sirini kompensatsiya qiladi.

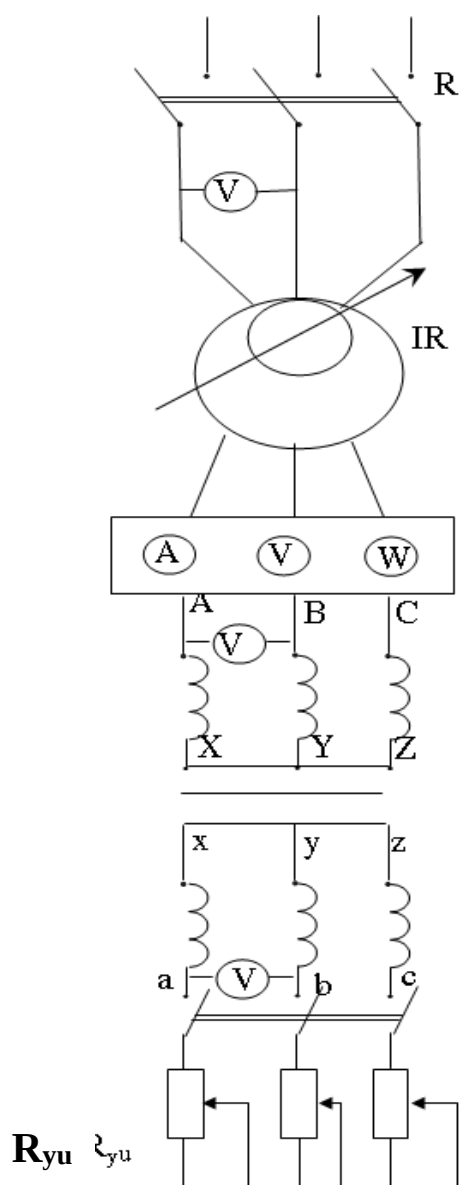
4. Ishni bajarish va hisobot tayyorlash tartibi

1. Transformatorning yukli ishlash rejimini hosil qilish uchun 2.1- rasmdagi kabi, birlamchi chulg‘amga nominal kuchlanish berib, ikkilamchi chulg‘amni esa iste'molchiga ulash lozim. Kuchlanish $U_1=U_{1n}$ qiymatni o‘zgartirmasdan saqlagan holda, Z_{YK} ning 4-5 ta qiymatlari uchun birlamchi chulg‘am toklari, quvvati va ikkilamchi chulg‘am toki hamda kuchlanishlarining qiymatlarini o‘lchov asboblariining ko‘rsatkichlarini 1- jadvalning chap tomoniga yozib olinadi.

2. Birlamchi chulg‘am tokining o‘rtacha qiymati, quvvati va quvvat koeffitsiyentlari avvalgi tajribalardagidek hisoblanib 2- jadvalning o‘ng tomoni to‘ldiriladi va yuklama tavsiflari I_1 , P_1 , $\cos\varphi_1$, U_2 , $\eta=f(k_{yu})$ lar quriladi (2.2-rasm).



2.2-rasm.Transformatorning yuklama tavsifi



2.1- rasm. Transformator yuklama tajribasi sxemasi

Sinov savollari

1. Nima uchun transformatorning yuklama holati tekshiriladi?
2. Yuklama holatida ikkinchi chulg'am kuchlanishi nega tushib ketadi?
3. Transformatorning yuklama holatidagi vektor diagrammasini chizib bering.
4. Transformator qisqa tutashuv parametrlariga uning konstruktiv qismlari o'lchamlarining qanday ta'siri bor?

T3-laboratoriya ishi

Uch fazali, ikki chulg'amli transformatorlarning ulanish guruhlarini aniqlash

1. Ishni bajarishdan maqsad

1. Transformator chulg'amlarining ulanish guruhlarini aniqlash.

2. Ishni bajarish yuzasidan topshiriqlar

1. Tekshirilayotgan transformatorlarning hujjatlarida ko'rsatilgan ma'lumotlarni hisobot daftoriga yozilsin.

2. Transformatorlar ulanish guruhlarini aniqlansin.

3. Ishni bajarishga oid qisqacha nazariy tushunchalar

Transformatorlar parallel ulanganda iste'molchilarni uzluksiz elektr energiya bilan ta'minlash, transformatorlarni ta'mirlashni tashkil etish engillashadi, iste'molchi qabul qilayotgan quvvatning qiymati o'zgarganda parallel ishlayotgan transformatorlar sonini o'zgartirib ularni nominal rejimda ushlab turiladi.

Transformatorlarni parallel ulash uchun, transformatorni parallel ulash shartlari bajarilishi kerak. Shu shartlardan biriga asosan parallel ulanayotgan transformatorlarning ulanish guruhlarini bir xil bo'lishi kerak. Agar ushbu shart bajarilmasa ikkilamchi chulg'amlarning kuchlanishlari orasidagi faza burchaklari hisobiga tenglashtiruvchi tok har doim mavjud bo'lishiga olib keladi. Transformatorlar ulanish guruhlarini nazariyasiga asosan, agarda transformatorlardan biri 0 guruh,

ikkinchisi 11 guruhga taaluqli bo'lsa faza burchaklari $\frac{\pi}{6}$ ga teng. Bu qiymat esa ikki xil ulanish guruhli transformatorlarda minimaldir. Ko'p hollarda uchraydigan $U_{st}=5,5\%$ va 6-10 kV kuchlanishli transformatorlar uchun yuksiz ishlagandagi tenglashtiruvchi tok

nominal tokdan $\frac{I_{TENG}}{I_2} = \frac{100 \sin \frac{\pi}{12}}{U_{qt}} = 4,7$ marta katta bo'ladi. Bu esa har xil ulanish

guruhlariga mansub bo'lgan transformatorlarni parallel ishlatish qat'iyan man etilishiga dalildir. **Amaliyot uchun muhim xulosa.** Transformatorlarning ulanish guruhi faqatgina PK chulg'amning YuK chulg'amga nisbatan o'ralish yo'nalishiga, PK fazaviy chulg'amlarning uchlari qanday belgilanishiga hamda ularning ulanish sxemalariga bog'liq bo'lib qolmasdan, YuK va PK fazaviy chulg'amlarni qanday ketma-ketlikda ulab «Δ» sxemasini hosil qilishga ham bog'liq bo'ladi. **Ulanish guruhlarini tajriba yo'li bilan aniqlash usullari.**

a) Fazometr usuli. Bu usul YuK va PK chulg'amining mos liniyaviy kuchlanishlari (yoki EYuK lari) orasidagi faza siljish burchagini fazometr (ϕ) yordamida bevosita o'lchashga asoslangan.

b) Voltmetr usuli. Bu usulda chulg'amlarning liniyaviy kuchlanishlari (yoki EYuK lari) orasidagi siljish burchagi o'lchanmaydi. Demak, u bilvosita usul bo'lib, YK va PK chulg'amlarning bir xil nomli uchlariaro kuchlanish (yoki EYuK) larni o'lchashga asoslangan. Agar Y/Y-0 ulanish guruhi tekshirilsa, YuK va PK chulg'amlarning «A» va «a» uchlari sim bilan ulab U_{Bb} va U_{Cc} kuchlanishlar o'lchanadi. O'lchangan kuchlanishlar quyidagi:

$$U_{Vb}=U_{Ss}=U_{ab}(k_l-1) \quad (3.1)$$

tenglamani qanoatlantirsa (bunda $k_l=U_{AB}/U_{ab}$ – liniyaviy kuchlanishlarni transformatsiyalash koeffitsiyenti), ulanish guruhi Y/Y – 0 ga mos keladi.

Boshqa guruhlar uchun esa quyidagi tenglamalar bo'yicha tekshiriladi:

$$Y/Y-6 \text{ guruh uchun} - U_{Bb}=U_{Cc}=U_{a'b'}(k_l + 1), \quad (3.2)$$

$$Y/\Delta-11 \text{ guruh uchun } -U_{Bb}=U_{Cc}=U_{ab}\sqrt{1-\sqrt{3}+\kappa_{\ell}+\kappa_{\ell}^2}, \quad (3.3)$$

$$Y/\Delta-5 \text{ guruh uchun } -U_{Bb}=U_{Cc}=U_{a'b'}\sqrt{1+\sqrt{3}+\kappa_{\ell}+\kappa_{\ell}^2}, \quad (3.4)$$

(2÷4) tenglamalarda U_{ab} va $U_{a'b'}$ – PK chulg'am liniyaviy kuchlanishlari.

Agar o'lchangan kuchlanishlar keltirilgan formulalarni qanoatlantirmasa, demak, transformator chulg'amlarining uchlari noto'g'ri belgilangan bo'ladi.

c) Tajribaviy–grafik usuli. Transformatorning ulanish guruhini bu usulda aniqlash uchun YuK va PK chulg'amlarning bir xil nomli (masalan, «A» va «a») qisqichlarini o'zaro birlashtirib transformatorning YuK chulg'amini simmetrik uch fazali kuchlanish manbaiga qo'shib, liniyaviy hamda U_{Bb} , U_{Cc} , U_{Cb} va U_{Bc} kuchlanishlari o'lchanadi.

Olingan natijalar bo'yicha tanlangan masshtabda YuK chulg'amning liniyaviy kuchlanishlar teng tomonli uchburchagi quriladi. Bu uchburchakning B va C nuqtalaridan sirkul bilan U_{Bb} va U_{Cb} radiuslarida 2 ta yoy chizilsa, kesishgan nuqtalari ularning PK chulg'am liniyaviy kuchlanishlari uchburchagining «b» uchini hosil qiladi. Agar U_{Cc} va U_{bc} radiuslarida yoylar chizilsa, izlanayotgan uchburchakning «c» uchini beradi.

Sxemada «A» va «a» uchlar o'zaro ulanganligidan ularning potentsiallari bir xil bo'ladi. Aniqlangan «a», «b», «c» nuqtalarni birlashtirib, PK chulg'am liniyaviy kuchlanishlar uchburchagi "abc" ni hosil qilamiz.

3.1-jadval

T/r	O'lchangan qiymatlar					
	AB	Ab	Bb	Cb	Bc	cC
	B	B	B	B	B	B
1						
2						
3						

Agar yuqorida belgilangan qoidaga binoan YuK chulg'am liniyaviy kuchlanishlar uchburchagining AB tomoni soatning 12 raqamiga yo'naltirilsa, PK chulg'am liniyaviy kuchlanishlar uchburchagining «ab» tomoni ulanish guruhini aniqlaydi.

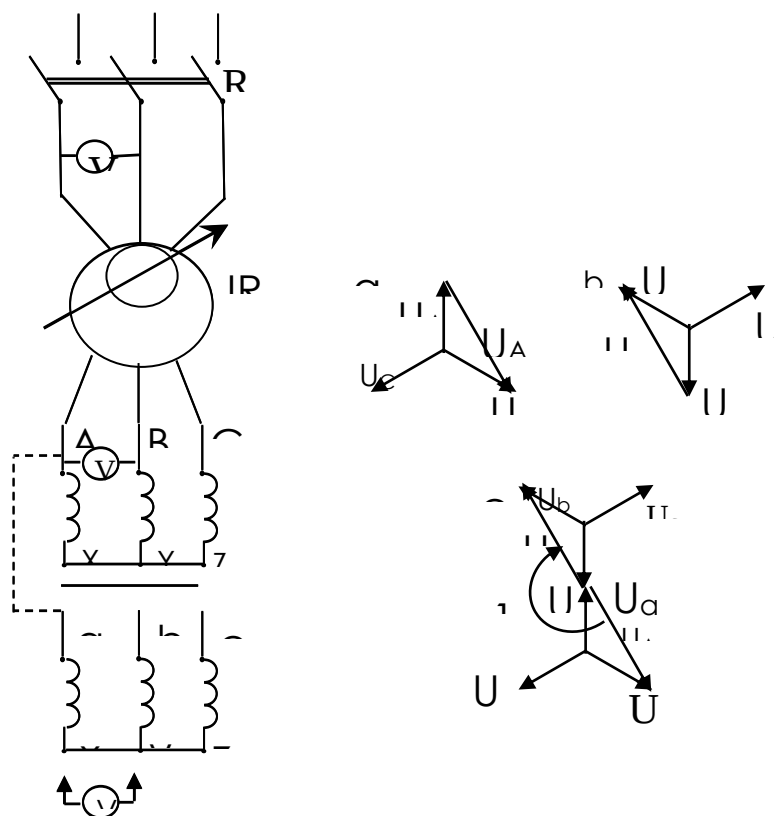
4. Ishni bajarish va hisobot tayyorlash tartibi

5.

O'qituvchining ko'rsatmasiga ko'ra transformatorning bir necha ulanish guruhlari tajriba usuli bilan aniqlanadi. Buning uchun 3.1-rasmdagi sxema yig'iladi. Birlamchi chulg'amga uch fazali kuchlanish beriladi va A-X, B-Y, C-Z, a-x, b-y, c-z, B-B, C-c, A-B, a-b nuqtalar orasidagi kuchlanishlar (potensiallar farqi) voltmeter yordamida o'lchanib, 3.1- jadvalga kiritiladi.

Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar uchun alohida vektor diagrammalar quriladi (3.1-rasm, a, b, c). Chulg'amlar «A» va «a» nuqtalarda elektrik bog'langanligini hisobga olib, ikkala vektor diagrammasi birgalikda chiziladi. U_{AB} va U_{ab} kuchlanishlar

vektorlari aniqlanib, ular orasidagi burchak 30° ga bo'linadi. Hosil bo'lgan son ulanish guruhini tartibini bildiradi



3.1- rasm. Ikkita voltmetr yordamida transformatorning ulanish guruhlarini topish sxemasi

Sinov savollari

1. Transformatorning ulanish guruhlari haqida nima bilasiz?
2. Transformatorning ulanish guruhlarini aniqlash usullari.
3. Transformatorlarda nechta guruh mavjud?
4. Chulg'amlari Y/Y yoki Δ/Δ ulansa qanday guruh bo'ladi?
- 5.5. Chulg'amlari Y/ Δ yoki Δ/Y ulansa qanday guruh bo'ladi?

T – 4. UCH FAZALI IKKI CHULG'AMLI TRANSFORMATORLARNING PARALLEL ISHLASHI

1. ISHNI BAJARISHDAN MAQSAD.

- 1.1. Transformatorlarni parallel ulashni o'rganish.
- 1.2. Parallel ishlab turgan transformatorlarning ish rejimini tahlil qilish.

2. ISHNI BAJARISH YUZASIDAN TOPSHIRIQLAR.

2.1. Tekshirilayotgan transformatorlarning hujjatlarida ko'rsatilgan ma'lumotlarni hisobot daftariga yozilsin.

2.2. Transformatorlarlar parallel ulansin. Bunda U_{21} , U_{22} , I_{21} , $I_{22} = f(I_{yuk})$ xarakteristikallari qurilsin.

3. ISHNI BAJARISHGA OID QISQACHA NAZARIY TUSHINCHALAR

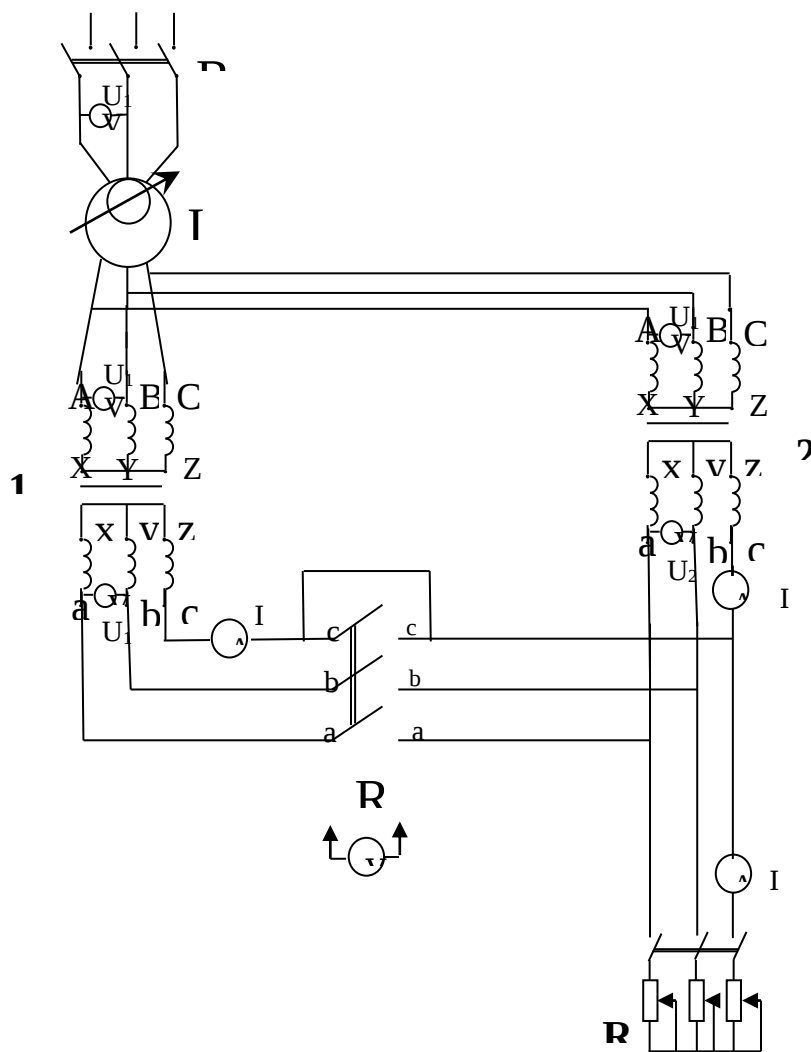
Transformatorlar parallel ulanganda iste'molchilarni uzluksiz elektr energiya bilan ta'minlash, transformatorlarni ta'mirlashni tashkil etish engillashadi, iste'molchi qabul qilayotgan quvvatning qiymati o'zgarganda parallel ishlayotgan transformatorlar qonini o'zgartirib ularni nominal rejimda ushlab turiladi.

Transformatorlarni parallel ulash uchun, quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

1. Parallel ulanayotgan transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari nominal kuchlanishlari ishlab turgan transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi chulg'am kuchlanishlariga o'zaro teng bo'lishi yoki ularning transformatsiyalash koeffitsientlari teng bo'lishi kerak.

2. Parallel ulanayotgan transformatorlarning qisqa tutashuv kuchlanishlarining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari o'zaro teng ya'ni ulanayotgan transformatorlarning qisqa tutashuv kuchlanishlari teng yoki qisqa tutashuv uchburchaklari teng bo'lishi kerak.

Parallel ulanayotgan transformatorlar ulanish guruhlari bir xil bo'lishi kerak. Agar ushbu shart bajarilmasa ikkilamchi chulg'amlarning kuchlanishlari orasidagi faza burchaklari hisobiga tenglashtiruvchi tok har doim mavjud bo'lishiga olib keladi. Transformatorlar ulanish guruhlari nazariyasiga asosan, agarda transformatorlardan biri 0 guruh,



9 - ras. Transformator ulanish tizimi

3. ikkinchisi 11 guruhga taalusli bo'lsa faza burchaklari $\frac{\pi}{6}$ ga teng. Bu qiymat esa ikki xil ulanish guruhli transformatorlarda minimaldir. Ko'p hollarda uchraydigan $U_{st}=5.5\%$ va 6-10 kV kuchlanishli transformatorlar uchun, yuksiz ishlagandagi

tenglashtiruvchi tok nominal tokdan $\frac{I_{TENG}}{I_2} = \frac{100 \sin \frac{\pi}{12}}{U_{qt}} = 4.7$ marta katta bo'ladi. Bu esa

har xil ulanish guruhlariga mansub bo'lgan transformatorlarni parallel ishlatish qat'iyan man etilishiga dalildir.

1- shart bajarilmasa qolgan shartlar bajarilsa kuchlanishlar vektorlari farsining qiymati transformatsiyalash koeffitsientlari farqiga proporsional bo'ladi; 2- shart bajarilmasa transformatorlar yuklanish darajasi har xil bo'ladi, ya'ni qisqa tutashuv kuchlanishi kichik bo'lgan transformator nominal yuklanishdan ortiqroq, qisqa tutashuv kuchlanishi katta bo'lgan transformator nominal yuklanishdan kamroq yuklanadi.

№	O'lchangan qiymatlar					
	I_{21}	I_{22}	I_{yuk}	U_{21}	U_{22}	U_1
1.						
2.						
3.						
4.						

A1-laboratoriya ishi

Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv tavsiflarini tekshirish

1. Ishni bajarishdan maqsad

1. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipini o'rganish.

2. Motorning salt ishlash va qisqa tutashuv tavsiflarini tajribada tekshirish va ularni grafik tarzda tasvirlash.

2. Ishning dasturi

1. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning stator chulg'amlarini yulduz sxemasidan uchburchak sxemasiga o'tkazish orqali ishga tushirish.

2. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning salt ishlash tavsifi

I_0 , P_0 , $\cos \varphi_0 = (U_0)$ ni ifodalovchi bog'liqlikni $f_1 = f_n = \text{const}$ va $P_2 = 0$ bo'lganda olish.

3. Qisqa tutashuv tavsifi I_q , P_q , $\cos \varphi_q = f(U_q)$ ni ifodalovchi bog'liqlikni $f_1 = f_n = \text{const}$ va $n = 0$ bo'lganda olish.

3. Ishni bajarish yuzasidan qisqacha nazariy tushunchalar

Kollektorsiz asinxron motorlar *zamonaviy elektr yuritmaning asosini* tashkil etib, sanoat turlarining barcha sohalaridagi avtomatik boshqarish jarayonlarida, qishloq xo'jaligida, kon ishlaridagi yirik elektr jihozlari yuritmalarida va boshqa sohalarda keng qo'llaniladi.

Asinxron motorning rotor stator ichiga o'rnatiladi. Rotor – val, po'lat o'zak va uning pazlariga joylashtirilgan qisqa tutashgan chulg'am yoki uchta fazaviy chulg'amdand iborat. Stator – tana, po'lat o'zak va uning pazlarida joylashgan bir, ikki yoki uch fazali chulg'amdand iborat. Stator va rotorlarning po'lat o'zaklari maxsus elektrotexnik po'latdan tayyorlangan yupqa tunukalardan yig'iladi.

Asinxron motorlar rotorining tuzilishiga qarab ikki xil bo'ladi:

1) qisqa tutashgan rotorli asinxron motor (rotor chulg'ami qisqa tutashgan) (6.1-rasm);

2) faza rotorli asinxron motor (rotor chulg'ami uch fazali)

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor rotorining po'lat o'zagi pazlariga eritilgan alumin quyilib, chulg'am o'tkazgichlari (sterjenlar) hosil qilinadi va ularning pazlardan tashqari uchlari ikki tomondan quyma aluminiy halqalar orqali qisqa tutashgan bo'ladi. Natijada, yaxlit «olmaxon katagi» ko'rinishidagi qisqa tutashgan chulg'am hosil qilinadi.

Faza rotorli asinxron motoriga val, valga o'rnatilgan po'lat o'zak, uning pazlariga bir-biriga nisbatan 120^0 ga siljigan uch fazali chulg'am joylashtiriladi. Rotorning fazaviy chulg'amlari yulduz usulida ulangan bo'ladi va ularning uchlari esa valning bir tomonida o'rnatilgan uchta mis yoki jez (mis va rux aralashmasi) halqalarga ulanadi.

Ishlash prinsipi. Uch fazali asinxron motorning stator chulg'amiga uch fazali tok berilganda vujudga kelgan magnit yurituvchi kuch (MYuK) statorda aylanish chastotasi $n_1 = 60 f / p$ bo'lgan aylanma magnit maydonni hosil qiladi. Bu maydon kuch chiziqlari stator chulg'ami o'ramlarini va rotorning qisqa tutashgan chulg'am sterjenlarini yoki uch fazali chulg'ami o'ramlarini kesib o'tib, ularda EYuK lar hosil qiladi. Agar rotor chulg'ami qisqa tutashgan bo'lsa, undagi EYuK ta'sirida qisqa tutashgan rotor chulg'amlari o'tkazgichlaridan tok o'tib, bu tokning stator hosil qilgan aylanma magnit maydoni bilan o'zaro ta'siri natijasida rotor chulg'ami o'ramlariga elektromagnit kuch ta'sir qiladi. Bu kuch hosil qilgan aylantiruvchi (elektromagnit) moment tormozlovchi momentdan katta bo'lsa, rotorni aylanma magnit maydon yo'nalishida aylantiradi.

Aylanma magnit maydonning aylanish chastotasi n_1 bilan rotorning aylanish chastotasi n orasidagi nisbiy farqqa sirpanish (s) deyiladi va u quyidagicha aniqlanadi ($n.b.$ – nisbiy birlik):

$$a) S_{(n.b.)} = (n_1 - n) / n_1;$$

$$b) S_{(\%)} = (n_1 - n) / n_1 \cdot 100 \quad (1)$$

Ish rejimlari. Stator magnit maydonining aylanish chastotasi n_1 va rotorining aylanish chastotasi n larning qiymatlariga bog'liq holda asinxron mashina motor,

generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlashi mumkin. Bulardan tashqari qisqa tutashuv va salt ishlash rejimlari ham mavjuddir.

Asinxron mashina *motor rejimida* ishlaganida rotorning aylanish chastotasi stator aylanma magnit maydoni chastotasidan kichik ($n_1 > n$) bo'lib, sirpanish esa $0 < s < 1$ oraliqda bo'ladi. Bu holda stator chulg'ami tarmoqdan elektr energiya bilan ta'minlanadi va rotorning vali qandaydir mexanizmga mexanik momentni beradi. *Mashinada elektr energiya mexanik energiyaga aylantiriladi.*

Asinxron mashinaning rotorini tormozlanib ($n=0$), stator chulg'ami tarmoqqa ulangan holatni *qisqa tutashuv rejimi* deyiladi (bunda sirpanish $s=1$ bo'ladi). Agar rotorning aylanish chastotasini stator chulg'ami aylanma magnit maydoni chastotasi (sinxron chastotasi) bilan teng ($n=n_1$) qilinsa (buning uchun birlamchi motor yordamida rotorning aylanish chastotasini bir oz oshirish zarur), sirpanish $s=0$ bo'ladi. Bunda aylantiruvchi moment hosil bo'lmaydi, chunki aylanma maydon rotor chulg'amini kesib o'tmaydi. Bunday rejimni asinxron mashinaning *ideal salt ishlash rejimi* deyiladi.

Agar asinxron mashinaning rotorini birorta mexanizm yordamida stator magnit maydoni aylanish chastotasidan katta ($n > n_1$) bo'lgan chastotada aylantirilsa rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYuK, tokning aktiv tashkil etuvchisi va sirpanishlar o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Bunda elektromagnit moment M ham o'z yo'nalishini o'zgartirib *tormozlovchi* bo'ladi, ya'ni asinxron mashina *generator rejimiga* o'tadi. Asinxron mashina generator rejimi birlamchi motordan mexanik energiya olib, uni elektr energiyaga aylantirib tarmoqqa beradi. Bunda sirpanish $0 > s > -\infty$ oraliqda o'zgaradi (« $-\infty$ » – nazariy nuqtaiy nazardan; amalda esa olib bo'lmaydi).

Agar asinxron mashinaning rotorini boshqa motor bilan stator magnit maydoni aylanishiga teskari yo'nalishda aylantirilsa, rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYuK va tokning aktiv tashkil etuvchisi motor rejimidagi singari yo'nalgan bo'ladi, ya'ni mashina tarmoqdan energiya oladi. Lekin bu rejimda elektromagnit moment rotor aylanishiga teskari yo'nalib, tormozlovchi bo'ladi. Bu rejim – asinxron mashinaning *elektromagnit tormoz rejimi* deyiladi. Bu rejimda rotorning aylanish yo'nalishi aylanma maydonnikiga nisbatan teskari bo'lgani uchun rotor aylanish chastotasi $n < 0$, sirpanishi esa $1 < s < +\infty$ oraliqda o'zgaradi. Bu rejimda asinxron mashina rotor tomonidan mexanik energiya, stator tomonidan esa elektr energiya oladi.

Asinxron mashinaning elektromagnit tormoz rejimi amaliyotda kranlarda va ko'targich mexanizmlarda YKni tushirish jarayonida uning tezligini kamaytirish yoki zarur bo'lganda ularni tezda to'xtatish uchun qo'llaniladi. Bu maqsadda stator chulg'amiga tarmoqdan ulangan xohlagan ikkita simning o'rnini almashtirib ulash kerak bo'ladi. Bu holda statorning aylanma magnit maydoni o'z yo'nalishini o'zgartiradi va tormoz momentini hosil qiladi. Bu rejimda sirpanish katta ($s=1$) bo'lganligidan, rotor chulg'amidagi EYuK, demak, tok ham katta bo'ladi. Bu tokni kamaytirish uchun faza rotorli motorda rotor chulg'amini aktiv qarshilikka – tormozlovchi reostatga ulaydilir.

Umumiy maqsadli asinxron motorlar nominal yuklama bilan ishlayotgandagi sirpanish $s_N = 3 \div 5 \%$ ni, maxsus asinxron motorlarning ayrimlarida esa $s_N = 12 \div 15\%$ ni tashkil qiladi.

4. Ishni bajarish tartibi va hisobot tayyorlash bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar

1. Motor pasportidagi uning normal ish holatini ko'rsatuvchi nominal kattaliklar hisobot daftarchasiga ko'chirilib yoziladi.

2. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motori yurgiziladi. Motorning stator chulg'amini yulduz (Y) usulidan uchburchak (Δ) usuliga ulab yurgiziladi (6.1 - rasm). Asinxron motorning stator chulg'ami ko'pincha Δ usulida ulanadi. Chulg'amlar Δ usulida ulanganda yurgizish toki ancha katta bo'ladi. Agar chulg'amlar Y usulida ulansa, ayrim faza chulg'amlariga beriladigan kuchlanish $\sqrt{3}$ marta kamayadi, demak, faza toklari ham $\sqrt{3}$ marta kamayadi. Motorni 1-rasmdagi sxema asosida yurgizish uchun qayta ulagich PY holatiga o'tkazilib, motor rubilnik P_1 yordamida elektr tarmog'iga ulanadi. Motorning aylanish tezligi barqarorlashgan qiymatga yetganda qayta ulagich P Δ holatiga chaqqonlik bilan o'tkaziladi. Bunda stator chulg'amlari Δ usulida ulanib qoladi va motor normal sharoitda ishaydi. Motorning yurgizish momenti tarmoq kuchlanishi kvadratiga to'g'ri mutanosib ($M \propto U_1^2$) bo'lgani uchun, yurgizish vaqtida aylantiruvchi moment M_{yur} ham uch marta kamayadi. Shu sababli nominal yuklama bilan yurgiziladigan motorlarni bu usul bilan yurgizib bo'lmaydi. Yurgizish vaqtida M_{yur} ning kichik bo'lishi bu usulning kamchiligi hisoblanadi.

3. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning salt ishlash tavsifini olish uchun 6.1– rasm sxemadagidek yig'iladi. Stator chulg'ami induksion rostlagich (IR) orqali P_1 rubilnik yordamida elektr tarmog'iga ulanadi. IR yordamida stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanishning qiymati o'zgartirib turiladi. Kuchlanish, tok va aktiv quvvatlarning qiymatlari o'lchov asbobi K-50 yoki K-505 yordamida aniqlanadi.

Motorni yurgizib bo'lgandan so'ng stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanishning qiymati IR yordamida $1,2 U_N$ ga yetkaziladi va birinchi o'lchash amalga oshiriladi. So'ngra kuchlanishning qiymati kamaytirilib 5-6 ta nuqta olinadi. O'lchash natijalari 6.1 – jadvalga yoziladi.

Salt ishlash toki I_0 quyidagicha topiladi:

$$I_0 = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \alpha_I$$

6.1-jadval

O'lchangan qiymatlar									Hisoblangan qiymatlar						
I_A	I_B	I_C	U_A	U_B	U_C	P_A	P_B	P_C	I_0	U_0	P_0	$\cos\varphi_0$	Z_0	X_0	r_0

Salt ishlash kuchlanishi:

$$U_0 = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} \alpha_U$$

Salt ishlash quvvati:

$$P_0 = (P_a + P_b + P_c) \alpha_W.$$

Salt ishlash quvvat koeffitsiyenti:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{3U_0 \cdot I_0}$$

Salt ishlash holatidagi aktiv r_0 , induktiv X_0 va to'la qarshiliklar Z_0 quyidagicha topiladi:

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0}, \quad r_0 = Z_0 \cos\varphi_0, \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}.$$

Bu formulalar yordamida topilgan qiymatlar 1 – jadvalning o'ng tomoniga yozib qo'yiladi va ular yordamida motorning salt ishlash tavsifi – I_0 , P_0 , $\cos\varphi_0 = f(U_0)$ quriladi (6.2 - rasm).

4. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning Qisqa tutashuv tavsifini olish uchun ham 6.1- rasmdagi sxemadan foydalanamiz. Lekin bu tajribani o'tkazish jarayonida motorning rotorini tormozlovchi qurilma yordamida qo'zg'almas holatda ushlab turiladi. IR ning holati nol (0) holatiga o'rnatilib, P_1 rubilnik yordamida motor tarmoqqa ulanadi va tezda IR yordamida kuchlanish qiymati oshirilib borilib, tokning $1,2I_H$ qiymati qo'yiladi va birinchi o'lchash amalga oshiriladi. So'ngra IR yordamida kuchlanish pasaytirib boriladi va I, P, U ning 5-6 nuqtasi o'lchab olinadi va 2 – jadvalning chap tomoniga yozib qo'yiladi.

Qisqa tutashuv toki I_{qt} , kuchlanishi U_{qt} , quvvati P_{qt} va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_0$ quyidagicha topiladi:

$$I_{qt} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \alpha_I$$

$$U_{qt} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} \alpha_U$$

$$P_{qt} = (P_a + P_b + P_c) \alpha_W$$

$$\cos\varphi_{qt} = \frac{P_{qt}}{3U_{qt} \cdot I_{qt}}$$

Qisqa tutashuv holatidagi aktiv, induktiv va to'la qarshiliklar quyidagicha topiladi:

$$Z_{qt} = \frac{U_{qt}}{I_{qt}}, \quad r_{qt} = Z_{qt} \cos\varphi_{qt}, \quad X_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}.$$

6.1- rasm. Motorni yurgizish va tajriba o'tkazish sxemasi

Bu formulalar yordamida topilgan qiymatlar 6.1 – jadvalning o'ng tomoniga yozib qo'yiladi va ular yordamida motorning qisqa tutashuv tavsifi – I_{qt} , P_{qt} , $\cos\varphi_{qt} = f(U_{qt})$ quriladi (6.3 - rasm).

6.2-jadval

O'lchangan qiymatlar									Hisoblangan qiymatlar						
I_A	I_B	I_C	U_A	U_B	U_C	P_A	P_B	P_C	I_{qt}	U_{qt}	P_{qt}	$\cos\varphi_{qt}$	Z_{qt}	X_{qt}	r_{qt}

Sinov savollari

1. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning tuzilishi va ishlash printsiptini tushuntirib bering.
2. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarning qanday yurgizish usullarini bilasiz.
3. Motorning salt ishlash tavsiflari tajribada qanday olinadi va ularning o'zgarish xarakterini tushuntirib bering.
4. Motorning qisqa tutashuv tavsiflari tajribada qanday olinadi va ularning o'zgarish xarakterini tushuntirib bering.

A2-laboratoriya ishi

Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning ish tavsiflarini tekshirish

1. Ishni bajarishdan maqsad

1. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning ish tavsiflarini tajriba yo'li bilan olish va uni qurishni o'rganish.

2. Ishning dasturi

1. Motorning ish tavsiflarini ifodalovchi bog'liqlik $P_1, I_1, \cos\varphi_1, \eta, S, n=f(P_2)$ larni $U_1=U_n=\text{const}$ va $f_1=f_n=\text{const}$ bo'lganda
 - a) stator chulg'amlari yulduz
 - b) stator chulg'amlari uchburchak ulangan holatlar uchun olish.

3. Ishni bajarish yuzasidan qisqacha nazariy tushunchalar

$U_1=\text{const}$ va $f_1=\text{const}$ shartlar ta'minlangan holda rotorning aylanish chastotasi n , sirpanishi s , stator toki I_1 , foydali momenti M_2 , quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$ va FIK η larni valdagi YK (foydali quvvat) P_2 ni o'zgartirib olingan $n, s, I_1, M_2, \cos\varphi, \eta = f(P_2)$ bog'liqlikka asinxron motorning *ish xarakteristikalar*i deyiladi.

Analitik hisoblash usul asinxron motorning almashtirish sxemasiga asoslangan. Bunda asinxron motorning pasportida ko'rsatilgan ma'lumotlar (P_N, U_{1N}, n_N) hamda salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalaridan olingan natijalar hisoblashda dastlabki ma'lumot uchun yetarli bo'ladi.

Hisob quyidagi tartibda amalga oshiriladi.

Rotor chulg'amining keltirilgan aktiv qarshiligi r'_2 , kritik sirpanish s_{kr} va nominal sirpanish s_N lar quyidagicha aniqlanadi:

$$r'_2 = r_{qt} - r_1, \quad (3)$$

$$s_{kr} \approx r'_2 / x_{qt} \quad (4)$$

$$s_N = (n_1 - n_N) / n_1 \quad (5)$$

Sirpanishga 7÷8 qiymatlar (bunga sirpanishning nominal s_N va kritik s_{kr} qiymatlari ham kiradi) berib ish xarakteristikalarini qurish uchun zaruriy bo'lgan kattaliklar aniqlanadi.

Ekvivalent aktiv qarshilik, (Ω)

$$r_{ek}=r_1+r'_2/s. \quad (6)$$

Almashtirish sxemasi ishchi zanjiri (konturi)ning ekvivalent to'la qarshiligi (Ω)

$$Z_{ek}=\sqrt{r_{ek}^2+x_{qt}^2}. \quad (7)$$

Asinxron motor almashtirish sxemasi ish konturining quvvat koeffitsiyenti

$$\cos\varphi_2=r_{ek}/Z_{ek} \quad (8)$$

Rotor chulg'amining keltirilgan toki, (A)

$$I'_2=U_1/Z_{ek} \quad (9)$$

va uning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari, (A)

$$I'_{2a}=I'_2\cos\varphi_2; \quad (10)$$

$$I'_{2r}=I'_2\sin\varphi_2 \quad (11)$$

Stator chulg'amining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari, (A)

$$I_{1a}=I_{0a}+I'_{2a}; \quad (12)$$

$$I_{1r}=I_{0r}+I'_{2r}, \quad (13)$$

bunda: $I_{0a}=I_0\cos\varphi_0$ – salt ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisi;

$I_{0r}=I_0\sin\varphi_0$ – salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi.

Stator chulg'amining toki, (A)

$$I_1=\sqrt{I_{1a}^2+I_{1r}^2}. \quad (14)$$

Asinxron motorning quvvat koeffitsiyenti

$$\cos\varphi_1=I_{1a}/I_1. \quad (15)$$

Motorning iste'mol qiladigan aktiv quvvati, (W)

$$P_1=m_1U_1I_{1a} \quad (16)$$

Salt ishlash rejimdagi aktiv quvvati, (W)

$$P_0=m_1I_0^2r_1+P'_m+P'_{mex}, \quad (17)$$

bunda r_1 - stator fazaviy chulg'amining aktiv qarshiligi (Ω); bu qarshilik mazkur tajribani o'tkazib bo'lgandan keyin tezda o'lchab olinadi.

Stator chulg'amidagi elektr isroflar, (W)

$$P'_{e1}=m_1I_1^2r_1 \quad (18)$$

Asinxron motorning elektromagnit quvvati, (W)

$$P_{em}=P_1-(P'_m+P'_{e1}). \quad (19)$$

Rotor chulg'amidagi elektr isroflar, (W)

$$P'_{e2}=m_2I_2^2r_2=m_1(I'_2)^2r'_2. \quad (20)$$

Elektromagnit moment, (N·m)

$$M=P_{em}\omega_1 \quad (21)$$

bunda $\omega_1=2\pi n_1/60=2\pi f_1/r$ – maydonning burchak tezligi.

Qo'shimcha isroflar (nominal rejim uchun), (W)

$$P'_{qo'sh(N)} = 0,005P_1 \quad (22)$$

Motorning nominal bo'lmagan rejimi uchun qo'shimcha isroflarini hisoblashda quyidagi ifodadan foydalanish zarur:

$$P'_{qo'sh} = P'_{qo'sh(N)} \cdot k_{yu}^2 \quad (23)$$

bu yerda $k_{yu} = I_1 / I_{1N}$ – yuklama koeffitsiyenti.

Asinxron motorda barcha isroflarning yig'indisi:

$$\Sigma P' = P'_m + P'_{e1} + P'_{e2} + P'_{mex} + P'_{qo'sh} \quad (24)$$

Asinxron motorning foydali quvvati, (W)

$$P_2 = P_1 - \Sigma P' \text{ yoki } P_2 = P_{em} - P'_{e2} - P'_{mex} - P'_{qo'sh} \quad (25)$$

bunda P'_{mex} – mexanik isroflar (ular salt ishlash tajribasidan aniqlanadi).

Motorning FIK

$$\eta = P_2 / P_1 = 1 - \Sigma P' / P_1 \quad (26)$$

Rotorning aylanish chastotasi (3) formula bo'yicha hisoblanadi.

Motorning foydali momenti (N·m)

$$M_2 = 9,55 \cdot P_2 / n \quad (27)$$

Sirpanishning bir necha me'yoriy qiymatlari uchun hisoblangan natijalar 7.1–jadvalga yig'iladi va motorning ish xarakteristikalarini – n , M_2 , I_1 , $\cos\varphi_1$, $\eta = f(P_2)$ kuchlanish $U_1 = U_N = \text{const}$ va chastota $f_1 = \text{const}$ uchun quriladi.

4. Ishni bajarish tartibi va hisobot tayyorlash bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar

1. Motorning pasportidagi uning normal ish holatini ko'rsatuvchi nominal kattaliklar hisobot daftarchasiga ko'chirib yoziladi.

2. Motorning ish tavsiflarini olish uchun 1–rasmdan foydalaniladi. Asinxron motori uchun yuklama vazifasini o'zgaras tok generatori bajaradi. Motorni yurgizib bo'lgandan keyin o'zgaras tok generatori nominal kuchlanishgacha qo'zg'atiladi va reostat P ulanib, asinxron motori tokning $I = 1,2I_n$ qiymatigacha yuklatiladi. Ana shu nuqta birinchi o'lchash natijasi bo'lib hisoblanadi. Motorning toki, quvvati K-505 yoki K-50 o'lchov asbobi yordamida o'lchab olinadi; so'ngra reostat R yordamida yukni kamaytirib 5-6 ta nuqta olinadi va 2-jadvalga kiritiladi.

7.1-jadval

O'lchangan qiymatlar								Hisoblangan qiymatlar							
I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	U_2	I_2	n	P_1	I_1	P_2	S	M_2	$\cos\varphi_1$	η

Asinxron motorning foydali quvvati P_2 , momenti M_2 , FIK. η , sirpanish S , uvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$, quyidagicha topiladi:

$$P_2 = U_r I_r, \quad (Bm)$$

$$M_2 = \frac{P_2}{0.105 \cdot n}, \quad (\text{H m})$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100, \quad (\%)$$

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{3I_1 U_1}$$

Ushbu formulalardan topilgan kattaliklar 1–jadvalning o‘ng tomoniga kiritiladi va motorning ish tavsifi P_1 , I_1 , $\cos \varphi$, M_2 , η , S , $n=f(P_2)$ bog‘lanishlar quriladi (7.2 - rasm).

Sinov savollari

1. Asinxron motorning ish tavsifi deb qanday bog‘lanishga aytiladi?
2. Motorning ish tavsifi qanday olinadi?
3. $\eta=f(P_2)$ bog‘lanishning o‘zgarish xarakterini tushuntirib bering.
4. $I_1= f(P_2)$ bog‘lanishning o‘zgarish xarakterini tushuntirib bering.
5. $M_2= f(P_2)$ bog‘lanishning o‘zgarish xarakterini tushuntirib bering.
6. $S=f(P_2)$ bog‘lanishning o‘zgarish xarakterini tushuntirib bering.

Mustaqil qo‘zg‘atishli o‘zgarmas tok generatorini yakor aylanish tezligi $n=n_n=\text{const}$ bo‘lgan sharoit uchun tekshirish

1. Ishni bajarishdan maqsad

1. Mustaqil qo‘zg‘atishli o‘zgarmas tok generatorining tuzilishi va asosiy xossalari bilan tanishish.
2. Mustaqil qo‘zg‘atishli o‘zgarmas tok generatori tavsiflarini tajribada tekshirish va ularning grafik tasvirini nisbiy birlik (n.b.) lar sistemasida chizishni o‘rganish.

2. Ishni bajarish yuzasidan topshiriqlar

1. Salt ishlash tavsifini ifodalovchi $U_0=f(i_q)$ bog‘liqlikni yakor chulg‘ami iste’molchiga ulanmagan ($I_a=0$) holda olish. Bu tavsifdan mashina magnit zanjirining to‘yinish darajasini aniqlash.
2. Qisqa tutashuv tavsifini ifodalovchi $I_{qt}=f(i_q)$ bog‘liqlikni yakor chulg‘amini qisqa tutashtirib, ya’ni yakor kuchlanishi $U_{ya}=0$ bo‘lganda olish.

3. Ish bajarish tartibi va hisobot tayyorlash bo‘yicha ko‘rsatmalar

1. 5.1-rasmda ko'rsatilgan tajriba o'tkazish elektr sxemasi yig'iladi.

2. Dasturda ko'rsatilgan generator tavsiflarini tekshirishda generator yakorini birlamchi motor bilan $n=n_n=\text{const}$ tezlikda aylantirib tajriba o'tkaziladi.

3. Salt ishlash tavsifi. $U_0=f(i_q)$ quyidagicha olinadi. Tajriba o'tkazish vaqtida yakor chulg'ami istemolchiga ulanmagan. Generatorning qo'zg'atish tokini $i_q=0$ dan boshlab kuchlanish $U_0=1,15 U_n$ ga yetguncha bir tekisda oshirib boriladi. Qo'zg'atish tokining bir necha (kamida 8 ta) oraliq qiymatlariga to'g'ri kelgan kuchlanish o'lchanadi va 5.1-jadvalga yoziladi.

Olingan ma'lumotlarni ularning nominal kattaliklariga bo'lib hisoblangan nisbiy birliklardagi qiymatlari asosida salt ishlash tavsifi quriladi 5.2-rasm.

5.1-jadval

U_0	B												
	n.b.												
i_q	A												
	n.b.												

4. Qisqa tutashuv tavsifi $I_{qt}=f(i_q)$ quyidagicha olinadi. Qisqa tutashuv tajribasini o'tkazish uchun yakor zanjiri qisqa tutashtiriladi va $I_{qt}=f(i_q)$ bog'liqlik olinadi (bu holda $U_{ya}=0$ bo'ladi). Qo'zg'atish toki i_q ni 0 dan boshlab oshirib qisqa tutashuv toki $I_{qt}=(1.1-1.2)I_n$ gacha bo'lgan oraliqda 4-5 ta qiymat o'lchab olinadi va natijalar 5.2-jadvalga yoziladi. Qisqa tutashish tavsifining taxminiy ko'rinishi 5.3- rasmda ko'rsatilgan.

5.2-jadval

I_{qt}	B												
	n.b.												
i_q	A												
	n.b.												

4. Ishni bajarish yuzasidan qisqacha nazariy tushunchalar

O'zgaras tok motor (O'TM)lari elektr transportida, avtomatik rostlash sistemasida, jo'valash stanoklarida, yuk ko'tarish kranlarida, ekskavatorlarda, metallarga ishlov berish stanoklarida, to'qimachilik sanoatida keng ishlatiladi. O'T generatorlari (V.1-rasm) esa O'T energiya manbai sifatida (masalan, katta quvvatli O'TM larni O'T bilan ta'minlashda) ishlatiladi.

O'T mashinalari cho'tka-kollektor apparatlarining ishi bilan bog'liq bo'lgan *kamchiliklari* mavjud, ya'ni katta yuklamada cho'tkalar bilan kollektor orasida yuzaga keladigan uchqunlanish mashina ishiga salbiy ta'sir ko'rsatib *ishonchlilik darajasini pasaytiradi*. Shu sababli O'T mashinalarini portlashga xavfli bo'lgan muhitlarda ishlatib bo'lmaydi. Kollektor O'T mashinasining konstruksiyasini murakkablashtiradi, ekspluatatsiya jarayonida uni muntazam nazorat qilib turish talab qilinadi. O'TM qisqa tutashgan rotorli asinxron motorga nisbatan $2,5 \div 3$ marta qimmat va uni ishlatish uchun O'T energiya manbayi yoki o'zgaruvchan tokni to'g'rilagich qurilmasi zarur bo'ladi.

Lekin, so‘nggi yillarda O‘TM ni reostatsiz ishga tushirishga imkon beradigan O‘T ni rostlashning tejamli metodi ishlab chiqilganligi; O‘T yurit-masi chastota vositasida rostlanadigan yuritmaga nisbatan arzonligi; kollektorsiz O‘T mashinalari ham ixtiro qilinib amalda qo‘llanila boshlanganligi kollektor bilan bog‘liq bo‘lgan jiddiy kamchilikka nisbatan barham berilib ishonchlilik daraja yaxshilanmoqda.

O‘zgarmas tok mashinasining tuzilishi. O‘T mashinasining qo‘zg‘almas qismini–*stator*, aylanuvchi qismini esa–*yakor* deyiladi. Stator–sifatli po‘latdan

GLOSSARIY

Elektr texnik po'lat plastinkalar deb elektr mashinasi magnit o'zagini hosil qiluvchi maxsus tarkibda tayyorlangan, jo'valangan (prokat) po'lat tunikachalarga aytiladi;

Oksid plyonkalar - elektrotexnik po'lat plastinkaning qizdirilib so'ngra sovutilishi natijasida plastinka yuzasida hosil bo'ladigan elektr izolyasion qatlama aytiladi;

Turli xil laklar - po'lat plastinkalar orasigi elektr izolyasiyasini qoplash uchun xizmat qiladigan laklar;

Termosifon filʼtr – transformatoridagi sovutuvchi moy tarkibini tozalaydigan filʼtr;

Radiator – transformatorning sovitish yuzasini oshiruvchi uskuna;

Yarmo balkasi - magnit o'tkazgichi maxkamlanadigan balka;

Transformasiyalash koeffisiyenti - birlamchi chulg'am elektr yuriguvchi kuchini ikkilamchi chulg'am elektr yurituvchi kuchiga nisbati;

Keltirilgan transformator - ikkilamchi chulg'am parametrlarini birlamchi chulg'am o'ramlar soniga keltirish;

Ekvivalent sxema - hakikiy elektr sxema o'rniga boshqa olingan, soddalashtirish natijasida ideallashtirilgan sxema;

Qisqa tutashish kuchlanishi – qisqa tutashuv tajribasida, chulg'am tokining qiymati nominal tokka teng bo'lgungacha pasaytirilgan chulg'am kuchlanishiga aytiladi;

Qisqa tutashuv - transformator birlamchi chulg'ami manbaga ulanib, ikkilamchi chulg'am qisqa tutashgan holatga aytiladi;

Kuvvat koeffisiyenti - aktiv quvvatni to'la quvvatga nisbati;

Yuklanish rejimi - transformatorning birlamchi chulg'ami manbaga ulanib ikkilamchi chulg'amni istemolchiga ulangan xolatga aytiladi;

Foydali ish koeffisiyenti – transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi aktiv quvvatni birlamchi chulg'amdagi aktiv quvvatga nisbatiga aytiladi;

Tashqi tavsif - ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishning shu chulg'amdagi yuklanish tokiga bog'liqligiga aytiladi;

Turbogenerator - issiqlik elektr stansiyasida but turbina vositasida olingan mexanik energiyani elektr energiyasiga o'zgartiruvchi elektr mashinasiga aytiladi;

Sinxron mashina – rotor qo'zg'atish chulg'aming o'zgarish tok vositasida hosil qilgan aylanuvchi magnit maydoni chastotasi stator chulg'amidagi o'zgaruvchan tok hosil qilgan aylanuvchan magnit maydon chastotasiga teng bo'lgan o'zgaruvchan tok mashinasiga aytiladi;

Gidrogenerator - gidroelektr stansiyasida suv turbinasi vositasida olingan mexanik energiyani elektr energiyasiga o'zgartiruvchi elektr mashinasiga aytiladi;

Stator – o'zg'uvchan tok mashinasining qo'zg'almas qismiga aytiladi;

Rotor - o'zg'uvchan tok mashinasining aylanuvchi qismiga aytiladi;

Seksiya deb bir xil pazlarda joylashgan o'ramlar ketma ket ulanib hosil bo'lgan chulg'amning bir qismiga aytiladi;

Seksiya guruhi deb qo'shni pazlarda joylashgan seksiyalar guruhining ketma ket ulanib xosil qilgan chulg'amning bir qismiga aytiladi;

Bir qatlamli chulg'am deb magnit o'zak bir pazida seksiyaning faqat bir tomoni joylashadi chulg'amga aytiladi;

Ikki qatlamli chulg'am deb magnit o'zak bir pazida bir seksiyaning yuqori qatlami va boshqa seksiyaning pastki qatlami ustma ust joylashadigan chulg'amga aytiladi;

Yakor reaksiyasi deb stator magnit maydonining asosiy magnit maydonga ta'siriga aytiladi;

Sirpanish deb stator magnit maydoni va rotor magnit maydoni aylanish chastotalari ayirmasining sinxron chastotaga nisbatiga aytiladi;

Almashtirish sxemasi deb elektr jixatdan berilgan mashina sxemasining o'rnini bosa oladigan ekvivalent elektr sxemasiga aytiladi;



O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETINING
QO‘QON FILIALI

RO‘YXATGA OLINDI:

No _____
“ ____ ” _____ 2024 yil

“TASDIQLAYMAN”

Toshkent davlat texnika
universitetining Qo‘qon filial
direktori

_____ **Sh.Y.Pulatov**
“ ____ ” _____ 2024 yil

«ELEKTR MASHINALARI»
fanining

O‘QUV DASTURI

Bilim sohasi: 700.000 – Muxandislik, ishlov berish va qurilish sohalari

Ta’lim sohasi: 710.000 – Muhandislik ishi

Ta’lim yo‘nalishi: 60710700 – Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (elektr mashinasozlik).

Qo‘qon-2024

Fan/modul kodi EM2415		O‘quv yili 2024-2025	Semestr 3/4	ECTS – Kreditlar 6/6	
Fan/modul turi Majburiy		Ta’lim tili O‘zbek/rus		Haftadagi dars soatlari 6/8	
1.	Fanning nomi	Auditoriya mashg‘ulotlari (soat)		Mustaqil ta’lim (soat)	Jami yuklama (soat)
	Elektr mashinalari	150		210	360
2.	Fanning mazmuni 2.1. Fanni o‘qitish maqsadi va vazifalari Ushbu fan jamiyatning iqtisodiy negizi, uning tarkibiy qismlari, umumiy iqtisodiy qonunlar va kategoriyalar, iqtisodiy hodisa va jarayonlarning mohiyati, ijtimoiy-iqtisodiy tizimlar va ularning amal qilish qonuniyatlari, iqtisodiy o‘shish kabi masalalarni qamrab oladi. Jamiyatda mavjud iqtisodiy qonunlarni bilish va ularning amal qilishiga ongli munosabatda bo‘lishda, mamlakatni demokratlashtirish va iqtisodiyotni bozor tamoyillari asosida isloh qilish jarayonlarining mohiyatini tushunishda talabalarni zarur bo‘lgan bilimlar bilan qurollantiradi. Fanni o‘qitishdan maqsad – talabalarga elektr mashinalari tanlash taffakkurini shakllantirish va rivojlantirish, o‘zining fikr-mulohaza, xulosalarini asosli tarzda aniq bayon etishga o‘rgatish hamda ularni amaliyotda tatbiq etish ko‘nikmasini hosil qilishdan iborat. Fanning vazifasi – talabalarga o‘quv rejasida rejalashtirilgan umumkasbiy (elektrotexnik materiallar, elektr texnikaning nazariy asoslari) fanlarini bilishga asoslanadi xamda ixtisoslik fanlarini o‘zlashtirishda asos vazifasini o‘taydi. Ushbu maqsadga erishish uchun fan talabalarni nazariy bilimlar, amaliy ko‘nikmalalar, masalalarini yecha olish ishlash prinsiplari va jarayonlarga uslubiy yondashuv hamda ilmiy dunyoqarashini shakllantirish vazifalarini bajaradi. 2.2. Asosiy nazariy qism (ma’ruza mashg‘ulotlari) Fan tarkibi mavzulari: 1-modul. Elektr mashinalariga oid umumiy ma’lumotlar. Transformatorlar 1-mavzu. «Elektr mashinalari» faniga kirish Kirish. Elektr mashinalariga oid umumiy ma’lumotlar. O‘zbekistonda elektr energetikasi va unda transformatorlarning ahamiyati. Issiqlik, atom va gidro elektr stansiyalarida elektr energiyani ishlab chiqarishda elektr mashinalarining roli va ularning istiqboli. EM lari va transformatorlarning tasnifi va ularga nisbatan qo‘yiladigan asosiy texnik talablar. Elektr mashinalari va transformatorlarni ishlab chiqarishda ishlatiladigan elektrotexnik va izolyasion				

materiallar.

2-mavzu. Transformatorning yuksiz ishlash va qisqa tutashuv rejimlarida ro'y beradigan elektr magnit jarayonlar.

Transformatorlarning yuksiz ishlash va qisqa tutashish rejimlar. Yuksiz ishlash va qisqa tutashish xolatlarida magnit yurituvchi kuch.

3-mavzu. Transformator chulg'amlaridagi EYUK va toklar

Transformator xar xil ish rejimlarida chulg'amlaridagi EYUK va toklar. Transformatorlarning ish rejimlaridagi tavsiflari, elektr magnit jarayonlarining tavsiflarga ta'siri.

4-mavzu. Transformatorning ikkilamchi chulg'am elektr parametrlarini birlamchi chulg'am o'ramlar soniga keltirish. Tashqi tavsifi.

Transformatorning ikkilamchi chulg'am elektr parametrlarini birlamchi chulg'am o'ramlar soniga keltirish, elektromagnit jarayonlarni o'rganish uchun. Transformatorlarning tashqi tavsifini tahlil qilish.

2-modul. Transformatorlarda kuchlanish, quvvat isroflari va FIK, ulanish guruxlari.

5-mavzu. Kuchlanishni rostlash. Quvvat isroflari va FIK

Transformatorlarda kuchlanish o'zgarishi. Kuchlanishni rostlash usullari. Transformatorlardagi o'zgarimas va o'zgaruvchan quvvat isroflari. Transformatorning foydali ish koeffitsiyenti.

6-mavzu. Transformator chulg'amlari ulanish guruhlari.

Transformator chulg'amlari ulanish guruhlari taxlil qilish. Transformator ulanish guruxlarini aniqlash usullari.

7-mavzu. Parallel ulash shartlari. Maxsus transformatorlar turlari.

Transformator chulg'amlarining o'ralish yo'nalishi va uchlarining belgilanishi. Ulanish guruhini aniqlash. Transformatorlarni parallel ishlashi. Parallel ulash shartlari. Maxsus transformatorlar ularning ishlatilish joylari va avfzalliklari.

8-mavzu. O'zgaruvchan tok stator chulg'ami EYUKlari, magnit yurituvchi kuchlari (MYUK) va magnit maydonlari

O'zgaruvchan tok mashinalarida stator chulg'aming turlari va ulanish sxemalari. O'zgaruvchan tok chulg'amlarini tushuntirishda metodik mulohazalar. Sinxron va asinxron mashinalarda aylanma magnit maydon hosil qilish usullari. G'altak o'raining EYUK. G'altaklar guruhining EYUK. Chulg'am fazasining EYUK.

3-modul. Asinxron mashinalardagi jarayonlar.

9-mavzu. Asinxron mashina turlari, tuzilishi va ishlash prinsipi

Bir fazali chulg'amning magnit maydonini hosil qilish. Asinxron mashinaning turlari. Qisqa tutashgan rotorli asinxron mashinaning tuzilishi va ishlash prinsipi.

10-mavzu. Rotori tormozlangan asinxron mashinada bo'ladigan elektromagnit jarayon.

Asinxron mashinalarda rotorli tormozlangan xoldagi jarayonlar.

11-mavzu. Asinxron mashinaning vektor diagrammalari va almashtirish sxemasi. Asinxron mashinaning energetik diagrammasi Elektromagnit (aylantiruvchi) momenti va mexanik tavsifi

Rotori aylanayotgan asinxron mashinada elektromagnit jarayon. Asinxron mashinaning vektor diagrammasi. Almashtirish sxemasi. Asinxron mashinaning energetik diagrammasi. Elektromagnit moment. Mexanik tavsif. Asinxron motorning turg'un ishlash shartlari.

12-mavzu. Asinxron motorning ish tavsifi. Asinxron motorni ishga tushirish Asinxron motorning yuklama bilan ishlagan xoldagi tavsiflari. Asinxron motor ish tavsifi. Qisqa tutashtirilgan va faza rotorli asinxron motorlarni ishga tushirish usullari.

13-mavzu. Asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash. Asinxron generator, undagi elektromagnit jarayonlar va tavsiflari

Asinxron mashinaning aylanish chastotasini rostlash usullari. Asinxron generatorning elektr tarmog'i bilan parallel ishlashi. Elektr tarmog'iga ulanmagan asinxron generatorning o'z-o'zini qo'zg'atishi. Asinxron generatorning yuklama bilan ishlashi.

4-modul. Sinxron generatorlar

14-mavzu. Sinxron generatorning turlari, sinxron mashinalarning tuzilishi ishlash prinsipi.

Sinxron generatorlarning turlari, tuzilishi va ishlash prinsipi.

15-mavzu. Yakor reaksiyasi. Ayon va noayon qutbli sinxron generatorning tenglamalari va vektor diagrammalari.

Sinxron generator turlari. Sinxron generatorning tuzilishi va ishlash prinsipi. Sinxron generatorda yakor reaksiyasi. Ayon qutbli sinxron generatorning tenglamalari va vektor diagrammalarini qurish. Noayon qutbli sinxron generatorning tenglamalari va vektor diagrammalarini qurish.

16-mavzu. Sinxron mashinani elektr tarmog'iga parallel ulash. Sinxronlash usullari.

Tarmoqqa parallel ulash shartlari va taxlili. Aniq va noaniq sinxronlash usullari.

17-mavzu. Sinxron generatorning elektr tarmog'i bilan parallel

ishlashidagi tavsiflari

SG ning ish xossalari uning tavsiflari: yuksiz ishlash, simmetrik qisqa tutashuv, yuklanish, tashqi va rostlash tavsiflari. SG ni elektr tarmog'iga yoki ishlab turgan generatorlar bilan parallel ulash. Generatorlarni sinxronlash usullari. Burchak tavsifi. Sinxron mashinaning elektromagnit momenti.

18-mavzu. Sinxron mashina reaktiv quvvatining burchak tavsifi. U-simon tavsiflari.

Sinxron mashina burchak tavsifi. Sinxron mashinalarda U-simon tavsifi taxlili.

19-mavzu. Sinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi. Sinxron motorning ish tavsiflari.

Sinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi, o'rganish. Sinxron motorning ish rejimlarida tavsiflarini taxlili.

20-mavzu. Sinxron mashinadagi quvvat isroflari va FIK Sinxron mashinalarning maxsus turlari.

Sinxron generator va motordagi quvvat isroflari. Sinxron generator va motorning FIK. Sinxron mashinalardagi quvvat isroflari. Reaktiv sinxron motorlar; doimiy magnitli sinxron motorlar; avtotraktor generatorlari; induktorli generatorlar. Asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar; ikki o'qi bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinalar.

21-mavzu. O'zgarmas tok mashinalari tuzilishi va ishlash prinsipi.

O'zgarmas tok mashinalari tuzilishi va ishlash prinsipini taxlil qilish.

22-mavzu. O'zgarmas tok generatorlari tavsiflari

O'zgarmas tok mashinalari tuzilishi va ishlash prinsipi. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generator tavsiflari. Yuksiz ishlash va yuklanish tavsiflari. Yuklanish tavsifsi. Qisqa tutashuv tavsifsi. Tashqi va rostlash tavsiflari. O'zgarmas tok motorlaridagi fizik jarayonlarni o'zlashtirish xamda motorni ishga tushirish usullari.

2.3. Amaliy mashg'ulotlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

Amaliy mashg'ulotlarini tashkil etish yuzasidan kafedra tomonidan ko'rsatma va tavsiyalar ishlab chiqiladi. Unda talabalar asosiy ma'ruza mavzulari bo'yicha olgan bilim va ko'nikmalarini amaliy masalalar, keyslar orqali yanada boyitadilar. Shuningdek, darslik va o'quv qo'llanmalar asosida talabalar bilimlarini mustahkamlashga erishish, tarqatma materiallardan foydalanish, ilmiy maqolalar va tezislarni chop etish orqali talabalar bilimini oshirish, masalalar yechish, mavzular bo'yicha taqdimotlar va ko'rgazmali qurollar tayyorlash, normativ-huquqiy hujjatlardan foydalanish va boshqalar tavsiya etiladi.

Amaliy mashg'ulotlarning taxminiy ro'yxati

1. Transformatorning asosiy parametrlarini aniqlash;
2. Yuklama bilan ishlayotgan transformatorning ekspluatatsion xarakteristikalarini hisoblash;
3. Tajriba ma'lumotlari asosida transformatorning asosiy parametrlarini hisoblash.
4. Yuklama bilan ishlayotgan transformatorning kuchlanish pasayishini aniqlash;
5. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasini aniq hisoblash;
6. Asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash usullariga oid masalalar yechish;
7. Ayon qutbli sinxron generatorning muhim parametrlarini hisoblash;
8. Sinxron generatorning tashqi xarakteristikani qurish;
9. Sinxron generatorning U –simon xarakteristikasini qurish;
10. Sinxron generatorning burchak xarakteristikasini qurish;
11. O'zgarmas tok motorining asosiy parametrlarini aniqlash;
12. O'zgarmas tok generatorlarining tashqi xarakteristikasi;
13. O'zgarmas tok motorining mexanik xarakteristikalarini hisoblash;
14. O'zgarmas tok motorining aylanish chastotasini rostlash usullariga oid masalalar yechish;
15. O'zgarmas tok mashinalarida FIK ni hisoblash;

2.4. Laboratoriya mashg'ulotlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

Laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish yuzasidan kafedra tomonidan uslubiy ko'rsatma va tavsiyalar ishlab chiqiladi. Unda talabalar asosiy ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar mavzulari bo'yicha olgan bilim va ko'nikmalarini laboratoriya mashg'ulotlarini bajarish va tegishli hisoblashlarni amalga oshirish orqali yanada boyitadilar.

Laboratoriyaishlarining taxminiy ro'yxati

1. Uch fazali ikki chulg'amli transformatorning salt ishlash qisqa tutashuv holatlaridagi xarakteristikalarini va parametrlarini tekshirish.
2. Uch fazali ikki chulg'amli transformatorning yuklama holatidagi tavsiflari va parametrlarini tekshirish.
3. Uch fazali ikki chulg'amli transformatorlarning ulanish guruhlarini aniqlash.
4. Uch fazali ikki chulg'amli transformatorlarning parallel ishlashi.
5. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv xarakteristikalarini tekshirish va parametrlarini aniqlash.
6. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning ish xarakteristikalarini tekshirish.
7. Uch fazali faza rotorli asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv xarakteristikalarini tekshirish va parametrlarini aniqlash.

8. Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorining salt ishlash va yuklanish xarakteristikalarini tekshirish.

2.5. Kurs loyihasi bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

O'quv rejada kurs loyihasi (kurs ishi) ko'zda tutilmagan.

2.6. Mustaqil ishlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar **Mustaqil ishlarning taxminiy ro'yxati**

1. Avtotransformatorlar hamda uch chulg'amli transformatorlar ish rejimlari.
2. Chastota o'zgartiruvchi transformatorlar.
3. Payvandlash transformatori.
4. Fazalar sonini o'zgartiruvchi transformatorlar.
5. To'g'irlovchi qurilmalar uchun transformatorlar.
6. O'zgaruvchan tok mashinalarining qisqartirilgan qadamli stator chulg'amlari.
7. Asinxron generatorlar.
8. Asinxron taxogeneratorlar.
9. Asinxron chastota o'zgartkichlar.
10. Chiziqli xarakatlanuvchi asinxron mashinalar.
11. Sinxron reaktiv motorlar.
12. Gibrid qo'zg'atishli sinxron mashinalar.
13. Doyimiy qo'zg'atishli sinxron motorlar.
14. O'zgaras tok taxogeneratorlari.
15. Maxsus o'zgaras tok mashinalari.

Mustaqil ta'limni tashkil etishda ushbu fanning xususiyatlarini hisobga olgan holda quyidagi shakllardan foydalanish tavsiya etiladi va joriy nazorat sifatida baholanadi:

1) Mavzular bo'yicha konspekt (referat, taqdimot) **tayyorlash.** Nazariy materialni puxta o'zlashtirishga yordam beruvchi bunday usul o'quv materialiga diqqatni ko'proq jalb etishga yordam beradi. Talaba konspekti turli nazorat ishlariga tayyorgarlik ishlarini osonlashtiradi va vaqtni tejaydi;

2) O'qitish va nazorat qilishning avtomatlashtirilgan tizimlari bilan ishlash. Olgan bilimlarini o'zlashtirishlari, turli nazorat ishlariga tayyorgarlik ko'rishlari uchun tavsiya etilgan elektron manbalar, innovation dars loyihasi namunalari, o'z-o'zini nazorat uchun test topshiriqlari va boshqalar;

3) Fan bo'yicha qo'shimcha adabiyotlar bilan ishlash. Mustaqil o'rganish uchun berilgan mavzular bo'yicha talabalar tavsiya etilgan asosiy adabiyotlardan tashqari qo'shimcha o'quv-ilmiy adabiyotlardan foydalanadilar. Bunda rus va xorijiy tillardagi adabiyotlardan foydalanish rag'batlantiriladi;

4) Internet tarmog'idan foydalanish. Fan mavzularini o'zlashtirish, amaliy mashg'ulot va mustaqil ishlarni yozishda mavzu bo'yicha internet manbalarini topish, ular bilan ishlash nazorat turlarining barchasida qo'shimcha reyting ballari bilan rag'batlantiriladi;

	5) Mavzuga oid masalalar, keys-stadilar va o'quv loyihalarini ishlab chiqish, shuning bilan birga ishtirok etish; 6) Amaliyot turlariga asosan material yig'ish, amaliyotdagi mavjud muammolarning yechimini topish, hisobotlar tayyorlash; 7) Ilmiy seminar va anjumanlarga tezis va maqolalar tayyorlash va ishtirok etish; 8) Mavjud amaliy mashg'ulot ishlarini takomillashtirish, masofaviy (distansion) ta'lim asosida mashg'ulotlarni tashkil etish bo'yicha metodik ko'rsatmalar tayyorlash va h.k. <i>Yangi bilimlarni mustaqil o'rganish, kerakli ma'lumotlarni izlash va ularni topish yo'llarini aniqlash, Internet tarmoqlaridan foydalanib ma'lumotlar to'plash va ilmiy izlanishlar olib borish, ilmiy to'garak doirasida yoki mustaqil ravishda ilmiy manbalardan foydalanib ilmiy maqola (tezis) va ma'ruzalar tayyorlash kabilar talabalarning darsda olgan bilimlarini chuqurlashtiradi, ularning mustaqil fikrlash va ijodiy qobiliyatini rivojlantiradi. Vazifalarini tekshirish va baholash amaliy mashg'ulot olib boruvchi o'qituvchi tomonidan, konspektlarni va mavzuni o'zlashtirishni ma'ruza darslarini olib boruvchi o'qituvchi tomonidan har darsda amalga oshiriladi.</i> Mustaqil ishni tashkil etish bo'yicha uslubiy ko'rsatma va tavsiyalar, keys-stadi, vaziyatli masalalar to'plami ishlab chiqiladi. Ma'ruza mavzulari bo'yicha amaliy topshiriq, keys-stadilar yechish uslubi va mustaqil ishlash uchun vazifalar belgilanadi.
3.	Fan o'qitilishining natijalari (shakllanadigan kompetensiyalar). Fanni o'zlashtirish natijasida talaba: – elektr mashinalari o'zining bo'lajak kasbining mohiyati va ijtimoiy ahamiyati to'g'risida tasavvurga ega bo'lishi; – elektr texnikada qo'llaniladigan elektr mashinalarini tajriba yo'li bilan olish va taxlil qilishni bilishi va ulardan foydalana olishi; – talaba elektr mashinalari nazariyasi, ishlatish va qo'llanish sohalari haqidagi ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak.
4.	Ta'lim texnologiyalari va metodlari: • ma'ruzalar; • interfaol keys-stadilar; • seminarlar (mantiqiy fikrlash, tezkor savol-javoblar); guruhlarda ishlash; taqdimotlarni qilish; individual loyihalar; jamo bo'lib ishlash va himoya qilish uchun loyihalar.
5.	Kreditlarni olish uchun talablar: Fanga oid nazariy va uslubiy tushunchalarni to'la o'zlashtirib, tahlil natijalarini to'g'ri aks ettira olish, o'rganilayotgan jarayonlar haqida mustaqil mushohada yuritish va joriy, oraliq nazorat shakllarida berilgan vazifa va topshiriqlarni bajarish, yakuniy nazorat bo'yicha yozma ishni topshirish.

6.

Adabiyotlar

6.1. Asosiy adabiyotlar

1. Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektr mashinalari.– T.: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashiryoti, 2011. –408 b.
2. Mustafakulova G.N., Toirov O.Z., Bekishev A.E. Elektr mashinalari. Toshkent.: Tafakkur avlodi. 2020. 191 b.
3. Majidov S. Elektr mashinalari va elektr yuritma. - T.: O'qituvchi, 2002. -358 b.
4. Alimxodjayev K.T., Pirmatov N.B., Ziyoxodjayev T.I. Elektr mashinalari.- T.: "Fan va texnologiya", 2018. -344 b.
5. Alimxodjayev K.T., Pirmatov N.B., Ziyoxodjayev T.I., Mustafakulova G.N. Elektr mashinalari va transformatorlarning ekspluatatsiyasi. - T.: "Fan va texnologiya", 2019. -240 b.

6.2. Qo'shimcha adabiyotlar

6. Mirziyoyev Sh.M. Erkin va farovon, demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining lavozimiga kirishish tantanali marosimiga bag'ishlangan Oliy Majlis palatalarining qo'shma majlisidagi nutqi. –T.: "O'zbekiston" NMIU, 2016. – 56 b.
7. Mirziyoyev Sh.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini ta'minlash – yurt taraqqiyoti va xalq farovonligining garovi. O'zbekiston Respublikasi Konstitusiyasi qabul qilinganining 24 yilligiga bag'ishlangan tantanali marosimdagi ma'ruza 2016 yil 7 dekabr. – T.: "O'zbekiston" NMIU, 2016. – 48 b.
8. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – T.: "O'zbekiston" NMIU, 2017. – 488 b.
9. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida. – T.:2017 yil 7 fevral, PF-4947-sonli Farmoni.
10. Pirmatov N.B., Yarmuxamyedova Z.A., Mustafakulova G.N. Elyektr mashinalari fanining transformatorlar qismi bo'yicha kurs loyihasini bajarishga oid o'quv-myetodik qo'llanma. –T.: ToshDTU, 2012 – 117 b.
11. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам. Учеб. Пособие для вузов. –Москва.: – Издательский центр «Академия». 2012. – 154 с.
12. Mustafakulova G.N., Toshev Sh.E. Elektr mashinalari fanidan laboratoriya mashg'ulotlarini bajarish uchun metodik ko'rsatma. –T.: TDTU, 2015. – 45 b .
13. Pirmatov N.B., Zayniyeva O.E. Elektromexanika (Elektr mashinalari) fanidan masalalar to'plami. O'quv qo'llanma. –T.: TDTU, 2004. – 75 b.

6.3. Internet saytlar

14. www.Ziyo.net
15. http://dhes.ime.mrsu.ru/studies/tot/tot_lit.htm;
16. http://rbip.bookchamber.ru/description.aspx?product_no=854;
17. <http://energy-mgn.nm.ru/progr36.htm>

7.	Fan dasturi Toshkent davlat texnika universitetining Qo‘qon filiali Ilmiy-uslubiy Kengashning 2024 yil “___” _____dagi ___ - sonli bayonnomasi bilan ma’qullangan.
8.	Fan/modul uchun ma’sular: Usmonov I - TDTU Qo‘qon filiali dotsenti
9.	Taqrizchilar: T.Bo’tayev - TDTU Qo‘qon filiali dotsenti



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETINING
QO'QON FILIALI

RO'YXATGA OLINDI:

№ _____
“ ____ ” _____ 202_ yil

“TASDIQLAYMAN”
Toshkent davlat texnika
universitetining Qo'qon filiali
O'IB direktor o'rinbosari
_____ **N.M.Babayeva**
“ ____ ” _____ 202_ yil

ELEKTR MASHINALARI

FANI BO'YICHA

S I L L A B U S

Kunduzgi bo'lim uchun

Bilim sohasi:	700.000 – Muxandislik, ishlov berish va qurilish sohalari
Ta'lim sohasi:	710.000 – Muhandislik ishi
Ta'lim yo'nalishi:	60710700- Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyasi

QO'QON – 2024

MODUL/ FAN SILLABUSI
ENERGETIKA FAKULTETI

60710700- Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (elektr mashinasozlik) ta'lim yo'nalishi

Fan nomi		Elektr mashinalari	
Fan turi		Majburiy	
Fan kodi		EM3412	
Yil		2	
Semester		3,4	
Ta’lim shakli		kunduzgi	
Mashg’ulotlar shakli va semestr ga ajratilgan soatlar		III semestr 180 soat	IV semestr 180 soat
Maruza		30	30
Amaliy mashg’ulotlar		30	30
Laboratoriya mashg’ulotlari		16	14
Seminar		-	
Mustaqil ta’lim		104	106
Kredit miqdori		12	
Baxolash shakli		Imtihon	
Fan tili		O’zbek	
Fan maqsadi (FM)			
FM	Fanni o’qitishdan maqsad – talabalarga inshoot elementlarida, konstruktsiyalarida hosil bo’ladigan zo’riqishlar va deformatsiyalarni aniqlash usullarini, hamda mustahkamlikka, bikirlikka va ustivorlikka mazkur konstruktsiyalarni hisoblash usullari bo’yicha bilim, ko’nikma va malaka shakllantirishdir.		
Fanni o’zlashtirish uchun zarur boshlang’ich bilimlar			
1	Fizika		
2	Matematika		
3	Nazariy mexanika		
Ta’lim natijalari (TN)			
	Bilimlar jihatidan:		
TN	tekis mexanizmlarning tuzulishi;		
TN	Materiallar qarshiligi inshoot elementlarini, mashina detallarini mustaxkamlikka bikrlikka va ustuvorlikka hisoblash uchun zaruz bo’lgan kuchlanish va defomatsiyalarni aniqlash usullari o’rganish va amalda tadbiq qia olish ko’nikmalarini egallash. Materiallar qarshiligi fani atamalari bilan yaqindan tanishish		
TN	xozirgi zamon mashinalarini loyihalashda yangi yo‘nalishlari		
	mashinalarning detallari va uzellari, birikmalari, vallar, podshipniklari, muftalari <i>haqida tasavvurga va bilimga ega bo’lishi;</i>		
	Ko’nikmalar jihatidan:		
TN	Jamoada ishlash, kasbga oid mustaqil va tanqidiy fikrlash, muloqot madaniyati va xulosa chiqarish ko’nikmalariga ega bo’ladi;		

TN	mashina detallari va uzellarini zamonaviy loyihalash vositalaridan foydalanish ko'nikmalariga ega bo'lishi kerak;	
TN	Materiallar qarshiligi fani bo'yicha topshiriqlarini vaqtida bajarish, jamlash va taqdim etish ko'nikmalariga ega bo'ladi;	
TN	Berilgan mavzu bo'yicha ma'lumotlarni izlab topish, taqdimot tayyorlash va uni o'tkazish ko'nikmalariga ega bolishi; mexanizm va mashinalar qismlarini hisoblash, loyihalash va ularni to'g'ri konstruktisyalash, hizmat ko'rsatish va ishlatish muammolari bo'yicha yechimlar qabul qilish malakasiga ega bo'lishi kerak	
Fan mazmuni		JAMI
Mashg'ulot shakli: Maruza (M) III semestr		30 soat
M1	Tpansfrmatorlar va elektr mashinalar. Transformatorlarning tuzilishi va ishlash prinsipi	2 soat
M2	Transformatorlarni ishlab chiqarishda qo'llaniladigan elektrotexnik materiallar. Ulanish sxemalari va ulanish guruhlari. Transformatorning magnitlanish jarayoni magnit zanjirni xisoblash	2 soat
M3	Uch fazali transformatorning salt ishlash jarayonida xosil bo'ladigan elektr yurituvchi kuchlar, taransformatsiyalash koeffitsienti. Elektr yurituvchi kuchlarning cho'lg'amlarining ulanish sxemasiga bog'liqligi	2 soat
M4	Transformatorlarning kuchlanishlar tenglamasi. Transformatorning salt ishlash rejimi uchun almashtirish sxemalari va vektor diagrammasi	2 soat
M5	Simmetrik yuklamaga ulangan uch fazali transformatorida bo'ladigan elektromagnit jarayon. Xar-xil xarakterli yuklamaga ulangan transformatorning vektor diagrammalari	2 soat
M6	Transformatorning tashqi xarakteristikasi kuchla-nishning o'zgarishiga ta'sir qiladigan omillar. Transformatorning kuchlanishini rostlash usullari. Quvvat isroflari va foydali ish koeffitsienti	2 soat
M7	Uch fazali ikki cho'lg'amli transformatorlarning parallel ishlash shartlari, shartlar bajarilmagan xolda xosil bo'ladigan tenglashtiruvchi toklar	2 soat
M8	Keltirilgan transformator va uning almashtirish sxemasi. ikki cho'lg'amli transformatorlardagi qisqa tutashuv, xarakteristikalar va muxim parametrlar, qisqa tutashuv rejimi uchun vektor diagramma	2 soat
M9	Maxsus maqsadli transformatorlar	2 soat
M10	O'zgarmas tok mashinalarining xalq xo'jaligida	2 soat
M11	O'zgarmas tok mashinalarining yakor cho'lg'amlari, elektr yurituvchi kuchi, moment tenglamalari	2 soat
M12	O'zgarmas tok mashinalarining generator rejimida ishlashi ulanish sxemasi va asosiy tenglamalari. O'zgarmas tok	2 soat

	generatorining asosiy tavsiflari va ularni parallel ishlatish	
M13	O'zgaras tok generatorining xarakteristikalar	2 soat
M14	O'zgaras tok motorlari	2 soat
M15	Asinxron mashinalarning tuzilishi. O'zgaruvchan tok mashinalarining cho'lg'amlaridagi e.yu.k	2 soat
Mashg'ulot shakli: Maruza (M) IV semestr		30 soat
M1	Rotori tormozlangan asinxron mashinada bo'ladigan elektromagnit jarayon.	2 soat
M2	Rotor chulg'ami parametrlarini stator chulg'ami o'ramlari soniga keltirish	2 soat
M3	Asinxron motorlarning salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalarini olish.	2 soat
M4	Asinxron mashinaning vektor diagrammalari	2 soat
M5	Almashtirish sxemasi.	2 soat
M6	Asinxron mashinaning energetik diagrammasi	2 soat
M7	Asinxron mashinaning elektromagnit (aylantiruvchi) momenti va mexanik tavsifi	2 soat
M8	Asinxron motorning ish tavsifi.	2 soat
M9	Asinxron motorni ishga tushirish	2 soat
M10	Asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash. Asinxron mashinaning aylanish chastotasini rostlash usullari.	2 soat
M11	Faza rotorli asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash.	2 soat
M12	Asinxron generator, undagi elektromagnit jarayonlar va tavsiflari.	2 soat
M13	Asinxron mashinalarning zamonaviy seriyalari va maxsus turlari. Asinxron chastota o'zgartirgich.	2 soat
M14	Sinxron generatorning turlari, sinxron mashinalarning tuzilishi ishlash prinsipi.	2 soat
M15	Sinxron generatorlarni qo'zg'atish turlari.	2 soat
Mashg'ulot shakli: Amaliy mashg'ulot (A) III semestr		30 soat
A1	Transformatorning asosiy parametrlarini aniqlash	2 soat
A2	Yuklama bilan ishlayotgan transformatorning ekspulatsion xarakteristikalarini hisoblash	2 soat
A3	Asinxron matorni qo'shimcha qarshilik yordamida ishga tushirish	2 soat
A4	Asinxron mashinalardagi quvvat isroflarini xisoblash	4 soat
A5	Uch fazali ayon qutbli sinxron generatorning burchak xarakteristikasini hisoblash.	2 soat
A6	Ayon qutbli sinxron generatorning muhim parametrlarini hisoblash.	2 soat
A7	Sinxron generatorning rostlash xarakteristikasini qurish	2 soat
A8	O'zgaras tok mashinalarida quvvat isroflarini hisoblash. O'zgaras tok elektr mashinasi xisoblash	4 soat

A9	O'zgaras tok mashinalaridagi quvvat isroflari va foydali ish koefitsientlarini aniqlash	4 soat
A10	Asinxron mashinaning tezligini qutblarini o'gartirib rostlash	2 soat
A11	Amaliy mashg'ulot. Uch fazali asinxron motorni bir fazali tarmoqqa ulash uchun ish va ishga tushirish kondensatori sig'imlarini xisoblash	4 soat
Mashg'ulot shakli: Amaliy mashg'ulot (A) IV semestr		30 soat
A1	Uch fazali ayon qutbli sinxron generatorning burchak xarakteristikasini hisoblash	2 soat
A2	Ayon qutbli sinxron generatorning muhim parametrlarini hisoblash	4 soat
A3	Sinxron generatorning rostlash xarakteristikasini qurish	2 soat
A4	Sinxron generatorning tashqi xarakteristikani qurish	2 soat
A5	Sinxron generatorning burchak xarakteristikasini qurish	2 soat
A6	O'zgaras tok mashinalarida quvvat isroflarini hisoblash	4 soat
A7	Magnit zanjirining salt ishlash rejimi uchun hisoblash	4 soat
A8	O'zgaras tok motorining asosiy parametrlarini xisoblash	4 soat
A9	O'zgaras tok mashinalarini mexanik xarakteristikalarini hisoblash	2 soat
A10	O'zgaras tok motorlarining aylanish chastotasini rostlash usullariga oid masalalar	4 soat
Mashg'ulot shakli: Laboratoriya mashg'ulot (L) III semestr		16 soat
L1	Uch fazali ikki chulg'amli transformatorning salt ishlash, qisqa tutashuv holatlaridagi tavsiflari va parametrlarini tekshirish	4 soat
L2	Uch fazali, ikki chulg'amli transformatorning yuklama holatidagi tavsiflari va parametrlarini tekshirish	2 soat
L3	Uch fazali, ikki chulg'amli transformatorlarning ulanish guruhlarini aniqlash	2 soat
L4	Uch fazali ikki chulg'amli transformatorlarning parallel ishlashi	2 soat
L5	Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv tavsiflarini tekshirish	2 soat
L6	Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning ish tavsiflarini tekshirish	2 soat
L7	Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv tavsiflarini tekshirish	2 soat
Mashg'ulot shakli: Laboratoriya mashg'ulot (L) IV semestr		14 soat
L1	Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning ish tavsiflarini tekshirish	2 soat
L2	Sinxron generatorning salt ishlash va yuklanish tavsiflarini tekshirish	2 soat
L3	Uch fazali uch chulg'amli transformatorning salt ishlash va	2 soat

	qisqa tutashuv holatini va parametrlarini tekshirish	
L4	Sinxron generatorning tashqi va rostlash tavsiflarini tekshirish	2 soat
L5	Sinxron generatorni elektr tarmog'iga parallel ulash va V-simon tavsiflarini tekshirish	2 soat
L6	Uch fazali sinxron motorning ish tavsiflarini tekshirish	2 soat
L7	Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorini rostlash, tashqi va qisqa tutashish tavsiflarini tekshirish	2 soat
Mustaqil ta'lim (MT) III semestr		210 soat
MT	Transformatorlarga oid umumiy ma'lumotlar	5 soat
MT	Uch fazali asinxron generator	5 soat
MT	Transformatorlarning magnit sistemalari va chulg'amlari	5 soat
MT	Transformatorning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayonlar	5 soat
MT	Simmetrik yuklama ulangan transformatoridagi elektromagnit jarayonlar	5 soat
MT	Transformator chulg'amlarining ulanish guruhlari	5 soat
MT	Transformatorning ekspluatatsion xarakteristikalarini	5 soat
MT	Transformatorlarning parallel ishlashi	5 soat
MT	Uch chulg'amli transformatorlar	5 soat
MT	Avrotransformatorlar	5 soat
MT	Ikki chulg'amli transformatorlarning nosimmetrik ish rejimlari	5 soat
MT	Maxsus maqsadli transformator qurilmalari	5 soat
MT	O'zgaruvchan tok mashinalari konstruksiyasi	5 soat
MT	O'zgaruvchan tok mashinalar nazariyasining umumiy elementlari	5 soat
MT	Asinxron mashinalar	5 soat
MT	Asinxron mashinalarda fizik jarayonlar	5 soat
MT	Asinxron mashinaning elektromagnit momenti	5 soat
MT	Asinxron mashinaning mexanik xarakteristikalarini	5 soat
MT	Asinxron motorning doiraviy diagrammasi, ish xarakteristikalarini	5 soat
MT	Asinxron motorning doiraviy diagrammasining ish xarakteristikalarini hisoblash usullari	5 soat
MT	Asinxron motorlarni ishga tushirish va aylanish chastotasini rostlash	5 soat
Mustaqil ta'lim (MT) IV semestr		5 soat
MT	Bir fazali asinxron motorlar	5 soat
MT	Uch fazali asinxron generator	5 soat
MT	Transformatorlar ish rejimlari bo'yicha	5 soat
MT	Maxsus transformatorlarning turlari	5 soat
MT	O'zgaruvchan tok mashinalarining umumiy masalalari	5 soat

MT	Asinxron mashinalar	5 soat
MT	Sinxron mashinalar bo'yicha	5 soat
MT	O'zgaras tok mashinalari	5 soat
MT	Sinxron motorning ish rejimlarida tavsiflarini taxlili	5 soat
MT	Sinxron motorni yuklama bilan ishlaganda xar xil yuklamalarda ish tavsiflarini taxlili	5 soat
MT	Sinxron generator va motordagi quvvat isroflari. Sinxron generator va motorning FIK	5 soat
MT	Sinxron mashinalarning maxsus turlari	5 soat
MT	O'zgaras tok mashinalaridagi elektromagnit va elektromexanik jarayonlar.	5 soat
MT	O'zgaras tok mashinalari to'g'risida umumiy ma'lumotlar berish	5 soat
MT	O'zgaras tok mashinalari tuzilishi va ishlash prinsipini taxlil qilish	5 soat
MT	Mustaqil va parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorlari tavsiflari	5 soat
MT	Mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok generator tavsiflari	5 soat
MT	Ketmaket va aralash qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorlarining tavsiflari.	5 soat
MT	O'zgaras tok motorlari tuzilishi va motorlardagi fizik jarayonlar	5 soat
MT	O'zgaras tok motorlarini ishga tushirish usullari	5 soat
MT	O'zgaras tok motorlarini tezligini rostdash usullari	5 soat
Asosiy adabiyotlar		
1	Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektr mashinalari.– T.: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashiryoti, 2011. –408 b.	
2	Mustafakulova G.N., Toirov O.Z., Bekishev A.E. Elektr mashinalari. Toshkent.: Tafakkur avlodi. 2020. 191 b.	
3	Majidov S. Elektr mashinalari va elektr yuritma. - T.: O'qituvchi, 2002. - 358 b.	
4	Alimxodjayev K.T., Pirmatov N.B., Ziyoxodjayev T.I. Elektr mashinalari.- T.: "Fan va texnologiya", 2018. -344 b.	
Qo'shimcha adabiyotlar		
1	Alimxodjayev K.T., Pirmatov N.B., Ziyoxodjayev T.I., Mustafakulova G.N. Elektr mashinalari va transformatorlarning ekspluatatsiyasi. - T.: "Fan va texnologiya", 2019. -240 b	
2	Berdiev U.T., Pirmatov N.B. Elektromexanika.– T.: Shams-Asa. 2014. – 386 b.	
3	Ibrohimov U. Elektr mashinalari. O'quv qo'llanma. – T.:O'qituvchi, 2001.	

	Internet va Ziyonet saytlari
1	http://www.ziyo.net.uz
2	http://www.lex.uz
3	http://www.chipdip.ru

Talabani fan bo'yicha o'zlashtirish ko'rsatkichini nazorat qilishda quyidagi mezonlar tavsiya etiladi:

a) 5 baxo olish uchun talabani bilim darajasi quyidagilarga javob berish lozim:

- fanning mohiyati va mazmunini to'liq yoritish o'sa:
- fandagi mavzularni bayon qilishda ilmiylik va mantiqiylik saqlanib, ilmiy xatolik va chalkashliklarga yo'l qo'ymas:
- fan bo'yicha mavzu materiallarining nazariy yoki amaliy ahamiyati haqida aniq tasavvurga ega bo'lsa:
- fan doirasida mustaqil erkin fikrlash qobiliyatini namoyon etish o'sa:
- berilgan savollarga aniq va lo'nda javob bera o'sa:
- konspektga puxta tayyorlangan bo'lsa:
- mustaqil topshiriqlarni to'liq va aniq bajargan bo'lsa:
- fanga tegishli qonunlar va boshqa me'yoriy-xuquqiy hujjatlarni to'liq o'zlashtirgan bo'lsa:
- fanga tegishli mavzulardan biri bo'yicha ilmiy maqola chop ettirgan bo'lsa:
- tarixiy jarayonlarni sharxlay o'sa:

b) 4 baxo olish uchun talabani bilim darajasi quyidagilarga javob berish lozim:

- fanning mohiyati va mazmunini tushungan, fandagi mavzularni bayon qilishda ilmiy va mantiqiy chalkashliklarga yo'l qo'ymas:
- fanning mazmunini amaliy ahamiyatini tushungan bo'lsa:
- fan bo'yicha berilgan vazifa va topshiriqlarni o'quv dasturi doirasida bajarsa:
- fan bo'yicha berilgan savollarga to'g'ri javob bera o'sa:
- fan bo'yicha konspektini puxta shakllantirgan bo'lsa:
- fan bo'yicha mustaqil topshiriqlarni to'liq bajargan bo'lsa:
- fanga tegishli qonunlar va boshqa me'yoriy-xuquqiy hujjatlarni to'liq o'zlashtirgan bo'lsa:

c) 3 baxo olish uchun talabani bilim darajasi quyidagilarga javob berish lozim:

- fan haqida umumiy tushunchaga ega bo'lsa:
- fandagi mavzularni to'g'ri doirada yoritib, bayon qilishda ayrim chalkashliklarga yo'l qo'yilmas:
- bayon qilish ravon bo'lmas:
- fan bo'yicha savollarga mujmal va chalkash javoblar olmas:

- fan bo'yicha matn puxta shakllantirilmagan bo'lsa:

d) quyidagi xollarda talabanning bilim darajasi qoniqarsiz 2 baxo bilan baxolanishi mumkin:

- fan bo'yicha mashg'ulotlarga tayyorgarlik ko'rilmagan bo'lsa:
- fan bo'yicha mashg'ulotlarga doir xech qanday tasavvurga ega bo'lmasa:
- fan bo'yicha matnlarni boshqalardan ko'chirib olingani sezilib tursa:
- fan bo'yicha matnda jiddiy xatò va chalkashliklarga yo'l qo'yilgan bo'lsa:
- fanga doir berilgan savollarga javob olinmasa:
- fanni bilmasa:

Fan o'qituvchisi haqida ma'lumot

Mualliflar:	Usmonov I - TDTU Qo'qon filiali dotsenti
Email:	
Tashkilot:	Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetining Qo'qon filiali "Elektr texnologiyalari" kafedrası
Taqrizchi:	Butayev T - TDTU Qo'qon filiali dotsenti

Ushbu uslubiy ko'rsatma "Elektr texnologiyalari" kafedrasining 2024 yil "___" _____dagi ___-sonli yig'ilishida ko'rib chiqilgan va fakultet kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan.

Kafedra mudiri: _____ **G.Urozaliyev**

Uslubiy ko'rsatma "Energetika" fakulteti kengashida muhokama qilingan va filial o'quv-uslubiy kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan. (2024 yil "___" _____dagi ___-sonli bayonnoma).

Fakultet dekani: _____ **I.Usmonov**

Uslubiy ko'rsatma filialning o'quv- uslubiy kengashida ko'rib chiqildi va foydalanishga tavsiya etildi. (2024 yil "___" _____dagi ___- sonli majlis bayonnomasi).

O'quv uslubiy bo'lim boshlig'i: _____ **M.Mansurov**