

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim
vazirligi

U.T. BERDIEV

E L E K T R O M E X A N I K A

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi texnika
oliy o‘quv yurtlarining “Elektr energetika” va “Elektr texnikasi, elektr
mexanikasi va elektr texnologiyalari” yo‘nalishi talabalari uchun oquv
qo‘llanma sifatida tavsiya etgan

T o s h k e n t – 2018

UO'K (УДК)

КБК (ББК)31.261Я723

U.T. Berdiev

Elektromexanika: Texnika oliy o'quv yurtlarining "Elektr energetikasi" va "Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari" yo'nalishlari talabalari uchun o'quv qo'llanma. – T.: 2018. – b.

O'quv qo'llanmada turli sohalarda keng qo'llaniladigan transformatorlarning, o'zgaruvchan (asinxron va sinxron) va o'zgarmas tok mashinalarining tuzilishi, ishlash prinsipi, ularda bo'ladigan asosiy fizik jarayonlar va ularning xarakteristikalarini tahlil qilingan, hamda ularning parametrlarini rostlash buyicha nazariy ma'lumotlar va amaliy maslahatlar berilgan.

O'quv qo'llanmadan texnika oliy o'quv yurtlarining «Elektr energetika», «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari» va oliy ta'limning texnika yo'nalishlari talabalari, elektroenergetika sohasiga oid kasb hunar kollejlarda ta'lim olayotgan o'quvchilar hamda xizmat doirasi elektr mashinalarining ekspluatatsiyasi hamda ta'mirlashi bilan bog'langan mutaxassislar ham foydalanishlari mumkin.

T a q r i z c h i l a r:

G.N.Mustafaqulova - Toshkent Davlat texnika universiteti "Elektr mashinalari" kafedrasida dotsenti, t.f.n.

S.F.Amirov - TTYMI «Temir yo'l elektr ta'minoti» kafedrasida mudiri. t.f.d., professor

Annotasiya

O'quv qo'llanmada turli sohalarda keng qo'llaniladigan transformatorlarning, o'zgaruvchan (asinxron va sinxron) va o'zgarmas tok mashinalarining tuzilishi, ishlash prinsipi, ularda bo'ladigan asosiy fizik jarayonlar va ularning xarakteristikalari tahlil qilingan, hamda ularning parametrlarini rostlash buyicha nazariy ma'lumotlar va amaliy maslahatlar berilgan. O'quv qo'llanmadan texnika oliy o'quv yurtlarining "Elektr energetika", "Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari" va oliy ta'limning texnika yo'nalishlari talabalari, elektroenergetika sohasiga oid kasb hunar kollejlarda ta'lim olayotgan o'quvchilar hamda xizmat doirasi elektr mashinalarining ekspluatatsiyasi bilan bog'langan mutaxassislar ham foydalanishlari mumkin. O'quv qo'llanma 5310200-Elektr energetika va 5310700-Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari yo'nalishlari o'quv rejasiga mos holda tayyorlangan.

Аннотация

В учебном пособии приведены конструкции электрических машин и принцип их действия, возникающие в них физических процессов, их характеристики, а также даны теоретические и практические навыки работы широко применяемые в производстве трансформаторов, машин переменного тока (асинхронные и синхронные) и машин постоянного тока.

Учебным пособием могут пользоваться студенты по направлениям 5310200-Электроэнергетика и 5310700-Электротехника, электромеханика и электротехнология, а также студенты технических направлений высших учебных заведений, ученики профессиональных колледжей по отраслям электроэнергетики и специалисты по эксплуатации электрических машин.

Учебное пособие подготовлено и соответствует учебным планам по направлениям 5310200-Электроэнергетика и 5310700-Электротехника, электромеханика и электротехнология.

Annotation

The study guide describes the design and principle of operation, the physical processes that arise with them and their characteristics, as well as theoretical and practical Naviks widely used in production transformers, AC machines (asynchronous and synchronous) and DC machines.

The study guide can be used by students in the areas of 5310200- Electr Energy and 5310700-Electrical Engineering, Electromechanics and Electrotechnology, as well as for students of the technical direction of higher educational institutions, students of professional colleges by branches of the electric power industry and for electricians.

The study guide is prepared and corresponds to the curriculum in the directions 5310200- Electr Energy and 5310700-Electrical Engineering, Electromechanics and Electrotechnology.

So‘z boshi

Kelajakning negizi bo‘lgan yuksak ma’naviyatli va malakali kadrlar tayyorlash uchun xalqaro standart talablari asosida ishlab chiqarilgan elektromexanik qurilmalarga oid yetarli darajada ma’lumotlarni qamrab olgan darslik va o‘quv qo‘llanmalar yaratish hozirgi kunning dolzarb masalalaridan biridir. Elektrotexnika sanoatning muhim qurilmalaridan elektr mashinalari va transformatorlar turli ishlab chiqarish korxonalarda, energetikada, transportda (aviatsiya, temir yo‘l, avtomobil, metro, tramvay, trolleybus), qishloq va suv xo‘jaligida, qurilishda, va boshqa sohalarda keng qo‘llaniladi.

2017-2021 yillarda qayta tiklanuvchi energetikani yanada rivojlantirish, iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohada energiya samaradorligini oshirish chora-tadbirlari dasturi to‘g‘risidagi O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Qarorida 2017-2021yillarda gidroenergetikani yanada rivojlantirish chora-tadbirlariga doir qabul qilingan dastur doirasida 42 ta yangi gidroelektrostansiya qurish va ishlab turgan 32ta gidroelektrostansiyaning modernizatsiya qilish hisobiga 2025 yilga qadar respublikamizning ekalogik toza gidroenergiyasi ishlab chiqish quvvatlarini 1,7 barobar oshirish nazarda tutilmoqda.

2017-2021yillarda O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo‘nalishi bo‘yicha harakatlar strategiyasida qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish, ishlab chiqarishning energiya sig‘imini qisqartirish, milliy ilmiy-texnikaviy ishlanmalar va sinovdan o‘tgan xalqaro energotejamkor ilg‘or texnologiyalar tadqiqotlarni amaliyotga maqsadli joriy etish sohasida belgilangan ustuvor yo‘nalishlarni ro‘yobga chiqarish maqsadida energiya samaradorligini oshirish, qayta tiklanuvchi energetikani yanada rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlari belgilangan.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish sohasida innovatsiya texnologiyalarini, ilmiy-texnikaviy ishlanmalarni joriy etish va energiya samaradorligini oshirish, energiya tejovchi jihozlar va asbob-uskunalarni ishlab chiqarish va mahalliy lashtirishni, jumladan, texnologiyalarni transfer qilish va muxandislik markazlarini tashkil etish yo‘li bilan kengaytirish hamda qayta

tiklanuvchi va muqobil energiya manbalaridan, ikkilamchi energetika resurslarini energetik utilizatsiya qilishdan foydalangan holda, elektr energiya ishlab chiqarish, quyosh, shamol energiyasi, mikro va kichik gidroelektrostansiyalardan foydalanishning sinovdan o'tgan texnologiyalari asosida energiya ishlab chiqarishni yo'lga quyish masalalari kursatilgan.

Bunga erishish uchun zamonaviy energiya samarador va energiya tejamkor texnologiyalar asosida mavjud ishlab chiqarish quvvatlarini modernizatsiya qilish, texnik va texnologik qayta jixozlash va yangilarini yaratish orqali ishlab chiqarilayotgan mahsulotlar energiya sig'imini kamaytirishdan iboratdir.

YUqoridagi vazifalarni amalga oshirishda elektr energiyasini ishlab chiqaradigan elektr mashinalarni o'rganish zarur bo'ladi. Buning uchun texnika oliy o'quv yurtlarining "Elektr energetika" va "Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari" yo'nalishlari talabalariga "Elektromexanika" fanini chuqur o'rgatish talab etiladi.

O'quv qo'llanma texnika oliy o'quv yurtlarining "Elektr energetika" va "Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari" yo'nalishlari talabalari uchun "Elektromexanika" fanining dasturi asosida yozilib, uning mazmuni: transformatorlar, asinxron mashinalar, sinxron mashinalar va o'zgarmas tok mashinalari ketma-ketligida bayon qilingan. Ularning tuzilishi, ishlash prinsipi, asosiy xossalari va xarakteristikalari amaliyot nuqtai nazaridan yondashilgan holda bayon etilgan. Yangi turdagi elektr mashinalariga oid umumiy ma'lumotlar ham kitobning tegishli bo'limlarida o'z aksini topgan. Ishlash prinsipi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslanganligi hamda ulardagi elektromagnit jarayonlar ko'p jihatdan elektr mashinalarinikiga o'xshashligi sababli transformatorlar ham «Elektr mashinalari» bulimida o'rganiladi.

Muallif o'quv qo'llanmani batafsil taqrizdan o'tkazgan o'zining maslahatlari bilan o'quv qo'llanmaning sifatini yaxshilashga yordam qilganliklari uchun Toshkent Davlat texnika universiteti, "Elektr mashinalari" kafedrasida dotsenti, t.f.n. G.N.Mustafaqulova va TTYMIning "Temir yo'l elektr ta'minoti" kafedrasida mudiri, professor, t.f.d., S.F. Amirovlarga o'zining chuqur minnatdorchiligini bildiradi.

Kirish

Tabiatda energiyaning bir turdan ikkinchi turga utishi va undan ma'lum maqsadlarda foydalanish insoniyat yashashining omili bo'lib kelgan. Hozirgi kunda ham bu masala o'z aktualligini yuqotgani yo'q.

Elektr mashina mexanik energiyani elektr energiyaga (elektr generatorlari) yoki elektr energiyani mexanik energiyaga (elektr motorlari) aylantira oladigan elektromexanik o'zgartgichdir. Elektr mashinalarida energiyaning elektromexanik o'zgartirilishi magnit maydon vositasida amalga oshirilib, elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan, shuning uchun ham ularni induktiv elektr mashinalari deyiladi. O'zgaruvchan tok kuchlanishini o'zgartirib beruvchi transformatorlar ham induktiv elektr mashinalarining o'ziga xos turidir.

Elektr-mashinaviy o'zgartgichlar (masalan, o'zgaruvchan tok chastotasini va fazalar sonini o'zgartira oladigan) va kam quvvatli elektr signallar vositasida nisbatan katta quvvatli ob'ektlarni boshqarishga imkon beruvchi elektr-mashinaviy kuchaytirgichlar ham EMO' hisoblanadi.

Sanoat elektronikasining jadal ravishda rivojlanishi tufayli yarim o'tkazgich (tranzistor, tiristor)li o'zgartgichlar va kuchaytirgichlar sanoatda keng qo'llanilmoqda. Natijada elektr-mashinaviy o'zgartgichlar va kuchaytirgichlarni amalda qo'llash sohalari ancha kamaygan.

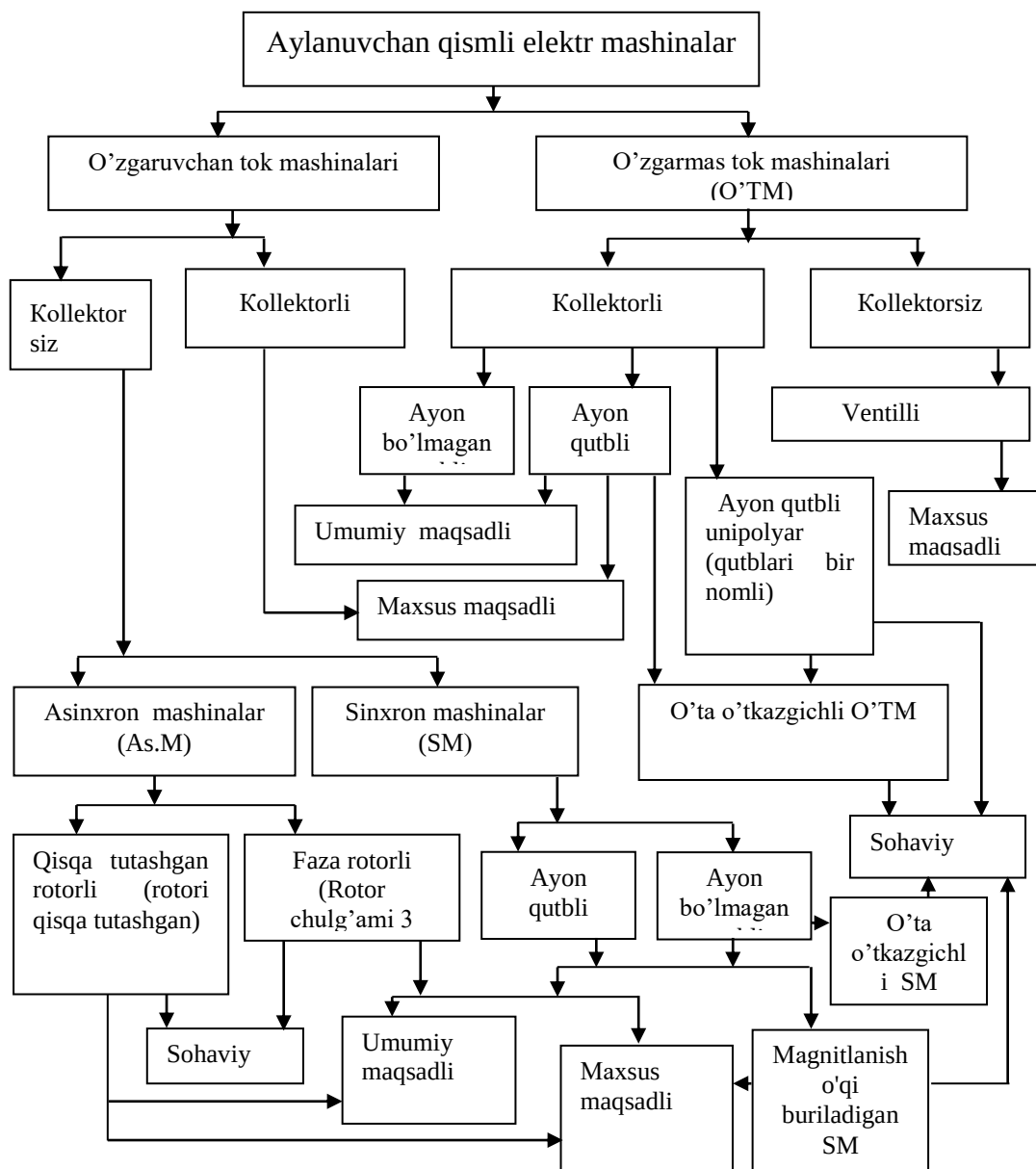
Elektr mashinalarining turlari. Aylanuvchi qismli elektr mashinalari tokning turiga ko'ra o'zgaruvchan va o'zgarmas tok mashinalariga bo'linadi. O'zgaruvchan tok elektr mashinalari ishlash prinsipiga bog'liq holda asinxron, sinxron va kollektorli mashinalarga bo'linadi, 1-rasm.

Asinxron mashinalar. Tuzilishi, ishga tushirish va texnik xizmat ko'rsatishning oddiyligi hamda yuksak ishonchliligi kabi afzalliklari tufayli turli xo'jalik sohalarida asosan elektr motorlari sifatida ishlatiladi.

Sinxron mashinalar elektr stansiyalarida sanoat chastotali ($f=50$ Gs) o'zgaruvchan tok ishlab chiqaruvchi generatorlar va mustaqil elektr energiya istemolchilari (samolyotlar, katta kemalar va boshq.) uchun yuqori chastotali generatorlar sifatida qo'llaniladi.

O'zgaruvchan tok kollektorli mashinalari asosan elektr motorlari sifatida ishlatiladi. Ularning konstruksiyasi murakkab va cho'tka-kollektor qurilmasining tez-tez profilaktik ko'zdan kechirish (yoki ta'mirlash) zaruratining tug'ilib turishi tufayli ulardan amalda kam foydalaniladi. Avtomatika qurilmalarida hamda maishiy xizmat va uy xo'jaligi elektr uskunalarida universal, ya'ni o'zgaruvchan va o'zgarmas toklarda ishlay oladigan kollektorli mashinalar qo'llaniladi.

O'zgarmas tok mashinalari ko'pchilik hollarda elektr motorlari sifatida aylanish chastotasi keng ko'lamda o'zgartirilishi talab qilinadigan elektr yuritma qurilmalarida ishlatilib, avtomatik roslash tizimlarida esa ijrochi motorlar va taxogeneratorlar sifatida keng foydalaniladi.



1-rasm. Aylanuvchi qismli induktiv elektr mashinalarining klassifikatsiyasi

Transformator – o‘zgaruvchan tok kuchlanishini o‘zgartiradigan (bu jarayonda chastota $f = \text{const}$) statik (aylanuvchi qismi bo‘lmagan) elektromagnit o‘zgartgichdir. Lekin transformatorning ishlash prinsipi ham elektr mashinalaridagi singari elektromagnit induksiya hodisasiga asoslanganligi va o‘zgaruvchan tok mashinalaridagi fizik jarayonlar ko‘p jihatdan transformatordagiga o‘xshaganligi uchun ushbu kursda transformatorlar nazariyasi asoslarini o‘rganish, o‘zgaruvchan tok mashinalari nazariyasining yanada chuqurroq tushunib olishga imkon beradi.

Elektr mashinalari quyidagicha klassifikasiyalanadi, ya’ni quvvatiga ko‘ra:

1) 500 W gacha – elektr mikromashinalari; 2) $0,5 < P \leq 10$ kW – kam quvvatli; 3) $10 < P \leq 200$ kW – o‘rta quvvatli; 4) quvvati $P > 200$ kW – katta quvvatli; aylanish chastotasiga ko‘ra:

a) $n = 300$ ayl/min. gacha – kam tezlikli; b) $n = 300 \div 1500$ ayl/min – o‘rta tezlikli; v) $1500 < n \leq 6000$ ayl/min – katta tezlikli; g) $n > 6000$ ayl/min – o‘ta katta tezlikli elektr mashinalari.

Elektr mashinalarida rotor va stator magnit maydonlarining o‘zaro qo‘zg‘almasligi hamda elektr mashinalarining generator va motor rejimlarida ishlash mumkinligi elektr mashinalari nazariyasining asosiy qoidalaridir.

Elektr mashinalariga qo‘yiladigan umumiy texnik talablar. Umumiy maqsadli elektr mashinalariga qo‘yiladigan asosiy talablar standart tomonidan belgilanib, ular quyidagilardan iborat:

1) ishda ishonchliligi yuksak bo‘lishi; 2) energetik ko‘rsatkichlari yuqori bo‘lishi; 3) gabarit o‘lchamlari, massasi va narxi imkon qadar minimal bo‘lishi; 4) konstruksiyasi ishlab chiqarishda oddiy va ularga texnik xizmat ko‘rsatish hamda ishlatishda qo‘lay bo‘lishi zarur.

Har qaysi elektr mashina ekspluatatsiyaning aniq sharoitlarida (yuklamaning rejimi, ruxsat berilgan o‘ta yuklama, kuchlanish, o‘zgaruvchan tok chastotasi, aylanish chastotasi, sovitish muhitining temperaturasi, dengiz sathidan balandligi, namlik va boshqalarda) ishlashga hisoblangan bo‘ladi. Bu sharoitlarda mashina belgilangan (davriy ta’mirlashlar orasidagi) vaqt mobaynida avariyasiz va nosozliklarsiz nominal quvvatda ishlay olishi zarur.

Mashinaning ishda ishonchliligini ta'minlash maqsadida uni loyihalashda hisobga olish, ishlab chiqarishda yuksak sifatli texnologiyani qo'llash va ishlatishni to'g'ri tashkil qilish (loyihada belgilangan rejimda ishlatish va profilaktik ta'mirlarni o'z vaqtida bajarish) zarur bo'ladi.

Elektr mashinalarida energiyaning elektromexanik o'zgartirilishi

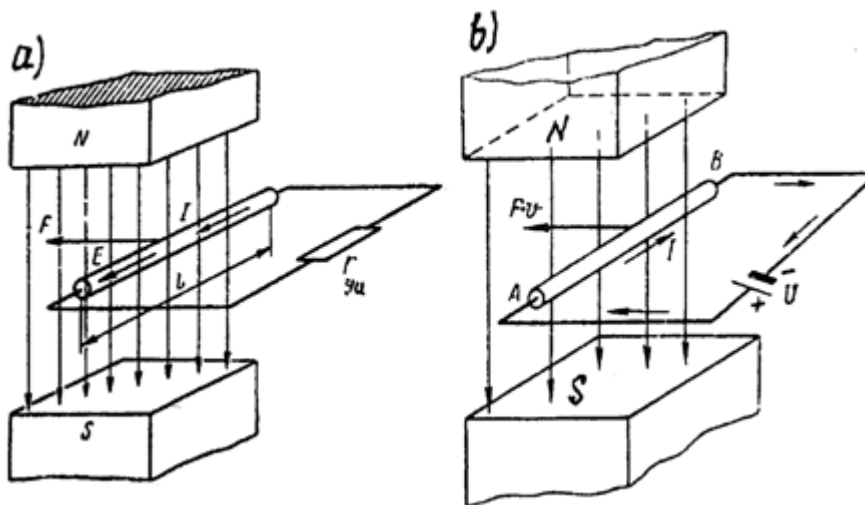
Elektr generatorining ishlash prinsipi buyuk ingliz olimi Faradey kashf qilgan (1831 y.) elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan.

Agar o'tkazgich magnit maydonda tashqi kuch F ta'sirida harakatga keltirilsa (2, a-rasm), o'tkazgichda EYuK hosil bo'ladi. Agar o'tkazgich maydonni perpendikulyar ravishda kesib o'tsa, hosil bo'lgan EYuK ning qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$E = B \cdot l \cdot v, \quad (1)$$

bunda E – o'tkazgichda hosil bo'lgan EYuK, [V]; B – magnit induksiya, [Tl];

l – o'tkazgichning aktiv, ya'ni magnit maydonini kesib o'tadigan qismining uzunligi, [m]; v – o'tkazgichning harakatlanish tezligi, [m/s].



2-rasm. Elektr mashinalarida mexanik energiyaning elektr energiyaga (a) va elektr energiyaning mexanik energiyaga (b) aylantirilishiga oid chizmalar

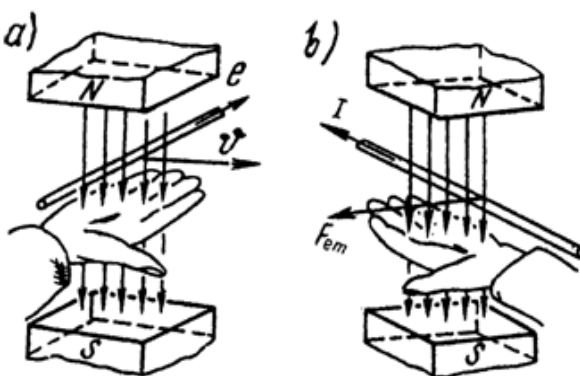
Bu EYuK ning yo'nalishini aniqlashda «o'ng qo'l» qoidasidan (3, a-rasm), bosh barmoq o'tkazgich harakati yo'nalishida ochilsa, qolgan to'rtta barmoqning ochiq holati EYuK ning yo'nalishini ko'rsatadi. Tashqi kuch ta'sirida

o'tkazgich o'ngdan chapga harakatlantirilganda (2,a-rasm) EYuK biz tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Agar o'tkazgichning uchlari tashqi qarshilikka ulansa, EYuK ta'sirida berk zanjirda yo'nalishi EYuK niki bilan bir xil bo'lgan tok paydo bo'ladi. Shunday qilib, magnit maydondagi o'tkazgichni bu holda eng oddiy generator deyish mumkin (2, a-rasm).

O'tkazgichdagi tok I bilan magnit maydonning o'zaro ta'siri natijasida Amper qonuniga binoan o'tkazgichga ta'sir etuvchi elektromagnit kuch F_{em} hosil bo'ladi. Bu kuchning qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$F_{em} = B \cdot l \cdot I. \quad (2)$$



3.-rasm. «O'ng qo'l» (a) va «chap qo'l» (b) qoidalariga oid chizmalar

Bu kuchning yo'nalishini «chap qo'l» qoidasi (3,b-rasm) yordamida aniqlash mumkin. Buning uchun chap qo'lni magnit maydondagi o'tkazgichga parallel qilib tutganda maydon kuch chiiqlari kaftga tomon yo'nalib, to'rtta barmoq o'tkazgichdagi tokning yo'nalishida ochilsa, o'tkazgichga perpendikulyar ochilgan bosh barmoq elektromagnit kuchning yo'nalishini ko'rsatadi (3,b-rasm). Bu kuch o'tkazgichning harakatanishiga teskari yo'nalgan bo'lib, generatorda tormozlovchi ta'sir qiladi.

O'tkazgichning harakati bir tekis bo'lganda tashqi harakatlantiruvchi kuch F elektromagnit kuch F_{em} ga teng bo'ladi:

$$F = F_{em} \quad (3)$$

(3) tenglikning ikkala qismini o'tkazgich tezligi v ga ko'paytiramiz:

$$F \cdot v = F_{em} \cdot v. \quad (4)$$

(2) dan F_{em} ning qiymatini (4) ga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$F \cdot v = B \cdot l \cdot I \cdot v = E \cdot I. \quad (5)$$

(5) tenglikning chap qismi ($F \cdot v$) o'tkazgichni magnit maydonda harakatlantirish uchun mexanik quvvatni, o'ng qismi ($E \cdot I$) esa yopiq zanjirda tok I hosil qilgan elektr quvvatni ko'rsatadi. Shunday qilib, tashqaridan berilayotgan mexanik quvvat generatorda elektr quvvatga aylanadi.

Agar o'tkazgichga tashqi kuch qo'ymay, unga elektr energiya manbasidan 2, b-rasmda ko'rsatilgandek yo'nalishdagi tok berilsa, u holda o'tkazgichga faqat elektromagnit kuch F_{em} ta'sir etadi, xolos. O'tkazgich shu kuch ta'sirida magnit maydonda o'ngdan chapga harakatlana boshlaydi, o'tkazgichda hosil bo'ladigan EYuK esa oldingiga (2,a-rasm) nisbatan teskari bo'ladi. O'tkazgichga manbadan qo'yilgan kuchlanishning asosiy qismi undagi hosil bo'lgan EYuK bilan muvozanatlashadi, juda ham kam qismi esa o'tkazgichdagi kuchlanish tushishini qoplaydi, demak, 2,b-rasmdagi elektr zanjiri uchun Kirxgofning II qonuni quyidagicha yoziladi:

$$U = E + Ir, \quad (6)$$

bunda r – o'tkazgichning elektr qarshiligi.

(6) tenglikning ikkala qismini tok I ga ko'paytiramiz:

$$U I = EI + I^2 r. \quad (7)$$

(1) formuladan EYuK E ning qiymatini (7) ga qo'yib, (2) ni ham hisobga olgan holda quyidagini hosil qilamiz:

$$U I = B l v \cdot I + I_2 r = F_{em} \cdot v + I_2 r. \quad (8)$$

Bundan: o'tkazgichga kiruvchi elektr quvvatning asosiy qismi mexanik quvvat ($F_{em} \cdot v$) ga aylanadi, juda ham kam qismi esa o'tkazgichdagi elektr isroflari ($I_2 r$)ni qoplashga sarflanar ekan. Shunday qilib, magnit maydonga joylashgan tokli o'tkazgichni eng oddiy elektr motori deb qarash mumkin.

Elektr mashina ishlashining zaruriy sharti o'tkazgichlar va magnit maydonning mavjud bo'lishidir. Bunda elektr mashina generator sifatida ham, motor sifatida ham ishlashi mumkin. Elektr mashinaning bu xususiyati ularning qaytuvchanligi deb ataladi (buni rus olimi E. Lens 1833 y. kashf qilgan).

Birinchi bo'lim. TRANSFORMATORLAR

1-Bob. Transformatorlarga oid umumiy ma'lumotlar

1.1§. Transformatorlarning elektr energetikada tutgan o'rni

Elektr stansiyalaridan iste'molchilarga elektr energiyani uzatishdagi energiya isroflari liniya simlaridan o'tadigan tok kuchiga bog'liq bo'ladi. Elektr stansiyalaridagi sinxron generatorlar kuchlanishining kattaliklari ($U \leq 24 \text{ kV}$) uzoq masofada joylashgan iste'molchilarga elektr energiyani tejimli uzatish uchun ancha kamlik qiladi. Elektr energiyaning ma'lum quvvati ($S = \sqrt{3} U \cdot I$)ni iste'molchiga uzatishda transformator yordamida kuchlanish U qanchaga oshirilsa, tok kuchi I shuncha marta kamayadi.

Bunda: 1) liniya uchun ko'ndalang kesim yuzasi nisbatan kichik bo'lgan sim tanlanib, elektr uzatish liniyasini qurishda rangli metallar tejaladi;

2) liniyadagi quvvat isroflari ($P' = 3I^2 r_l$) kamayishi tufayli iste'molchilarga yetkazib beriladigan aktiv quvvat oshadi.

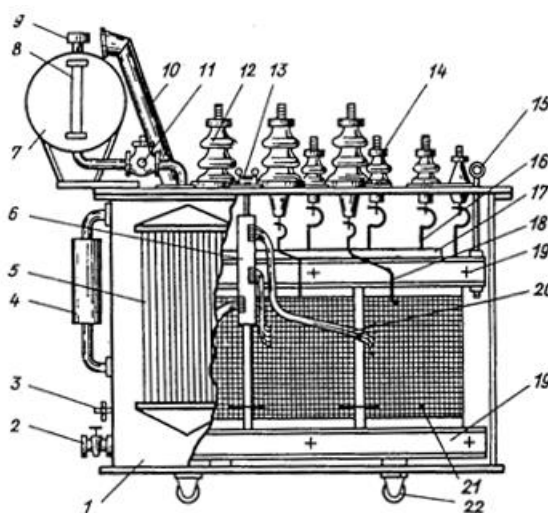
Ayrim issiqlik elektr stansiya (IES)larida o'rnatilgan kuch transformatorlari uzatilayotgan elektr energiyaning kuchlanishini 20 kV dan 500 kV ga, ya'ni 25 marta oshirib beradi. Natijada, liniya simlaridagi energiya isroflari transformersiz uzatilganiga nisbatan $25^2 = 625$ marta kamayadi, ya'ni katta iqtisodiy samaraga erishiladi.

Har qaysi elektr stansiyasida kuchlanishni oshiruvchi katta quvvatli transformatorlar o'rnatilgan bo'ladi (1.1-rasm). Elektr uzatish liniyasi uzoq masofali va uzatilayotgan quvvat qancha katta bo'lsa, texnik-iqtisodiy jihatdan asoslangan kuchlanish shuncha yuqori bo'ladi. Masalan, 103 MW quvvatni 1000 km masofaga uzatish uchun deyarli 500 kV kuchlanish zarur bo'ladi.

O'zgaruvchan tok iste'molchilarining ko'pchiligi 220, 380 va 660 V kuchlanishlarda, nasos stansiyalarda o'rnatilgan suv nasoslarini yuritadigan sinxron elektr motorlari 10 kV; metallurgiyada qo'llaniladigan katta quvvatli faza rotorli asinxron elektr motorlari 6 kV, shu sohada ishlatiladigan yirik sinxron elektr motorlari esa 6 va 10 kV kuchlanishlarda; elektr-lashtirilgan temir yo'l transportida qo'llaniladigan elektr motorlari 3,3 kV kuchlanishda ishlaydi. Shuning uchun

elektr uzatish liniyasining yuqori kuchlanishi markaziy va mintaqaviy podstantsiyalarda hamda elektr energiya iste'molchilariga yaqin joyda o'rnatilgan kuch transformatorlari orqali ular uchun zarur bo'lgan kuchlanish qiymatiga qadar pasaytiriladi. Shu xususda 1.1-rasmda, konstruksiyasi kuchlanish qiymati 35 kV, quvvati esa 1000÷6300 kV·A ga mos keladigan pasaytiruvchi kuch transformatori qo'rsatilgan.

Elektr stansiyasidan iste'molchilarga elektr energiyani uzatish jarasm. Kuchlanish klassi 35 kV quvvati 1000÷6300 kV·A konstruksiyasiga mos keladigan pasaytiruvchi kuch transformatori: yoni besh-olti bosqichda asosan ikki chulg'amli katta quvvatli transformatorlar vositasida amalga oshiriladi. Shuning uchun kuch transformatorlarining soni hamda ularning quvvati elektr energiyani uzatish masofasiga qarab elektr stansiyalaridagi elektr generatorlarining soni va o'rnatilgan quv-vatiga nisbatan taxminan olti marta ko'p bo'ladi.



1.1-rasm. Transformorning umumiy ko'rinishi.

1 – bak; 2 – moy uchun ventil; 3 – zaminlash uchun qistirma; 4 – termosifonli filtr; 5 – radiator; 6 – kuchlanishni rostlash qayta ulagichi; 7 – kengaytirgich; 8 – moy ko'rsatkich; 9 – havo quritgich; 10 – chiqaruvchi (saqlovchi) truba; 11 – gaz rele; 12 – YuK chulg'am uchun o'tish izolyatori; 13 – qayta ulagich dastagi; 14 – PK chulg'amga oid o'tish izolyatori; 15 – transformatorni ko'tarish uchun ilgich; 16 – PK chulg'amni o'tish izolyatori bilan bog'lovchi o'tkazgich; 17 – magnit o'tkazgich; 18 – YuK chulg'amni o'tish izolyatori bilan bog'lovchi o'tkazgich; 19 – yuqorgi va pastki yarmo balkalari; 20 – YuK chulg'am roslash tarmog'ining simlari; 21 – YuK chulg'am; 22 – aravacha g'ildiragi

O'zbekiston Respublikasida kuch transformatorlari hamda maxsus transformatorlarning ayrimlari asosan Toshkent viloyatida faoliyat ko'rsatayotgan

Chirchiq transformatorsozlik zavodida, «ELUS (Elektr uskunalari)» va «Osiyoelektoenergiya» ilmiy-ishlab chiqarish korxonalarida ishlab chiqarilmoqda. Toshkent shahrida kuch transformatorlarini ta'mirlaydigan korxonalardan «Energota'mir» ixtisoslashtirilgan ta'mirlash-ishlab chiqarish va «Rotor» ta'mirlash korxonalari ham faoliyat ko'rsatmoqda.

1.2§. Transformatorlarning turlari, ularga qo'yiladigan asosiy talablar, gabaritlari va nominal kattaliklari

Transformatorlarning turlari. 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 uskunalarda elektr energiyani o'zgartirish (kuchlanishni oshirish yoki kamaytirish) vazifasini bajaradigan transformatorni kuch transformatori deyiladi. Bu toifaga: quvvati 6,3 kV·A va undan katta bo'lgan uch fazali transformatorlar hamda quvvati 5 kV·A va undan katta bo'lgan bir fazali transformatorlar kiradi.

Normal sharoitda ishlayotgan elektr tarmog'iga ulash uchun, yoxud maxsus ish sharoiti, yuklamaning xarakteri yoki ish rejimi bilan farq qilmaydigan energiya iste'molchilarini bevosita ta'minlashga tayyorlangan transformatorlarni 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 avto transformatorlarining gabaritlarga ajratilishi 1.1-jadvalda ko'rsatilgan. **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. **1-jadval. Kuch transformatorlari va avtotransformatorlarining gabaritlari**

Gabarit raqamlari	Kuch transformatorlari va avtotransformatorlarining standartda belgilangan qatorga mos keluvchi quvvat va kuchlanishlari	
	Nominal quvvati (S_N), kV·A	Nominal kuchlanishi (U_N), kV
I	$S_N < 100$	$U_N \leq 35$
II	$100 \leq S_N < 1000$	$U_N \leq 35$
III	$1000 \leq S_N < 6300$	$U_N \leq 35$
IV	$S_N \geq 6300$	$U_N \leq 35$
V	$S_N < 32\,000$	$U_N \leq 110$
VI	$32\,000 \leq S_N < 80\,000$	$U_N \leq 330$
VII	$80\,000 \leq S_N < 200\,000$	$U_N \leq 330$
VIII	$S_N \geq 200\,000$	$U_N \geq 330$

Shu sababli mazkur transformatorlarga quyidagi asosiy talablar qo'yiladi:

a) ishlab chiqarishda va ishlatishda tejamli bo'lishi; b) ishlatishda ishonchliligi; 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.

Transformatorning nominal kattaliklari. Transformatorlar standart talablariga mos holda texnik shartlar bo'yicha tayyorlanadi va elektr energiyani o'zgartirish bo'yicha ma'lum vazifalarni bajarish uchun belgilanadi. Bu

sharoitlardagi transformatorning ishi nominal kattaliklar bilan xarakterlanadi va ular elektr jihozlari kataloglarida hamda transformatorga mahkamlangan pasport taxtachada quyidagilar ko'rsatilgan bo'ladi:

Transformatorning to'la nominal quvvati, V·A yoki kV·A da ko'rsatiladi:

a) bir fazali ikki chulg'amli uchun – $S_{1N} = U_{1N} \cdot I_{1N}$; b) uch fazali ikki chulg'amli uchun – $S_{1N} = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = 3 U_{1Nf} I_{1Nf}$.

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

Nominal kuchlanish deganda har bitta chulg'amning liniya kuchlanishi tushuniladi. Ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi uchun $U_{2N} = U_{2(0)}$ qabul qilinadi. Transformatorning nominal toklari deganda quvvati $S_1 = S_2 = S_N$ va kuchlanishlari (U_{1N} va U_{2N}) bo'yicha hisoblangan 1- va 2-chulg'amlarning liniya qiymatlari tushuniladi. Bulardan tashqari: 1) nominal chastota f_N ; 2) fazalar soni m ; 3) chulg'amlarning ulanish sxemasi va guruhi; 4) qisqa tuta shuv kuchlanishi $u_{qt}(\%)$; 5) transformatorning tipi; 6) standart nomeri; 7) sovitish usuli va boshqa ayrim ma'lumotlar keltiriladi.

Nazorat savollari

1. Transformatorning ahamiyati nimadan iborat?
2. Transformatorlar qanday belgilariga binoan tasniflanadi?
3. Kuch transformatorlariga qanday asosiy talablar qo'yiladi?

2-Bob. Transformatorlarning magnit tizimlari va chulgʻamlari

2.1§. Transformatorlarning magnit oʻtkazgichlari va ularning konstruksiyasi

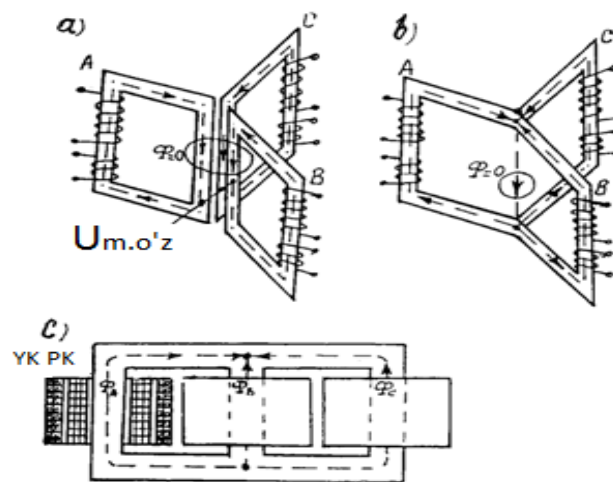
Magnit oʻtkazgich transformatorning muhim tarkibiy qismi boʻlib, u chulgʻamlararo magnit bogʻlanishni kuchaytirishdan tashqari, chulgʻamlari va yordamchi qismlarini oʻrnatish hamda mahkamlash uchun konstruktiv asosdir. Oʻzgaruvchan tokda ($f = 50 \text{ Hz}$) uyurma toklar tufayli hosil boʻladigan energiya isroflarini kamaytirish maqsadida transformatorlarning magnit oʻtkazgichlari 0,35 va 0,30 mm qalinliklardagi sovuq holatda joʻvalangan anizotropli (magnit xossalari yaxshilangan, masalan, 3404÷3406 markali) elektrotexnik poʻlat plastinalari maxsus lok va oksid pardalari bilan qoplangan holda izolyatsiya qilinib yigʻiladi. Bunday poʻlatni qoʻllash magnit oʻtkazgichdagi induksiyaning $1,6 \div 1,65 \text{ T}$ gacha oshirishga (issiq holatda joʻvalangan poʻlatda esa magnit induksiyaning $1,4 \div 1,45 \text{ T}$ dan oshirib boʻlmaydi) imkon yaratib, transformatorning aktiv (magnit va elektr oʻtkazuvchi) materiallari massasini hamda energiya isroflarini keskin kamaytirishga imkon berdi. Magnit tizimning chulgʻam joylashtirilgan qismini «sterjen», ularni ulab, berk magnit zanjir hosil qiladigan qismini «yarmo» deyiladi.

Uch fazali transformatorlarning magnit oʻtkazgichlari.

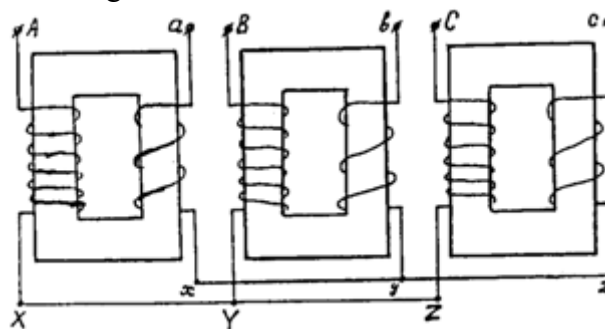
Uch fazali tok va kuchlanishlarni magnit oʻtkazgichi umumiy boʻlgan bitta uch sterjenli uch fazali transformator vositasida oʻzgartiriladi. Agar uchta bir fazali transformatorni 2.1,a-rasmda koʻrsatilgandek joylashtirilsa, unda magnit oʻtkazgichning oʻzaklarini konstruktiv jihatdan bitta umumiy oʻzakka almashtirish mumkin. Uch fazali tizimda sinusoidal magnit oqimlar oniy qiymatlarining yigʻindisi nolga teng boʻlganligidan umumiy oʻzakda magnit oqimi boʻlmaydi, shuning uchun bu oʻzakka zarurat ham qolmaydi.

Mazkur konstruksiyani soddalashtirish uchun uchta sterjenni bitta tekislikka joylashtirib, ustki va ostki yarmolar bilan ulansa, uch fazali uchta sterjenli yassi shaklli magnit oʻtkazgich hosil boʻladi (2.1,c-rasm). Barcha oʻzak va yarmolarning boʻylama oʻqlari bitta tekislikda joylashgan boʻlsa, transformator magnit oʻtkazgichini yassi shaklli (2.1,c-rasm), agar har xil tekisliklarda joylashgan

bo'lsa – fazoviy shaklli deyiladi (2.1,b va 2.3-rasmlar). O'zaklarning yarmolar bilan birikishiga ko'ra magnit tizimlar sterjenli, zirh-sterjenli va zirhli turlarga bo'linadi. Amaliyot uchun muhim ma'lumot. Bitta uch fazali transformatorni tayyorlash va ishlatish uchun o'rnatish, xuddi shunday ishlarni uch fazali transformator quvvatiga teng keladigan uchta bir fazali kuch transformatorlari uchun ketadigan xarajatning kam bo'lganligi va uch fazali transformatorning massasi uchta bir fazali transformatorlar massasining yig'indisidan 30÷35 foiz kamligi hamda uch fazali transformator ishda va unga xizmat ko'rsatishda iqtisodiy jihatdan samarali bo'lganligi sababli yassi shakldagi magnit o'tkazgichli uch fazali «sterjenli» kuch transformator-lari amalda keng qo'llaniladi.



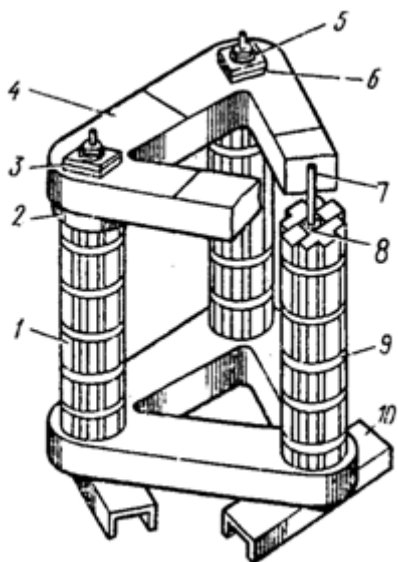
2.1-rasm. Magnit tizimi umumiy bo'lgan uch fazali transformator konstruksiyasining hosil qilinishiga oid chizmalar: a – uchta xil bir fazali transformatorlarning joylashtirilishi (bunda $U_{m.o'z}$ – umumiy o'zak); b – uch fazali simmetrik transformatorning fazoviy konstruksiyasi; c – fazoviy konstruksiyani o'zgartirib hosil qilingan yassi shakldagi magnit o'tkazgichli uch fazali transformator



2.2-rasm. Bir fazali transformatorlarning uch fazali guruhi yoki guruhlangan transformator

Magnit tizimi uchta faza uchun umumiy bo'lgan kuch transformatorlari massasining yoki tashqi o'lchamlarining haddan tashqari kattaligi tufayli temir yo'lda tashish va ishlatish uchun o'rnatishda texnik imkoniyatlar chegaralangan bo'lgani uchun energetika tizimida guruhlangan transformator ham ishlatiladi (2.2-rasm).

O'zaklarni yarmolar bilan birlashtirish usuliga ko'ra magnit o'tkazgichlar tutashgan va taxlangan turlarga bo'linadi. Tutashgan magnit o'tkazgichda o'zaklar va yarmolar alohida-alohida yig'ilib, so'ngra o'zaro bir butun qilib tutashtiriladi. Taxlangan magnit o'tkazgichda o'zak va yarmo plastinalarini yig'ishda tutashgan magnit o'tkazgichiga nisbatan nomagnit havo oraliqlarining ancha kamligi natijasida salt ishlash tokining keskin kamayishi uning afzalligidir.



2.3-rasm. Uch fazali transformator (TM-250/6) ning fazoviy shaklli magnit o'tkazgichi:
 1 – sterjen, 2 va 6 – izolyatsiyalovchi kistirmalar; 3 – plastina; 4 – yarmo; 5 – prujina;
 7 – shpil'ska; 8 – izolyatsiyalovchi trubka; 9 – sıkuvchi kamar; 10 – tayanch asos

Amalda fazoviy shaklli magnit tizimlari ham qo'llanilmoqda (2.3-rasm). Bunday magnit tizimning yarmosidagi magnit oqim $F_{ya} = F_{o'z}/\sqrt{3}$ bo'lganligidan uning ko'ndalang kesim yuzasini o'zaknikiga nisbatan $\sqrt{3}$ marta kamaytirish mumkinligi tejimli hisoblanadi. Chulg'amni o'rash texnologik jarayonining

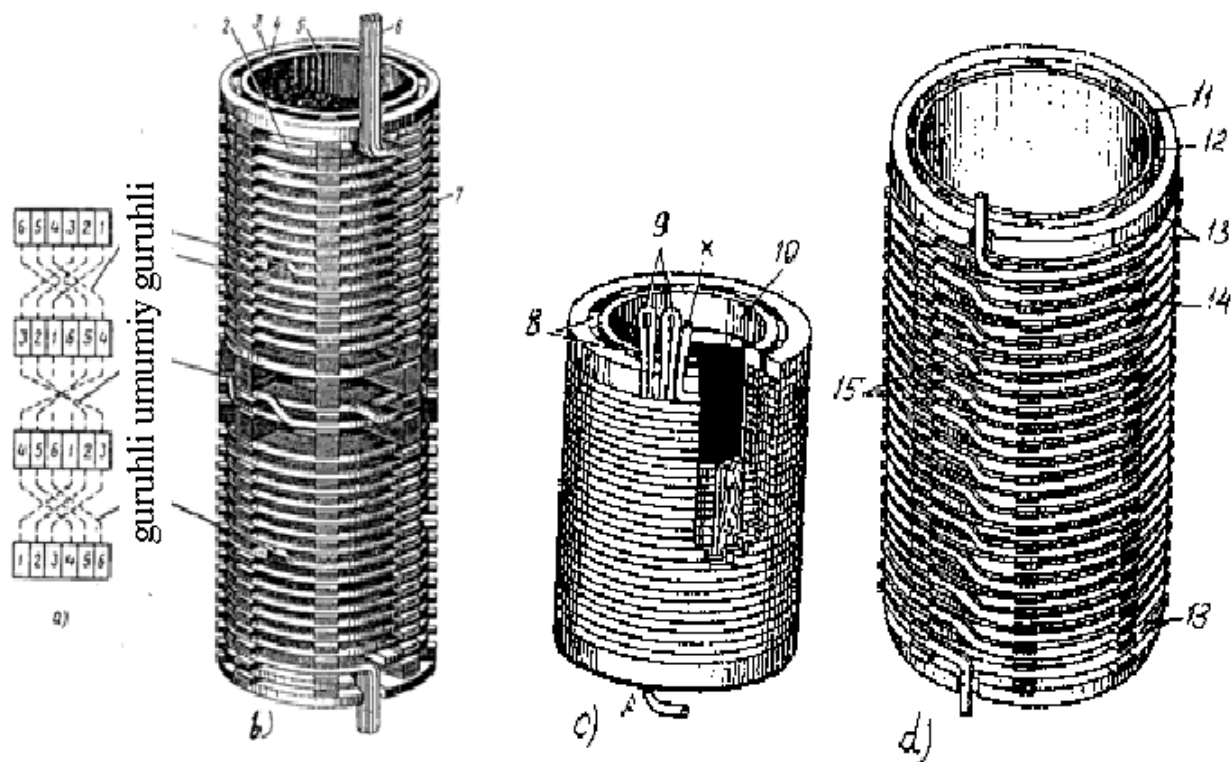
murakkabligidan bu magnit tizimni qo'llash, quvvati 630 kV·A gacha bo'lgan kuch transformatorlari bilan cheklangandir.

2.2§. Transformatorlarning chulg'amlari va ularning konstruksiyasi

Chulg'amlar transformatorning muhim tarkibiy qismi bo'lib, ular elektr energiyani o'zgartirish uchun zarur bo'lgan magnit maydonni vujudga keltirishni hamda transformatorni amalda ishlatish uchun muhim bo'lgan EYuK lar hosil qilishni ta'minlaydi.

Chulg'amlarni tayyorlashdagi sarflanadigan materiallar narxi va ularni o'rash uchun to'lanadigan ish haqi transformator narxining taxminan 50 foizini tashkil etadi. Transformatorning xizmat muddati uning og'ir sharoitlarda ishlaydigan chulg'amlarining xizmat muddati bilan aniqlanadi.

O'zakda joylashishiga ko'ra chulg'amlar konsentrik va almashinuvchi turlarga bo'linadi. Almashinuvchi chulg'amlarda YuK va PK g'altaklar o'zak baland-ligi bo'yicha navbatma-navbat o'zaro almashingan bo'ladi. Almashinuvchi chulg'amlar asosan maxsus transformatorlar uchun qo'llaniladi. Umumiy maqsadli kuch transformatorlarida va maxsus transformatorlarning ayrimlarida, odatda, konsentrik chulg'amlar qo'llaniladi. Bunda o'zak yaqiniga PK chulg'am, uning tashqarisiga esa YuK chulg'am joylashtiriladi. Konstruksiyasi va o'rash usuliga ko'ra konsentrik chulg'amlar silindrik, g'altakli va vintsimon turlarga bo'linadi. Katta quvvatli transformatorlarda parallel simlarning soni bir necha o'nlargacha yetishi mumkin. Shu sababli bunday transformatorlarning PK chulg'ami uchun bir necha to'g'riburchak kesimli simlardan parallel bajarilgan ko'p yo'lli vintsimon chulg'amlar qo'llaniladi. Vintsimon chulg'amda (2.4,b-rasm) parallel simlar konsentrik ravishda chulg'am o'qidan har xil uzoqlikda joylashganligi tufayli o'zakka yaqinroq joylashgan simlarga nisbatan undan uzoqda joylashganlari uzunroq bo'ladi. Bu farq shu simlar aktiv va induktiv qarshiliklarining tengsizligini vujudga keltiradi va ularda toklar bir tekis taqsimlanmaydi.



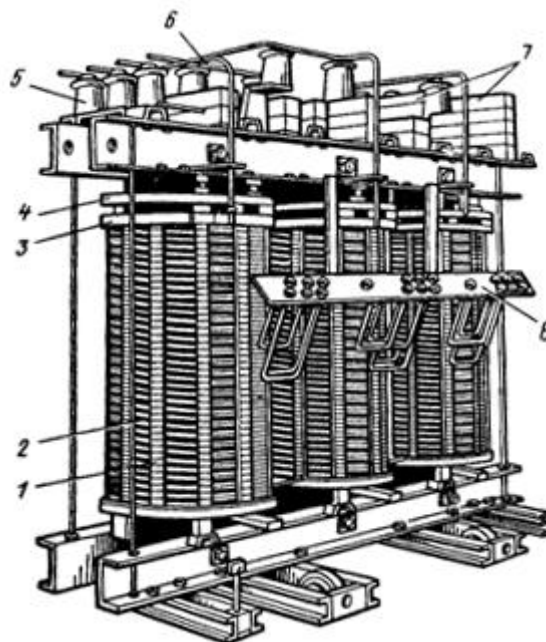
2.4-rasm. Kuch transformatorining: a – vintsimon chulhamida simlarning o‘rin almashinish (transpozitsiya) sxemasi; b – bir yo‘lli vintsimon chulham: (1 – o‘ramlar; 2 – tenglashtiruvchi segmentlar; 3 – ustki tayanch halqasi; 4 – vertikal sovitish kanallari; 5 – izolyatsion tsilindr; 6 – parallel simlar; 7 – qistirma); s – ko‘p qatlamli silindrik chulham: (8 – vertikal reykalari; 9 – chulg‘am uchlari; 10 – izolyatsion silindr); d – 35 kV kuchlanish uchun uzluksiz g‘altakli chulham: (11 – izolyatsion silindr; 12 – vertikal reykalari; 13 – chulg‘amning kuchaytirilgan izolyatsiyali g‘altaklari; 14 – qistirma; 15 – simlarning o‘rnini almashtirish uchun o‘tishlar)

Vintsimon chulg‘amlarda parallel simlardagi tokning bir tekis taqsimlanishi uchun bir o‘ramni hosil qiluvchi simlarni ma‘lum sxemada o‘rin almashtirib (transpozitsiya qilib) joylash talab qilinadi (2.4,a-rasm). Bunda har bitta sim bitta o‘ram chegarasida mumkin bo‘lgan hamma holatlarni navbatma-navbat egallashi lozim bo‘ladi.

Quvvati $S_N \leq 630 \text{ kV}\cdot\text{A}$ va kuchlanishi $U_N \leq 35 \text{ kV}$ gacha bo‘lgan transformatorlarda PK chulg‘am uchun dumaloq kesimli simdan yasalgan ko‘p qatlamli silindrik chulg‘amlar qo‘llaniladi (2.4,c-rasm).

Uzluksiz g‘altakli chulg‘amda bitta g‘altakdan ikkinchisiga simni uzmasdan o‘tiladi (2.4,d-rasm). Bunday chulg‘amning afzalliklariga tayanch yuzasining kattaligi sababli qisqa tutashuvda vujudga keladigan bo‘ylama kuchlarga nisbatan katta chidamlilik va sovitish yuzasining kattaligi kiradi. Shu afzalliklari tufayli uzluksiz chulg‘am keng ko‘lamda qo‘llaniladi. Transformator chulg‘amlarining

uchlari bak qopqog'ida o'rnatilgan maxsus chinni izolyatorlar ichidan o'tgan kesim yuzasi nisbatan katta bo'lgan o'tkazgichlarga ulanib tashqariga chiqariladi. Moy bilan sovitiladigan («moyli») va havo bilan tabiiy ravishda sovitiladigan («quruq») transformatorlarning chulg'amlari A (105°C) qizishga chidamlilik klassidagi kabel qog'ozi tasmasi bilan izolyatsiyalangan PB markali mis va APB markali alyuminiy o'rov simlaridan hamda mis va alyuminiy tasmasidan yoki o'lchami chulg'am balandligiga teng bo'lgan folgadan tayyorlanadi. Quruq transformatorlarda (2.5-rasm) «B» va «F» klasslariga kiruvchi izolyatsiyali o'rov simlarini ham keng qo'llaydilar.



2.5-rasm. Quvvati $320\text{ kV}\cdot\text{A}$ bo'lgan quruq kuch transformatorining qoplamasiz ko'rinishi: [1 – vertikal tortish shpilkasi; 2 – yuqori kuchlanishli chulg'am; 3 – chulg'amlarni presslash uchun chinni taglik; 4 – presslovchi po'lat halqa; 5 – YuK ulagichlarning tayanch izolyatorlari; 6 – YuK ulagichlar; 7 – PK ulagichlarni mahkamlash uchun chinni taglik; 8 – YuK klemma (qisqich)lar taxtasi]

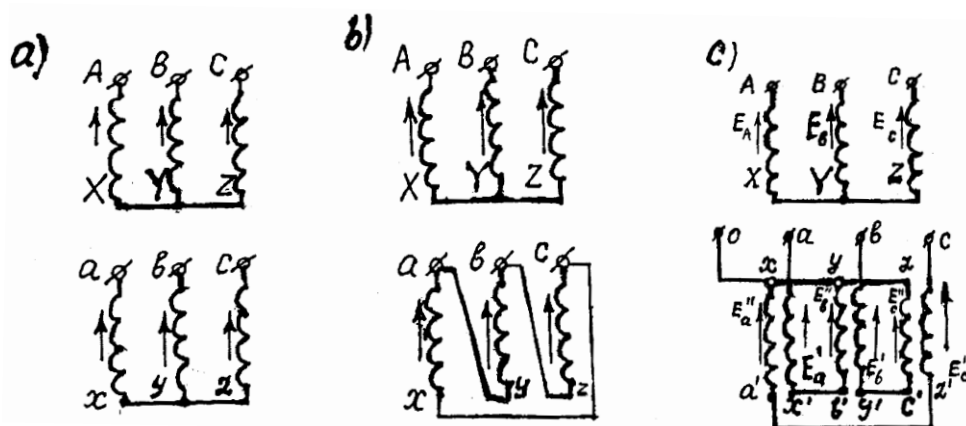
Chulg'amlarning yo'l qo'yiladigan (me'yoriy) temperaturasi transformator moyining temperaturasi (105°C) bilan, ya'ni «A» klassidagi izolyatsiya bilan belgilanganligi sababli, bundan katta temperaturaga mo'ljallab tayyorlangan izolyatsion material moyli transformatorlarda qo'llanilmaydi. Zamonaviy transformatorsozlikda kuchlanish klasslari $110\div 1200\text{ kV}$ bo'lgan so'nggi yillarda

ishlab chiqilgan transformatorlarda YuK chulg'am uchun to'qima chulg'amlar keng qo'llanila boshlandi.

To'qima chulg'amda qo'shni o'ramlar orasidagi kuchlanishlar farqi uzluksiz chulg'amnikiga nisbatan $n/2$ marta katta. Bunda qo'shni g'altaklar orasidagi kuchlanish pasayadi, bu holda ekranlovchi o'ramlar va ayrim g'altaklarni qo'shimcha izolyatsiya qilish talab qilinmaydi.

2.3§. Transformator va avtotransformator chulg'amlarining ulanish usullari, chulg'am uchlarining standart bo'yicha yangicha belgilanishi va uni tajribada tekshirish

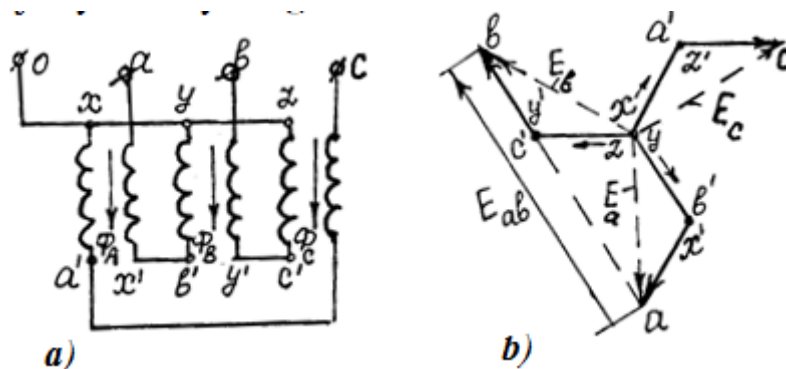
Uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish usullari. Umumiy maqsadli uch fazali transformatorlarning chulg'amlari asosan «yulduz» (Y) (2.6, a-rasm) va «uchburchak» (Δ) (2.6,b-rasm), ayrimlari esa «zigzag» (Z) (2.6,s-rasm) usulida ulanadi.



2.6-rasm. Uch fazali transformatorlar chulg'amlarining ulanish usullari: a – yulduz–yulduz (Y/Y); b – yulduz–uchburchak (Y/ Δ); s – yulduz–zigzag (Y/Z)

Chulg'amlar Y usulida ulanganda, liniya kuchlanishi $U = \sqrt{3} U_f$, liniya toki esa $I = I_f$ bo'ladi. Bu nisbatlar simmetrik rejim uchun to'g'ridir. Odatda, uch fazali ikki chulg'amli transformatorning YuK chulg'ami ulanish usulining shartli belgisi kasr suratida, PK chulg'aminiki esa kasr maxrajida ko'rsatiladi (masalan, Y/Y, Y/ Δ , Y/Z). Uch fazali uch chulg'amli transformatorlarda chulg'amlarning sxemalari YuK / O'K / PK ketma-ketlikda, ya'ni Y/Y/ Δ yoki Y/ Δ / Δ ko'rinishda belgilanadi.

Zigzag usulida ulangan ikkilamchi chulg'am ikkita teng qismga ajratilib, magnit o'tkazgichning har xil sterjenlariga joylanadi va ular o'zaro qarshi ulanadi. Bu holda fazaviy chulg'am g'altaklarining EYuK vektorlarini geo-metrik ayirish natijasida hosil bo'ladigan fazaviy EYuK, shu fazani hosil qiluvchi har qaysi g'altak EYuK dan $\sqrt{3}$ marta katta bo'ladi (2.7.b-rasm). Bu g'altaklar mos ulanganida esa, fazaviy chulg'am g'altaklarining EYuK lari geometrik qo'shilib natijaviy EYuK kam bo'lishidan amalda g'altaklarni teskari ulaydilar. Teskari ulangan g'altaklardagi natijaviy EYuK normal fazaviy chulg'amning EYuK ($E_f = 2 E'_f$)ga nisbatan $2/\sqrt{3}=1,15$ marta kichik bo'lishidan (E'_f – bitta g'altakning EYuK) chulg'am «Z» sxemasiga ulanganda zaruriy EYuK E_f ni olish chun o'rov simi 15 % ko'p sarflanadi. Bu esa uning kamchiligidir. PK chulg'ami «Z» sxemasiga ulangan transformator quyidagi ijobiy xususiyatlarga ega bo'ladi:



2.7-rasm. Transformatorning PK chulg'am g'altaklari o'zaro qarshi ulangan «zigzag» ulanishining amaliy sxemasi (a) va unga oid EYuK lar vektor diagrammasi (b)

1) nosimmetrik yuklamada kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarish shakli transformator salt ishlagandagi PK chulg'am kuchlanish shakliga yaqin bo'ladi, demak, fazaviy kuchlanishlar shakli deyarli o'zgarmaydi; 2) teng yelkali zigzagda PK chulg'amdan $1:\sqrt{3}:3$ nisbatdagi uchta kuchlanish olish mumkin. Masalan, fazaviy chulg'amining yarmida (bitta yelkada) – $U'_f = 127 \text{ V}$, bitta fazaviy chulg'amda – $U_f = U'_f + U''_f = 220 \text{ V}$ (bunda U''_f – PK chulg'amning boshqa faza ta'siridagi ikkinchi yelka kuchlanishi) va fazalararo (liniyaviy) kuchlanish esa $U = \sqrt{3} U_f = 380 \text{ V}$ bo'ladi.

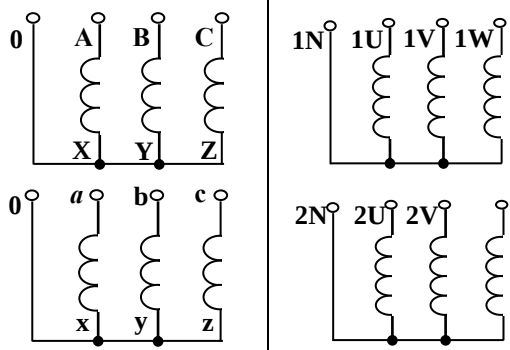
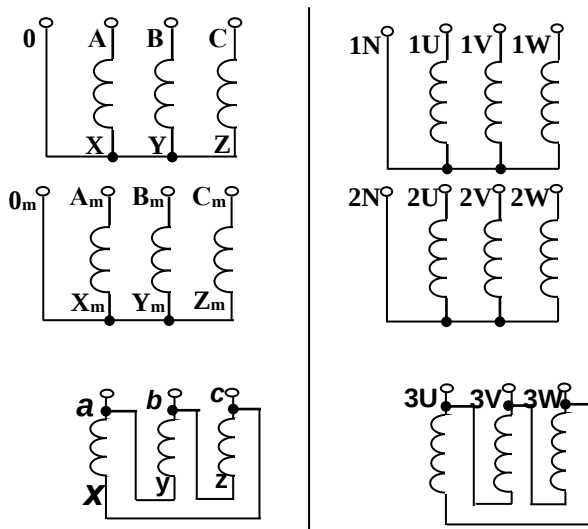
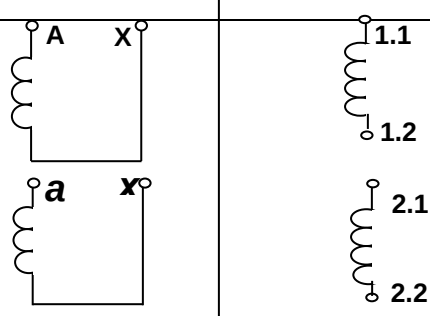
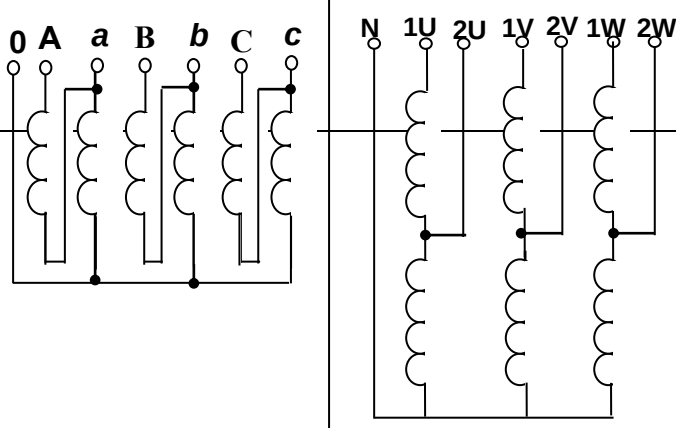
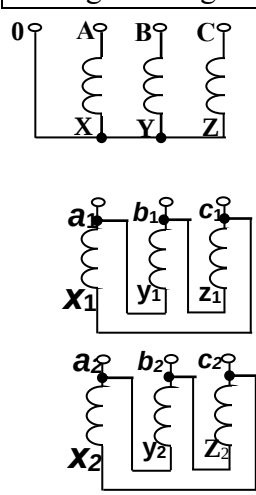
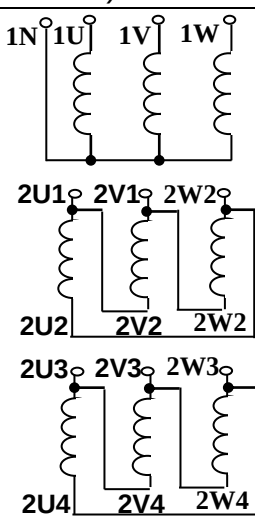
PK chulg‘ami «Z» sxemasiga moslab tayyorlangan uch fazali kuch transformatorlari amaliyotda nosimmetrik yuklamaning ta’siri kuchli bo‘lgan sohalarda (masalan, to‘g‘rilagich qurilmalarida va boshq.) fazaviy kuchlanishlar shaklining deyarli o‘zgarmasligi katta samaradir.

Fazaviy chulg‘am uchlarining belgilanishi. Ilgarigi standart tavsiyasi bilan bir fazali ikki chulg‘amli transformatorlarda: YuK chulg‘amning bosh va oxirgi uchlari tegishlicha – «A» va «X», PK chulg‘amniki esa «a» va «x» lotin harflari bilan belgilangan; bir fazali uch chulg‘amli transformatorlarda esa o‘rta kuchlanishli (O‘K) chulg‘amning bosh va oxirgi uchlari tegishlicha – A_m va X_m indeksli harflari bilan belgilangan.

Uch fazali ikki chulg‘amli transformatorlarda: YuK faza chulg‘amlarining bosh va oxirgi uchlari tegishlicha – «A», «V», «S» va «X», «Y», «Z»; PK faza chulg‘amlarining bosh va oxirgi uchlari – «a», «v», «s» va «x», «y», «z» harflari bilan belgilangan.

Uch fazali uch chulg‘amli transformatorning O‘K faza chulg‘amlarining bosh uchlari – « A_m », « V_m », « S_m » va oxirgi uchlari tegishlicha – « X_m », « Y_m », « Z_m » harflari bilan belgilangan. Agar «yulduz» ulanish sxemasida neytral nuqtadan ulagich chiqarilgan bo‘lsa, yuqori va past kuchlanishlarda «0», o‘rta kuchlanishda esa – « 0_m ». Bunda chulg‘am ulanish sxemasining harflar orqali belgilanishiga «N» indeksi (YN) qo‘yilgan.

2.1-jadval. Transformator chulg‘amlari uchlarining belgilanishiga oid namunalar (GOST 11677–85 va unga kiritilgan № № 1, 2, 3, 4 o‘zgartirishlar asosida)

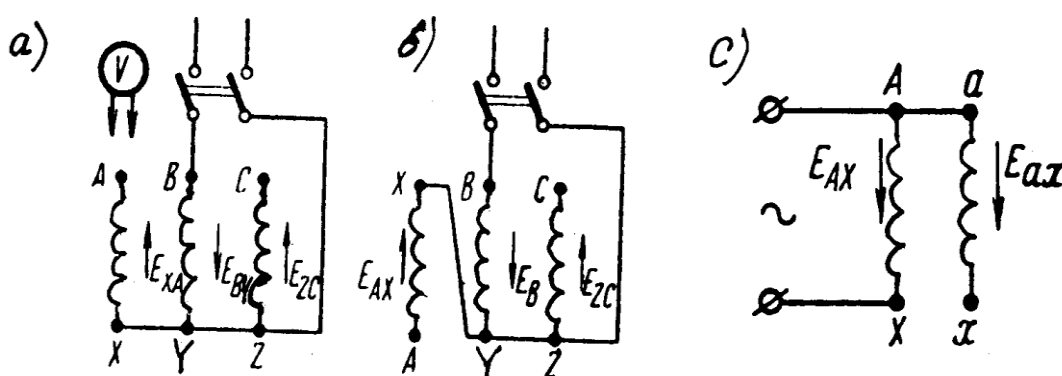
1.01.1987 y. Gacha ishlab chiqarilgan (Ilgarigi)	1.01.1987 y. dan keyin ishlab chi- qarilgan (Yangi)	Ilgarigi belgilanishi	Yangi belgilanishi
1) Uch fazali ikki chulgʻamli		3) Uch fazali uch chulgʻamli	
			
2) Bir fazali ikki chulgʻamli		4) Uch fazali ikki chulgʻamli avtotransformator	
			
Uch fazali PK li chulgʻami teng ikkiga boʻlingan ($U_{PK1} = U_{PK2}$)			
			

Transformator chulg'amlari uchlarining yangicha belgilanishi. GOST 11677-85 va unga kiritilgan №№ 1, 2, 3, 4 o'zgartirishlar bo'yicha transformator va avtotransformator chulg'amlari uchlarining ilgarigi belgilanishi o'rniga Xalqaro

elektrotexnik komissiya talablarini qanoatlantiradigan yangicha belgilanish qabul qilingan. Bunga oid namunalar 2.1-jadvalda ilgari va yangi belgilanishlar solishtirilgan ko'rinishda keltirilgan.

Fazaviy chulg'amning o'ralish yo'nalishini aniqlash. Transformator fazaviy chulg'amlarining o'ralish yo'nalishini aniqlash va ularning uchlarini belgilash amaliyot uchun katta ahamiyatga egadir. Amaliyot uchun tavsiyalar. O'ralish yo'nalishini aniqlashda fazaviy chulg'amni oddiy g'altak deb qaraladi. G'altaklar o'ng va chap yo'nalishlarda o'ralishi mumkin. Transformator fazaviy chulg'amlarining o'ralish yo'nalishini to'g'ri tanlash bir fazali kuch transformatorlarining har xil o'zaklarida joylashgan chulg'am qismlarini to'g'ri ulashda va uch fazali transformator chulg'amlarining berilgan ulanish guruhini olishda muhim ahamiyatga ega bo'ladi. G'altak uchlarining belgilanishini o'zaro almashtirish uning o'ralish yo'nalishini teskariga o'zgartirish bilan bir xildir.

Chulg'am uchlarining belgilanishini tajribada tekshirish. Transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlashda fazaviy chulg'am uchlari belgilanishini tekshirish muhim ahamiyatga egadir. Buni aniqlash uchun dastlab YuK chulg'amni «yulduz» sxemasi bo'yicha ulab (2.8,a-rasm), B_Y fazaviy chulg'amga pasaytirilgan o'zgaruvchan tok kuchlanishi beriladi va U_{BY} , E_{AX} , U_{AB} , U_{BC} kuchlanishlar va E_{YU} lar o'lchanadi.



2.8-rasm. Transformatorning YuK chulg'ami uchlari to'g'ri (a) va noto'g'ri (b) belgilangan uchun hamda chulg'am uchlari belgilanishini tajribada tekshirish uchun (c) sxemalar

Bu holda magnit o'tkazgichning chekka o'zaklaridagi magnit oqim o'rta o'zak magnit oqimining yarmiga teng, demak, AX va CZ fazaviy chulg'amlarda

hosil bo'lgan EYuK miqdor jihatdan o'rta o'zakdagi BY fazaviy chulg'am EYuK ning («kuchlanishi»ning desa ham bo'ladi, chunki $U_{BY} \approx E_{BY}$) yarmiga teng. Chulg'am uchlari to'g'ri ulanganda A va V yoki V va S klemmlariga ulangan voltmetr o'rta (BY) va chekkadagi fazaviy chulg'amlardan birontasi (AX yoki CZ) da hosil bo'lgan EYuK (kuchlanish)larning yig'indisini, ya'ni $U_{AB} = U_{BC} = U_{BY}$ ga teng bo'lgan kuchlanishni ko'rsatadi.

Nazorat savollari

1. Magnit o'tkazgichning tuzilishi va ahamiyati nimadan iborat?
2. Magnit o'tkazgichi umumiy bo'lgan uch fazali transformatorning magnit tizimi qanday hosil qilingan?
3. Chulg'amlarning qanday turlari mavjud?
4. Nima uchun vintsimon chulg'amning simlari transpozitsiya qilinadi?

3-Bob. Transformatorning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayonlar

3.1§. Elektromagnit induksiya hodisasi, transformatorning ishlash prinsipi va elektr yurituvchi kuchlari

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

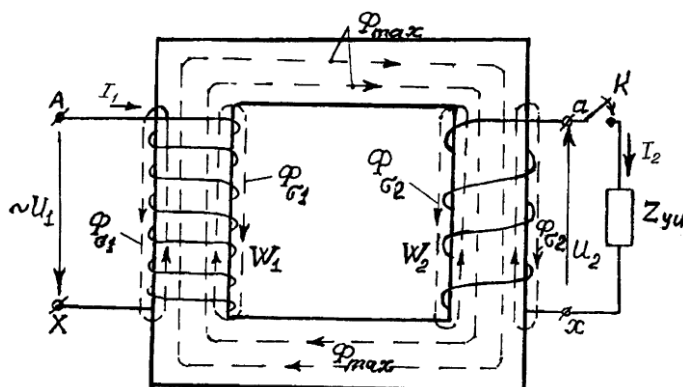
$$e = - dF/dt$$

[Izoh: Bundagi EYuK ning yo'nalishi rus olimi Lyens kashf qilgan prinsip (qoida) bo'yicha aniqlanadi, ya'ni berk o'tkazgich bilan ilashadigan magnit oqim $(dF/dt) > 0$ bo'lganda berk o'tkazgichda vujudga keladigan EYuK ning ishorasi «minus» bo'lib, $(dF/dt) < 0$ bo'lganda esa uning ishorasi «plyus» bo'ladi].

3.1-rasmda oddiy bir fazali ikki chulg'amli kuchlanishni pasaytiruvchi transformator magnit o'tkazgich va uning o'zaklariga joylashtirilgan o'ramlar soni w_1 bo'lgan YuK (birlamchi) va o'ramlar soni w_2 bo'lgan PK chulg'amlarni tasvirlash o'ng'ay bo'lishi uchun ular har xil o'zakda joylashtirilgan holda ko'rsatilgan. Real transformatorlarda magnit bog'lanishni yaxshi ta'minlash uchun PK va YuK chulg'amlar bitta o'zakda joylashtiriladi.

Ishlash prinsipi. Transformator faqat o'zgaruvchan tok zanjirida ishlay oladi, o'zgaras tokda esa $dF/dt = 0$ bo'lganligidan chulg'amlarda EYuK vujudga kelmaydi. Ikkilamchi chulg'ami yuklamaga ulanmagan transformatorning birlamchi chulg'ami o'zgaruvchan tok manbaiga ulansa, birlamchi chulg'amdan salt ishlash toki $I_1 = I_0$ o'tadi. Uning reaktiv tashkil etuvchisi $I_{0,r} \approx I_0$ shu chulg'amda magnit yurituvchi kuch (MYuK) $I_{0,r}w_1$ ni

vujudga keltirib, u esa o'z navbatida, asosiy (F) va tarqoq ($F_{\sigma 1}$) qismlardan iborat deb qaraladigan o'zgaruvchan magnit oqimni hosil qiladi ($F_{\sigma 1}$ to'la magnit oqimning taxminan $0,1 \div 0,25$ foizini tashkil qiladi).



3.1-rasm. Bir fazali transformatorning elektromagnit sxemasi

Salt ishlayotgan transformatorning EYuK lari. Asosiy magnit oqim F ning kuch chiziqlari birlamchi va ikkilamchi chulg'am o'ramlari bilan ilashib elektromagnit induksiya qonuniga asosan birlamchi chulg'amda o'zinduksiya EYuK e_1 va ikkilamchi chulg'amda o'zaro induksiya EYuK e_2 larni hosil qiladi. Ularning oniy qiymatlari Maksvell tomonidan elektromagnit induksiya hodisasini yangicha ta'riflab kiritgan formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$e_1 = -w_1(dF/dt) = -d\psi_1/dt; \quad e_2 = -w_2(dF/dt) = -d\psi_2/dt, \quad (3.1)$$

bunda $\psi_1 = w_1F$; $\psi_2 = w_2F$ – tegishli birlamchi va ikkilamchi chulg'am magnit oqim ilashishlari, [Vb].

Magnit oqimning sinusoidal bo'lgandagi $\Phi = \Phi_{\max}\sin\omega t$ qiymatini (3.1) ga qo'yib differensiyalagandan keyin, $\cos\omega t = -\sin(\omega t - \pi/2)$ ekanligi hisobga olinsa, quyidagi natija kelib chiqadi:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \omega w_1 \Phi_{\max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{1\max} \sin(\omega t - \pi/2); \\ e_2 &= \omega w_2 \Phi_{\max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{2\max} \sin(\omega t - \pi/2), \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

bu yerda $E_{1\max} = \omega w_1 \Phi_{\max}$ va $E_{2\max} = \omega w_2 \Phi_{\max}$ – tegishli birlamchi va ikkilamchi chulg'am EYuK larining maksimal qiymatlari, [V].

(3.2) dan quyidagi xulosa kelib chiqadi. Transformator chulg'amlaridagi hosil bo'lgan E_1 va E_2 EYuK larning vaqt bo'yicha o'zgarish fazasi magnit oqim $\Phi_{\max}$ dan $\pi/2$ burchakka kechikar ekan, ya'ni 90° ga orqada qoladi.

Elektrotexnikaning nazariy asoslaridan ma'lum bo'lishicha, (3.2) dagi sinusoidal shaklda o'zgarayotgan EYuK o'zining maksimal qiymatiga $\sin(\omega t - \pi/2) = 1$ da erishadi. EYuK larning maksimal ($E_{1\max}$ va $E_{2\max}$) qiymatlarini $\sqrt{2}$ ga bo'lib, (3.2) ga $\omega = 2\pi f$ qo'yilsa, EYuK larning ta'sir etuvchi (effektiv) qiymatlarini aniqlash formulalariga ega bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_{1\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) \cdot f \cdot w_1 \Phi_{\max} = 4,44 f w_1 \Phi_{\max} ; \\ E_2 &= E_{2\max} / \sqrt{2} = (2\pi / \sqrt{2}) \cdot f \cdot w_2 \Phi_{\max} = 4,44 f w_2 \Phi_{\max} . \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Tarqoq magnit oqim kuch chiziqlari asosan magnit qarshiligi katta bo'lgan havo, moy, chulg'amning mis yoki alyuminiy simlari va izolyatsiyalar orqali tutashganligidan u mazkur chulg'am MYuK ga mutanosib ravishda o'zgaradi.

Tarqoq magnit oqimi $F_{\sigma 1}$ kuch chiziqlari faqat birlamchi chulg'am o'ramlari bilan bog'langan holdagi oqim ilashish ($\psi_{\sigma 1} = \Phi_{\sigma 1} w_1$) tufayli ularda EYuK $e_{\sigma 1}$ hosil bo'ladi. Uning oniy qiymati quyidagiga teng:

$$e_{\sigma 1} = - w_1 (dF_{\sigma 1}/dt) = - d\Psi_{\sigma 1}/dt. \quad (3.4)$$

U reaktiv xarakterga ega bo'lib, tok i_0 ga nisbatan 90° Cga orqada qoladi. Tarqoq EYuK ($e_{\sigma 1}$) ning qiymati chulg'amdagi tokka mutanosib ravishda o'zgaradi. Shu tufayli mazkur EYuK ni unga ekvivalent (teng kuchli) bo'lgan kuchlanish tushishi (kamayishi) orqali ifodalash mumkin. Uning oniy $e_{\sigma 1}$ va ta'sir etuvchi $E_{\sigma 1}$ qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

$$e_{\sigma 1} = - j i_0 x_1; \quad E_{\sigma 1} = - j I_0 x_1, \quad (3.5)$$

bunda x_1 – tarqoq magnit oqim tufayli YuK chulg'amda hosil bo'ladigan induktiv qarshilik.

Salt ishlash rejimi uchun (indeks «0») kuchlanish va EYuK lar muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$U_{1,0} = - E_1 + I_0 x_1 + I_0 r_1. \quad (3.6)$$

Kuch transformatorining salt ishlashida birlamchi chulg'amdagi kuchlanish tushishi $\Delta U = j I_0 \cdot x_1 + I_0 \cdot r_1$ kuchlanish U_{1N} ning 0,5 foizidan oshmaganligidan ularni e'tiborga olmagan holda, (3.6) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$U_{1.0} \approx -E_1 = w_1 dF/dt. \quad (3.7)$$

Bundan: chulg'amga berilgan kuchlanish U_1 shu chulg'amda hosil bo'lgan EYuK E_1 ga miqdor jihatdan teng, faza jihatdan esa 180° ga siljigan ekanligi kelib chiqadi. Kuchlanish va EYuK lar ta'sir etuvchi qiymatlarini miqdor jihatdan tahlil qilingan hollarda $U_1 \approx E_1$ deb hisoblash mumkin bo'ladi.

Transformator salt ishlaganda ($I_2 = 0$) ikkilamchi chulg'am kuchlanishi $U_{2.0} = E_2$ bo'ladi. Demak,

$$U_{1.0} \approx E_1; \quad U_{2.0} = E_2. \quad (3.8)$$

Bundan, (3.3) ni ham hisobga olgan holda quyidagi nisbatlar tengligini yozish mumkin:

$$U_{1.0}/U_{2.0} \approx E_1/E_2 = w_1/w_2. \quad (3.9)$$

Bu nisbatni transformatsiyalash koefitsienti (k) deyiladi. (3.9) dan amaliy ahamiyatga ega bo'lgan quyidagi xulosa kelib chiqadi: agar U_1 kuchlanish berilgan bo'lsa chulg'amlarning w_1 va w_2 o'ramlar sonini tanlash yo'li bilan kuchlanish U_2 ning zaruriy qiymatini olish mumkin ekan. Transformatsiyalash koefitsienti GOST bo'yicha quyidagicha aniqlanadi:

$$k = E_{YK} / E_{PK} = w_{YK} / w_{RK} \approx U_{YK} / U_{PK}, \quad (3.10)$$

bundagi U_{YK} va U_{PK} kuchlanishlar salt ishlash rejimining nominal qiymatlaridir.

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

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{E}_1 + j \underline{I}_0 \cdot x_1 + \underline{I}_0 \cdot r_1, \\ \underline{U}_{2.0} &= \underline{E}_2, \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_0 = \underline{I}_{0.r} + \underline{I}_{0.a}, \\ \underline{I}_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

M u h i m x u l o s a. Salt ishlashda transformator orqali elektr energiya uzatilmaydi. Bunday rejimda uning ikkilamchi chulg'ami chastotasi bir xil,

kuchlanishining qiymati esa boshqa ($E_2 = U_{2.0}$) bo'lgan o'zgaruvchan tok manbai vazifasini bajarishi mumkin.

3.2§.Uch fazali transformatorlar salt ishlash rejimining o'ziga xos xususiyatlari

3.1-bandda bayon qilingan umumiy maqsadli bir fazali transformatorning nazariyasi uch fazalida ham simmetrik rejimi uchun asos bo'la oladi. Umumiy holda transformator chulg'amlaridagi EYuK va toklarining vaqt bo'yicha o'zgarishi nosinusoidal bo'lganligidan quyidagi tahlillarda 1-garmonika va yuqori garmonikalardan eng katta qiymatga ega bo'lgani faqat 3-garmonikaning ta'siri ko'rib chiqiladi. [Izoh: garmonikalar tartibini kichik qavs ichiga olingan «(1)» yoki «(3)» indekslar orqali belgilangan].

EYuK ning birinchi garmonikalari: va 3-garmonikalari:

$$\begin{aligned} e_{A(1)} &= E_{(1)\max} \sin \omega t, \\ e_{B(1)} &= E_{(1)\max} \sin(\omega t - 120^\circ), \\ e_{C(1)} &= E_{(1)\max} \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} e_{A(3)} &= E_{(3)\max} \sin 3\omega t, \\ e_{B(3)} &= E_{(3)\max} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t, \\ e_{C(3)} &= E_{(3)\max} \sin 3(\omega t + 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t. \end{aligned} \quad (3.13)$$

(3.13) dan ko'rinishicha, EYuK larning 3-garmonikalari barcha fazalarda qiymat jihatdan o'zaro teng va bir xil yo'nalgan ekan. EYuK 3-garmonikasining transformator ishiga ta'siri fazaviy chulg'amlarining ulanish sxemasiga bog'liq bo'ladi. Agar uch fazali transformatorning birlamchi (masalan, YuK) chulg'ami «yulduz» sxemasiga ulangan bo'lsa fazaviy EYuK larining 3-garmonikasi liniyaviy EYuK larining 3-garmonikasini hosil qilmaydi, chunki «yulduz» sxemasida uchinchi va uch karrali garmonikalar «yulduz»ni tashkil etuvchi ikkita [1) A-X-Y-B va 2) B-Y-Z-C] konturning har bittasida o'zaro qarama-qarshi ta'sir

qiladi, ya'ni fazaviy EYuK larining 3-garmonikalari uchta fazada ham bir xil yo'nalgan bo'lgani uchun ulardan istalgan juftining ayirmasi 0 ga teng bo'ladi. Transformator liniyaviy EYuK larining o'zgarish egriligida 3-garmonikalar bo'lmaganligidan, ular liniyaviy kuchlanish U_1 larning vaqt bo'yicha o'zgarish shaklida ham, binobarin, liniyaviy (I_1) va fazaviy (I_{f1}) toklarining o'zgarish shaklida ham bo'lmaydi.

Magnitlovchi tok $I_{0,r}$ ning vaqt bo'yicha o'zgarish shaklida 3-garmonika ($I_{0,r}(3)$) ning yo'qligi uni sinusoidal shaklga yaqinlashtiradi, chunki 5 va 7-garmonikalarning amplitudasi 1-garmonika amplitudasiga nisbatan ancha kichik hamda 5-garmonika teskari ketma-ketlikni hosil qiladi. Bu hol magnit oqimi F ning vaqt bo'yicha o'zgarish shaklini nosinusoidal qiladi, ya'ni uning tarkibida 3-garmonika bo'ladi. 3-garmonika magnit oqimlari faza jihatdan bir-biriga mos yo'nalganligi tufayli uch sterjenli magnit o'tkazgichda tutasha olmaydi. Bu oqimlar transformatorni sovitish sifatida ishlatiladigan muhit orqali va transformator bakining metall devorlari orqali tutashadi. Ular o'tadigan yo'lning magnit qarshiligi katta bo'lganligi tufayli qiymati kichik bo'ladi. Magnit oqimining 3-garmonikasi $F_{0(3)}$ transformator baki devorlarida uyurma tokni vujudga keltirib qo'shimcha isroflarni hosil qiladi. Masalan, magnit induksiya $V = 1,4 \text{ Tl}$ bo'lsa bu isroflar magnit o'tkazgichdagi isroflarning 10 foizini, $B = 1,6 \text{ Tl}$ bo'lganda esa 50÷65 foizini tashkil qilib, bu holdagi transformatorning ortiqcha qizishi amaliyot uchun salbiy holdir.

Uch fazali transformatorning birlamchi chulg'ami «uchburchak» sxemasiga ulanganda EYuK ning 3-garmonikalari uchta fazaviy chulg'amda ham mos ta'sir etib, shu chulg'amlarning berk konturida tokning 3-garmonikasini hosil qiladi. Salt ishlash tokida 3-garmonika bo'lsa, u holda magnit oqimining o'zgarish shakli va, binobarin, E_1 va E_2 EYuK larning vaqt bo'yicha o'zgarish shakli sinusoidaga yaqinlashadi.

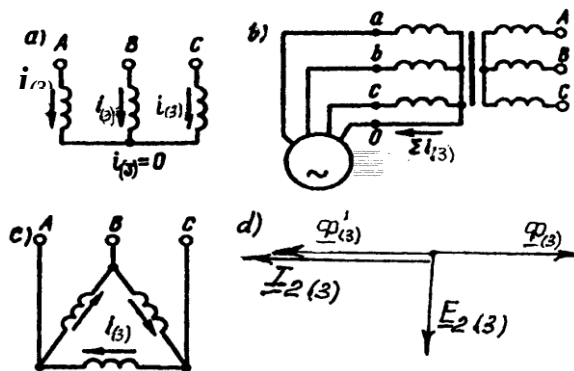
Chulg'amlari Y/Y ulangan uch fazali transformatorning salt ishlashi.

Salt ishlash rejimida transformatorning birlamchi chulg'amiga sinusoidal kuchlanish $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$ berilganda vujudga keladigan magnit oqim va hosil

bo'ladigan EYuK E_1 ham sinusoidal shaklda o'zgaradi. Bu holda salt ishlash tokining tarkibida 1-garmonikadan tashqari yuqori garmonikalar (ulardan eng kattasi 3-garmonika) ham bo'ladi.

Agar chulg'amlar Y sxemasiga ulanganda salt ishlash tokining vaqt bo'yicha o'zgarish shaklida 3-garmonika bo'lmasa magnit oqimi nosinusoidal bo'lib, bu holda guruhlangan transformatorlarda va magnit tizimi umumiy bo'lgan uch fazali transformatorlarda har xil ta'sir qiladi. Guruhlangan transformatorlarda magnit tizim har fazada mustaqil bo'lganligidan magnit oqimning 3-garmonikasi $F_{(3)}$ xuddi shu oqimning 1-garmonikasi $F_{(1)}$ ga o'xshab magnit o'tkazgich orqali tutashadi va, shu sababli $F_{(3)}$ ning qiymati katta bo'lib $F_{(1)}$ ning $15 \div 20$ foiziga yetadi. Odatda transformatorlarda magnit tizimi to'yingan bo'ladi, bunda $e_{(1)}$ va $e_{(3)}$ EYuK lar qo'shib fazaviy EYuK ning oniy (e) qiymatini $40 \div 50$ foizga, ta'sir etuvchi (E) qiymatini esa $10 \div 8$ foizga oshiradi. EYuK ning bunday oshishi ayrim hollarda xavfli hisoblanadi. Shu cababli guruhlangan transformatorlarda Y/Y ulanish sxemasi ishlatilmaydi. Chulg'amlari Y/Y ulangan transformator fazaviy EYuK ning shakli keskin o'zgarsa ham liniyaviy EYuK da 3-garmonika bo'lmay, sinusoidaga yaqin shaklda qoladi.

Transformator chulg'amlari «uchburchak-yulduz» yoki «yulduz-uchburchak» sxemalariga ulanganda transformatorning salt ishlashi. «Yulduz» sxe masiga ulanganda salt ishlash toki tarkibida uning 3-garmonikasi $I_{0r(3)}$ bo'l maydi (3.2,a-rasm) va salt ishlash tokining o'zgarish shakli sinusoidaga yaqin bo'ladi, natijada magnit oqimining vaqt bo'yicha o'zgarish shakli nosinusoidal bo'ladi. Shu tufayli magnit oqimning asosiy tashkil etuvchisi (1-garmonikasi)dan tashqari uning yuqori garmonikalari ham bo'ladi.



3.2-rasm. Chulgʻamlarning har xil ulanish sxemalarida toklar 3-garmonikalarining: *a* – «yulduz»; *b* – «neytral simi chiqarilgan yulduz» va *s*) «uchbur-chak» sxemalaridagi yoʻnalishlari; *d* – transformatorning birorta chulgʻamini «uchburchak» sxemasiga ulagan hol uchun vektor diagramma

Magnit oqimning 3-garmonikasi $F_{(3)}$ transformatorning ikkilamchi chulgʻami «uchburchak» sxemasi boʻyicha ulangan holda, uning har bir fazasida $F_{(3)}$ dan 90° orqada qoladigan EYuK ning 3-garmonikasi $E_{2(3)}$ ni hosil qiladi. Bu EYuK taʼsirida shu chulgʻamda vujudga keladigan tokning 3-garmonikasi $I_{2(3)}$ EYuK $E_{2(3)}$ dan faza jihatdan deyarli 90° ga orqada qoladi va uchta fazada ham yoʻnalishi bir xil boʻlganligidan berk zanjir boʻyicha harakat qiladi (3.2,s-rasm). Bu tokning orqada qolishiga ikkilamchi chulgʻamning konturi katta induktiv qarshilikka egaligi sabab boʻladi. Tok $I_{2(3)}$ ning vektori magnit oqimi vektori $F_{(3)}$ ga deyarli qarama-qarshi yoʻnalganligi tufayli (3.2,d-rasm), $I_{2(3)}$ hosil qilgan magnit oqimi $F_{(3)}$ ning yoʻnalishi shu tok vektori boʻyicha yoʻnalib, asosiy oqimning 3-garmonikasi $F_{(3)}$ ni muvozanatlaydi. Bu esa magnit oʻtkazgichdagi asosiy natijaviy oqim va fazaviy chulgʻamlardagi EYuK larning shaklini sinusoidaga yaqinlashtiradi. Shunday qilib, transformator chulgʻamlaridan birortasi «uchburchak» sxemasi boʻyicha ulanganda magnit oqimi va EYuK 3-garmonikalarining zararli taʼsiridan saqlar ekan.

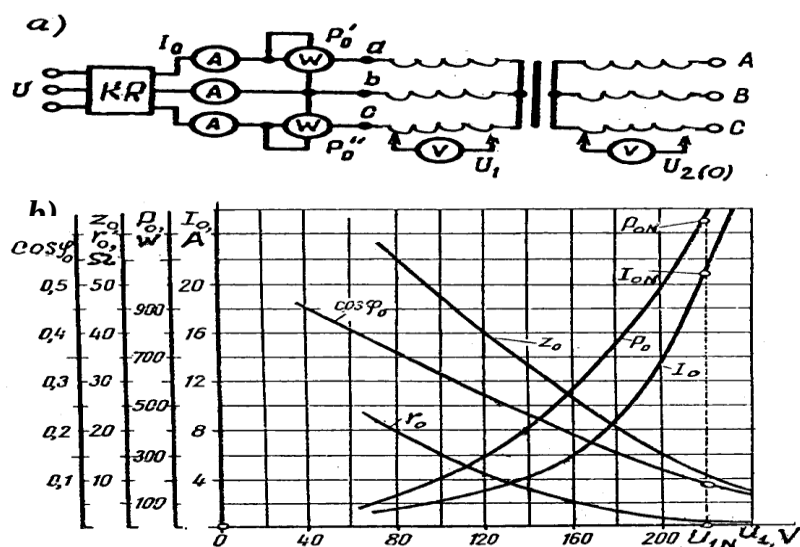
3.3§. Salt ishlash tajribasi va xarakteristikalar

Birlamchi chulgʻami sinusoidal kuchlanish $[u_1=U_{(1)\max}\cdot\sin\omega t]$ ga ulangan transformatorning ferromagnit oʻzagida magnit oqimi sinusoidal ($F_1=F_{(1)\max}\cdot\sin\omega t$) oʻzgarca ham ferromagnit oʻzakning magnit toʻyinishi sababli uning magnitlanish xarakteristikasi egri chiziqli boʻlgani tufayli magnitlovchi tok

$I_{0,r}$ ning vaqt bo'yicha o'zgarishi $I_{0,r} = f(\omega t)$ sinusoidal bo'lmaydi. Salt ishlash tajribasi ikkilamchi chulg'amga yuklama ulanmagan ($I_2 = 0$) holda 3.3,a-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha o'tkaziladi. Transformatorning bitta chulg'amiga rostlagich vositasida beriladigan kuchlanish U_1 ni 0 dan $U_1=1,2U_{1N}$ qiymatgacha oshirib kuchlanish U_1 , salt ishlash toki I_0 va salt ishlash quvvati R_0 o'lchab olinadi va ularga asosan quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_0$ hisoblanadi. Tajribadan olingan va hisoblangan ma'lumotlar asosida qurilgan $I_0 = f(U_1)$, $R_0 = f(U_1)$ va $\cos\varphi_0 = f(U_1)$ bog'lanishlarni salt ishlash xarakteristikalarini deyiladi (3.3,b-rasm). Uch fazali transformatorlarda U_1 va I_0 larning qiymatlari har qaysi faza uchun alohida o'lchab olinadi va ularning o'rtacha qiymatlari bo'yicha salt ishlash xarakteristikalarini quriladi. O'zaklari bitta tekislikda joylashgan transformator fazalaridagi salt ishlash toklari bir xil bo'lmaydi, chunki o'rta fazadagi magnit oqim kuch chiziqlari o'tadigan oraliq, chekka fazalarining shunday oraliqlariga nisbatan kam (2.1,c-rasm). Shu tufayli o'rta sterjenda joylashgan fazaning MYuK va toki $I_0.W$ chekkadagi fazalarga nisbatan kam ($I_{0,W} < I_{0,W_A} = I_{0,W_C}$) bo'ladi. $I_0=f(U_1)$. Transformatorga berilgan kuchlanish U_1 oshirilishi bilan uning magnit oqimi Φ oshadi, chunki

$$U_1 \approx E_1 = 4,44fW_1\Phi_{\max}.$$

Kuchlanishning kam qiymatlarida magnit zanjir to'yinmagan bo'lib, tok I_0 to'g'ri chiziqli o'zgaradi.



3.3-rasm. Quvvati $S_N = 100 \text{ kV}\cdot\text{A}$; $U_{1N}/U_{2N} = 6,3/0,22 \text{ kV}$; chulhamlari Y/Y³⁹ ulangan, uch fazali transformatorning salt ishlash tajribasini o'tkazish sxemasi (a) va salt ishlash xarakteristikalarini (b); K.R – kuchlanishni rostlagich.

Kuchlanishning $U_1 = (0,5 \div 0,6) U_{1N}$ qiymatlaridan boshlab magnit o'tkazgich to'yina boshlaydi va shu tufayli transformatorning Z_0 , x_0 va $r_0 \approx r_m$ qarshiliklari kamaya boradi. Natijada, salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi $I_{0,r}$ kuchlanish U_1 ga nisbatan tez oshadi (3.3,b-rasm). Salt ishlash toki I_0 reaktiv ($I_{0,r}$) hamda aktiv ($I_{0,a}$) tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi: $I_0 = I_{0,a} + I_{0,r}$. Odatda kuch transformatorlarida $I_0 < 0,08 I_{1N}$, uning aktiv tashkil etuvchisi $I_{0,a}$ esa I_0 ning taxminan $10 \div 0,5$ foizini tashkil qiladi. Kuch transformatorlarining nominal quvvatlari oshgan sari I_0 ning nominal tokka nisbatan foizdagi qiymatlari kamaya boradi.

$P_0 = f(U_1)$. Salt ishlayotgan transformator birlamchi chulg'aming tok va elektr isroflari juda ham kamligidan birlamchi chulg'amdagi elektr isroflarni e'tiborga olmagan holda, transformatorga berilgan aktiv quvvat magnit o'tkazgichdagi gisterezis va uyurma toklar tufayli vujudga keladigan magnit isroflarni qoplashga sarflanadi, deb hisoblanadi.

Magnit o'tkazgichdagi isroflar $P_m \sim W_2$ ga va chastotaning taxminan 1,3-darajasiga bog'liq bo'ladi. $U_1 = \text{const}$ va $f = \text{const}$ bo'lganda, magnit isroflarining bog'liqligini taxminan quyidagicha yozish mumkin:

$$P_m \approx P_0 = \text{const.} \quad (3.14)$$

Quvvati $10 \div 1000000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan zamonaviy kuch transformatorlarida salt ishlash isroflar nominal yuklamadagi quvvat isroflariga nisbatan tegishlicha $1,5 \div 0,05 \%$ ni tashkil etsa ham, mavsumiy yuklama bilan ishlayotgan transformatorning yillik foydali ish koeffitsienti qiymatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi, chunki salt ishlash xarakteristikalarini yuklama qiymatiga bog'liq bo'lmay, balki $P_0 \sim U_1^2$ tufayli transformatorning tarmoqqa ulangan vaqtining davomiyligiga bog'liq bo'ladi. Salt ishlash tajribasida nominal kuchlanish (U_{1N}) ga to'g'ri kelgan muhim parametrlaridan salt ishlash toki $I_{0,N}$ va isroflari $\Delta P_{0,N}$ standart bilan me'yorlangan bo'ladi.

$\cos \varphi_0 = f(U_1)$. Quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_0$ uch fazali transformator uchun tegishlicha quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\cos\varphi_0 = P_0 / (\sqrt{3} U_1 I_0), \quad (3.15)$$

bunda P_0 – uch fazaning aktiv quvvati, W .

Salt ishlash rejimda magnit o'tkazgichning to'yinishi osha borgan sari I_0 ning reaktiv tashkil etuvchisi $I_{0,r}$ kuchlanishga nisbatan tez oshib, aktiv tashkil etuvchisi $I_{0,a}$ esa kam o'zgaradi. Natijada, kuchlanish U_1 va tok I_0 vektorlari orasidagi burchak φ_0 oshishi tufayli $\cos\varphi_0$ kamaya boradi. Salt ishlash tajribasidan olingan ma'lumotlar bo'yicha transformator uchun muhim bo'lgan parametrlar U_{1N} dagi qiymatlar asosida aniqlanadi:

1) transformatsiyalash koeffitsienti $k \approx U_{1N}/U_{2,0}$, bunda U_{1N} – YuK chulg'am nominal kuchlanishi; $U_{2,0}$ – birlamchi chulg'am kuchlanishi U_{1N} dagi PK chulg'am kuchlanishi; 2) salt ishlash isroflari $\Delta R'_0$; 3) salt ishlash tokining qiymati $i_0(\%) = (I_0/I_{1N}) \cdot 100$; 4) magnitlovchi zanjirning aktiv qarshiligi r_0 . Transformatorning birlamchi chulg'am aktiv qarshiligi r_1 magnitlovchi zanjirning hisobiy aktiv qarshiligi r_m ga nisbatan bir necha yuz marta kichik ($r_m \gg r_1$) bo'lgani uchun $r_1 \approx 0$ deb hisoblaganda $r_0 \approx r_m$ bo'ladi. Transformator magnitlovchi konturining to'la qarshiligi Z_0 , hisobiy aktiv $r_m \approx r_0$ va induktiv x_0 qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

a) birlamchi chulg'ami "Y" sxemaga ulangan uch fazali transformator uchun:

$$Z_0 = U_1 / (\sqrt{3} I_0), \quad r_0 = P_0 / (3 I_{2,0}), \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}; \quad (3.16)$$

b) birlamchi chulg'ami " Δ " sxemaga ulangan uch fazali transformator uchun

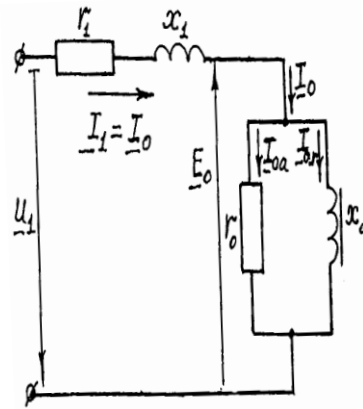
$$Z_0 = \sqrt{3} U_1 / I_0, \quad r_0 = P_0 / I_{2,0}, \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}. \quad (3.17)$$

Transformatorning salt ishlash rejimi uchun almashtirish sxemasi (3.4-rasm)dan ko'rinishicha, uning Z_0 , r_0 , x_0 parametrlari quyidagi yig'indilardan iborat bo'ladi:

$$Z_0 = Z_1 + Z_m; \quad r_0 = r_1 + r_m; \quad x_0 = x_1 + x_m. \quad (3.18)$$

Transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'am qarshiliklari (r_1 va r_2) tajriba yo'li bilan chulg'amlarga alohida-alohida o'zgarma tok berib aniqlanadi.

3.4-rasm.
Transformatorning salt
ishlash rejimi uchun
almashtirish sxemasi



Transformator chulgʻamlarining r_1 va x_1 qarshiliklari uning salt ishlash qarshiliklari (r_0 va x_0) ga nisbatan bir necha yuz marta kichik. Shu sababli oʻrta va katta quvvatli transformatorlarning salt ishlashidagi almashtirish sxema parametrlarini magnitlovchi kontur parametrlariga teng deb hisoblash mumkin, yaʼni:

$$Z_0 \approx Z_m ; r_0 \approx r_m ; x_0 \approx x_m.$$

Nazorat savollari

- 1.Transformatorning ishlashi nimaga asoslangan?
- 2.Uch fazali transformatorlar salt ishlash rejimining oʻziga xos xususiyatlari nimalardan iborat?
- 3.Salt ishlash tajribasidan qanday parametrlari aniqlanadi?

4-Bob. Simmetrik yuklama ulangan transformatoridagi elektromagnit jarayonlar

4.1§. Lyens qoidasi, yuklama ulangan transformatorning muvozanat tenglamalari

Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amiga yuklama (Z_{yu}) ulansa (3.1-rasmda kalit «K» ulangan hol), EYuK E_2 ta'sirida shu chulg'amdan I_2 tok o'tib, MYuK I_2W_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_2W_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_0W_1 ga teskari yo'nalgan bo'lib, asosiy magnit oqim F ni kamaytirishga, aktiv-sig'imiyluk yuklamada esa I_0W_1 ga mos yo'nalgan bo'lib, asosiy magnit oqimni oshirishga intiladi. Aktiv-induktiv yuklamada natijaviy oqimning kamayishi birlamchi chulg'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 F 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:

$$I_1 w_1 + I_2 w_2 \approx I_0 w_1. \quad (4.1)$$

Bu ifodani transformatorning MYuK lari muvozanat tenglamasi deyiladi. Bunda: $I_1 w_1$ – yuklama ulangan transformatorning birlamchi chulg'amida vujudga keladigan MYuK; $I_2 w_2$ – ikkilamchi chulg'amda hosil bo'ladigan MYuK; $I_0 w_1$ – salt ishlayotgan transformator birlamchi chulg'aming MYuK.

(4.1) tenglamaning ikkala tomonini w_1 ga bo'lamiz va $I_2(w_2/w_1) = I'_2$ belgilashdan keyin hosil bo'lgan tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$I_1 \approx I_0 + (-I'_2). \quad (4.2)$$

Bu ifoda transformatorning toklar muvozanat tenglamasidir. (4.2) dan quyidagi xulosa kelib chiqadi: transformator birlamchi chulg'aming 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, Lens qoidasiga binoan ikkilamchi chulg'am MYuK $I_2 w_2$ ning ta'sirini kompensatsiya qiladi.

Natijaviy (asosiy) magnit oqimning maksimal qiymati $F_{\max}$ ni aniqlashda magnit zanjirlari uchun Om qonunidan foydalanamiz:

$$F_{\max} = \sqrt{2} (I_1 w_1 + I_2 w_2) / r_m. \quad (4.3)$$

Magnit oqimning bu qiymatini (3.3) formuladan ham aniqlash mumkin. Bu holda (3.8) dagi $U_1 \approx E_1$ ni hisobga olib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$F_{\max} \approx U_1 / (4,44 f w_1). \quad (4.4)$$

Demak, birlamchi chulg'amga berilgan kuchlanish U_1 va uning chastotasi $f = \text{const}$ bo'lganda transformator magnit o'tkazgichidagi asosiy oqim F ikkilamchi chulg'amga ulangan yuklamaning qiymatiga bog'liq emas ekanligi transformatorning muhim xossalardan biridir.

Birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlar elektr zanjirlari uchun EYuK va kuchlanishlar

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + j\underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1, \\ \underline{U}_2 &= -\underline{E}_2 + j\underline{I}_2 x_2 + \underline{I}_2 r_2. \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

muvozanat tenglamalari tegishli uchun ularning taʼsir etuvchi qiymatlari orqali quyidagicha ifodalanadi:

Kuch transformatorlarida yuklama tokining nominal va unga yaqin qiymatlarida birlamchi chulgʻamdagi kuchlanish tushishi ($\Delta U_1 = I_1 r_1 + I_1 x_1$) nominal kuchlanish U_{1N} ning taxminan 2÷5 foizidan oshmaydi. Shu sababli transformatorga yuklama ulangan rejimda ham fizik jarayonni oydinlashtirish maqsadida $\Delta U_1 \approx 0$ deyilganda, (3.8) dagi singari $|U_1| \approx |E_1|$ ga ega boʻlamiz.

Transformatorning salt ishlashdagi MYuK $I_0 w_1$ uning normal yuklama bilan ishlagandagi MYuK $I_1 w_1$ ning taxminan 0,5÷3,0 (yaʼni juda kam) foizini tashkil etganligidan (4.1) tenglikdagi $I_0 w_1 \approx 0$ deb qabul qilinsa, jarayonning fizik maʼnosini oydinlashtirishga imkon yaratiladi. Bunday cheklanmada chulgʻamlardagi toklar, ular vujudga keltirgan MYuK lar oʻzaro muvozanatlashadigan ravishda yoʻnalgan boʻladi, yaʼni

$$I_2 = -I_1 (w_1/w_2), \quad (4.6)$$

bundan quyidagi nisbatni yozish mumkin:

$$I_1/I_2 \approx w_2/w_1. \quad (4.7)$$

(4.7) dan, YuK va PK chulgʻamlardagi toklar nisbati ularning oʻramlari soni nisbatiga teskari mutanosibda boʻlar ekan, degan xulosa kelib chiqadi. Zamonaviy kuch transformatorlarining FIK katta ($\eta = 0,97 \div 0,99$) boʻlganligidan, yuklama ulangan hol uchun fizik jarayonning mohiyatini ochish maqsadida birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlardagi elektr quvvatlarni bir-biriga tenglaganda ($I_1 U_1 \approx I_2 U_2$) quyidagi nisbatlar tengligi kelib chiqadi:

$$I_1/I_2 \approx U_2/U_1, \quad (4.8)$$

demak, transformatorlarda toklar uning kuchlanishiga teskari mutanosiblikda bo'lar ekan.

4.2§. Transformatorning ikkilamchi chulg'am kattaliklarini birlamchi chulg'amga keltirish va vektor diagrammalari

Umumiy holda transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'am toklari, kuchlanishlari, EYuK va qarshiliklari bir-biridan miqdor jihatdan ancha farq qiladi. Bu holda transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'am elektr kattaliklarini vektor diagrammada bir xil masshtabda tasvirlashning imkoniyati bo'lmaydi.

Bu o'ng'aysizliklarni bartaraf etish maqsadida o'ziga xos hisobiy usuldan foydalaniladi, ya'ni birlamchi va ikkilamchi chulg'am o'ramlari soni har xil ($w_1 \neq w_2$) bo'lgan real transformator, ikkilamchi chulg'am o'ramlari soni birlamchi chulg'am o'ramlari soniga teng ($w'_2 = w_1$) bo'lgan ekvivalent transformator bilan almashtiriladi. Bunday transformatorni keltirilgan transformator deyiladi. 4.2-rasmda bunday transformatorning ekvivalent («a») va almashtirish («b») sxemalari ko'rsatilgan.

Keltirilgan elektr kattaliklaridan foydalanish transformatoridagi elektromagnit jarayonlarni tahlil qilishni soddalashtiradi, vektor diagrammalar qurishni osonlashtiradi, chulg'amlar orasidagi magnit bog'lanish o'rniga elektr bog'lanish ishlatiladigan almashtirish sxemasini qurishga imkon yaratadi. Keltirilgan transformatoridagi barcha elektromagnit jarayonlar real transformatorniki bilan bir xil bo'lishini, ya'ni MYuK, magnit oqim hamda transformatsiyalash koeffitsienti «k» ga bog'liq bo'lmagan aktiv va reaktiv quvvatlarning o'zgarmas bo'lishini ta'minlash zarur bo'ladi. Bundan, keltirilgan kuchlanish va toklarning faza siljishi o'zgarmas bo'lishi talab qilinadi. Shu maqsadda «keltirilgan» ikkilamchi chulg'am elektr parametrlarini aniqlash tartibi quyida ko'rsatilgan.

1. Magnit oqimi Φ ni o'zgarmas qilish uchun ikkilamchi chulg'am (uch fazali transformator uchun fazaviy chulg'am) MYuK $w'_2 = w_1$ bo'lgan transformatorida quyidagicha muvozanatda bo'lishi kerak:

$$I'_2 w'_2 = I_2 w_2. \quad (4.9)$$

Mazkur shart (ya'ni muvozanat) bajarilishi uchun keltirilgan va real chulg'amlarning shakli, demak, bo'ylama kesimi ham bir xil bo'lishi kerak. Bu esa keltirilgan chulg'amdagi har bitta o'ram kesimining «k» marta o'zgarishiga olib keladi.

(4.9) dan «keltirilgan» chulg'amning toki I'_2 ni topamiz:

$$I'_2 = I_2 (w_2/w'_2) = I_2/k, \quad (4.10)$$

bunda $k = w_1/w_2$ – transformatsiyalash koefitsienti; $w'_2 = w_1$.

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

$$E'_2 = E_2 (I_2 / I'_2) = k E_2 \quad (4.11)$$

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

$$U'_2 = U_2 (I_2 / I'_2) = k U_2. \quad (4.12)$$

4. Keltirilgan chulg'am o'ramlari soni va o'ram kesimi «k » marta o'zgarganligi sababli uning aktiv qarshiligi «k » marta katta bo'ladi. Mazkur aktiv qarshilik (r'_2)ni aniqlashda keltirilgan va real chulg'amlardagi isroflar tengligi [$(I'_2)_2 r'_2 = I_{22} r_2$] dan foydalaniladi [bunda (4.10)ga ko'ra $I'_2 = I_2/k$]:

$$r'_2 = (I_2 / I'_2)_2 r_2 = k_2 r_2, \quad (4.13)$$

5. Keltirilgan chulg'amning geometrik o'lchamlari real chulg'amniki bilan bir xil bo'lganda keltirilgan chulg'amning x'_2 induktiv qarshiligi o'ramlar soni kvadrati $(w')_2$ ga bog'liq bo'ladi. Uning qiymati keltirilgan va real chulg'amlar reaktiv quvvatlari tengligi [$(I'_2)^2 x_2 = I_{22} x_2$]dan foydalaniladi:

$$x'_2 = (I_2 / I'_2)_2 x_2 = k_2 x_2. \quad (4.14)$$

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

$$Z'_2 = r'_2 + x'_2 = k_2(r_2 + jx_2) = k_2 Z_2. \quad (4.15)$$

7. Ikkilamchi chulg'am chiqish uchlariga ulangan yuklamaning keltirilgan to'la qarshiligi ham (4.15) ga o'xshash holda topiladi:

$$Z'_{yu} = k_2 Z_{yu}. \quad (4.16)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 = -\underline{E}_1 + j\underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1, \\ \underline{U}'_2 &= \underline{E}'_2 - \underline{I}'_2 \underline{Z}'_2 = \underline{E}'_2 - j\underline{I}'_2 x'_2 - \underline{I}'_2 r'_2, \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

Vektor diagrammalari. (4.17) tenglamalar tizimi yordamida yuklama ulangan keltirilgan transformatorning vektor diagrammalarini ma'lum masshtabda qurib, ular yordamida transformatorning kuchlanishi, EYuK va toklarini aniqlash mumkin. Diagrammaning qurilish ketma-ketligi transformator ish rejimining qan-day kattaliklarda berilgani va diagrammani qurib undan qanday kattaliklar qiymatlarini topish talab qilinganiga bog'liq bo'ladi. Aytaylik, ikkilamchi tok I'_2 va amaliyotda ko'p uchraydigan aralash aktiv-induktiv yuklama qarshiligi

$z'_{yu} = r'_{yu} + jx'_2$ (induktiv yuklamada $x'_{yu} > 0$, sig'imiyl yuklamada esa $x'_{yu} < 0$) ma'lum bo'lgan holda, ikkilamchi kuchlanish U'_2 , birlamchi chulg'am EYuK E_1 , magnitlovchi toki I_1 va kuchlanishi U_1 larni topish talab qilingan bo'lsin.

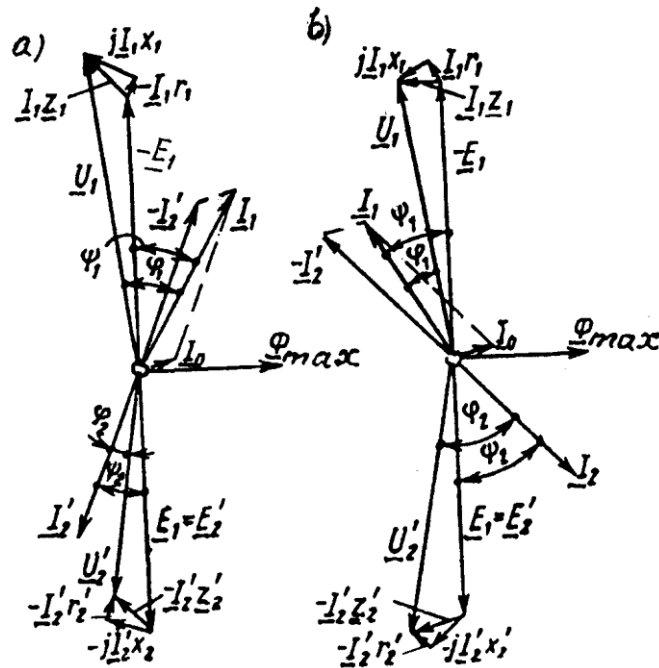
Vektor diagrammani qurishda magnit oqim $F_{\max}$ va undan 90° orqada qoladigan yo'nalishda $E_1 = E'_2$ vektori qo'yiladi (4.1-rasm), chunki vaqt bo'yicha sinusoidal shaklda o'zgarayotgan EYuK lar o'zlarining nol qiymatlaridan magnit oqim $F_{\max}$ ga nisbatan chorak davr (90°) ga kechikib o'tadi. Elektrtexnikaning nazariy asoslariga ko'ra ikkita vektor kattalikdan soat milining harakati tomoniga siljigan vektorni orqada qolgan hisoblanadi.

Magnit o'tkazgichdagi va birlamchi chulg'amdagi elektr isroflarni kompensatsiya qilish uchun tok $I_{0.a}$ ga mutanosib ravishda o'zgaradigan aktiv quvvat ($P_0 \sim I_{0.a}$)ni elektr tarmog'idan olgani tufayli transformatorning salt ishlash toki I_0 magnit oqim vektori $F_{\max}$ dan α burchakka oldin keladi. Ikkilamchi chulg'am toki I'_2 aktiv-induktiv yuklamada shu chulg'am EYuK E'_2

dan ψ_2 burchakka, kuchlanishi U'_2 dan esa φ_2 burchakka orqada qoladi. Bu burchaklar quyidagicha aniqlanadi:

$$\psi_2 = \arctg (x'_2 + x'_{yu}) / (r'_2 + r'_{yu}); \quad (4.18)$$

$$\varphi_2 = \arctg (x'_{yu} / r'_{yu}). \quad (4.19)$$



4.1-rasm. Transformatorning aktiv-induktiv (a) va aktiv-sig'imiyl (b) yuklamalar uchun vector diagrammalari.

Ikkilamchi kuchlanish vektori U'_2 ni qurish uchun E'_2 vektoridan ikkilamchi chulg'amning reaktiv qarshiligidagi ($j I'_2 x'_2$) va aktiv qarshiligidagi ($I'_2 r'_2$) kuchlanish pasayishlarini ayiramiz. Induktiv qarshiligidagi kuchlanish pasayishi ($j I'_2 x'_2$) vektori tok vektori I'_2 dan 90° oldinda bo'ladigan yo'nalishda chiziladi. Shu sababli E'_2 vektori uchidan I'_2 vektoriga perpendikulyar yo'nalishda ($-I'_2 x'_2$) vektorini, uning uchidan esa ($-I'_2 r'_2$) vektorini I'_2 vektoriga parallel ravishda yo'naltirib, ($-I'_2 r'_2$) va E'_2 vektorlari uchlarini birlashtirganda ikkilamchi chulg'am ichki kuchlanishlar pasayishi uchburchagining gipotenuzasi ($-I'_2 Z'_2$) ni olamiz. ($-I'_2 r'_2$) vektori uchini «0» nuqta bilan birlashtirib U'_2 vektorini aniqlaymiz. Kuchlanish vektori U'_2 ikkilamchi tok vektori (I'_2) dan φ_2 burchakka oldinda bo'ladi. Bundan keyin toklar muvozanat tenglamasidan foydalanib birlamchi tok

vektori I_1 ni hosil qilamiz. Buning uchun I'_2 vektoriga qaramaqarshi yo'nalishida ($-I'_2$) vektorni yo'naltiramiz. I_0 va ($-I'_2$) vektorlarni geometrik qo'shish natijasida I_1 vektori hosil qilinadi.

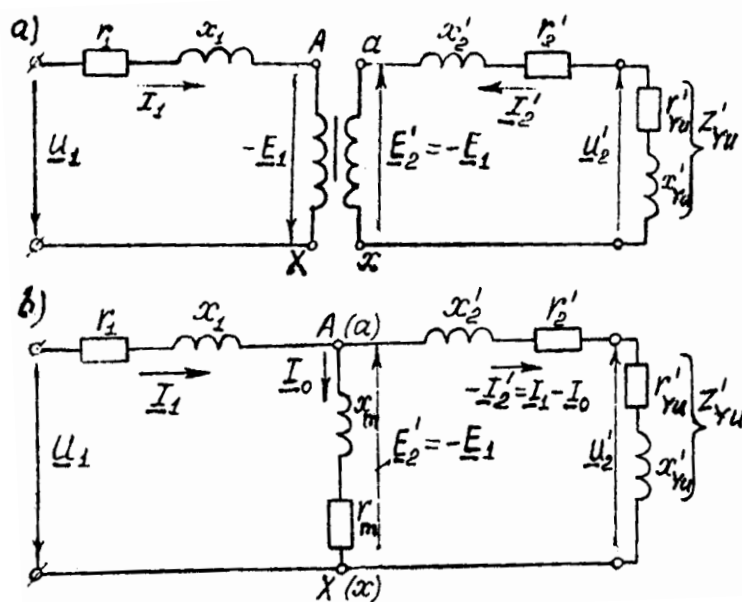
Birlamchi kuchlanish vektori U_1 ni qurish uchun $E_1 = E'_2$ vektoriga teng va qarama-qarshi yo'naltirib ($-E_1$) vektori chiziladi. Unga birlamchi chulg'am aktiv kuchlanish pasayishi ($I_1 r_1$) vektorini ($-E_1$) vektori uchidan I_1 tok vektoriga parallel, reaktiv kuchlanish pasayishi ($j I_1 x_1$) vektorini esa I_1 vektoridan 90° oldinda bo'ladigan yo'nalishda qo'yiladi va uning uchini 0 nuqta bilan birlashtirilganda U_1 vektorini beradi. U_1 vektori tok I_1 dan φ_1 burchakka oldin ketadi. Transformatorning ikkilamchi zanjiriga ulangan katta sig'imli aktivsig'imiylama ($Z_{yu} = r_{yu} - j x_{yu}$) da vektor diagrammani qurish tartibi oldingidek bo'ladiyu, lekin uning umumiy ko'rinishi ancha o'zgaradi. Bu holda I'_2 tok vektori E'_2 dan $\psi_2 = \arctg(x'_{yu} - x'_2) / (r'_{yu} + r'_2)$ burchakka oldin ketadi.

4.3§. Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi

Transformatorning elektromagnit hisobini osonlashtirish maqsadida uning chulg'amlari orasidagi magnit bog'lanishni elektr jihatdan bog'langan holda tasvirlanishi (4.2,b-rasm) almashtirish sxema deb yuritiladi va uning tuzilmasi transformator ish jarayonini to'la ifodalaydigan (4.17) tenglamalar tizimiga mos kelishi lozim. Simmetrik rejimdagi uch fazali transformatorlarda almashtirish sxema faqat bitta faza uchun quriladi.

Salt ishlash toki $I_0 = I_{0,a} + I_{0,r}$ o'tadigan magnitlovchi shoxobcha A–X (yoki a–x) bo'lib, 4.3,a-rasmda birlamchi chulg'am qarshiliklari (r_1, x_1) va ikkilamchi chulg'am qarshiliklari (r'_2 va x'_2) tegishli chulg'amlardan chiqarilib ularga ketma-ket ulangan. Keltirilgan transformatorlarda birlamchi va ikkilamchi chulg'am EYuK lari o'zaro teng ($E_1 = E'_2$) bo'lganligidan 4.2,a-rasmdagi «A» va «a» nuqtalarning, shuningdek, «X» va «x» nuqtalarning ham potentsiallari bir xil bo'lib, magnit

bog'langan sxemadagi (4.2,a-rasm) bir xil nomli nuqtalarni elektr jihatdan tutashtirib 4.2,b-rasmdagi sxema bilan almashtirishga imkon beradi.



4.2-rasm. Transformatorning ekvivalent va almashtirish sxemalari: a – chulg'amlari magnit maydon orqali bog'langan ekvivalent sxema; b – magnitlovchi kontur qarshiliklari ketma-ket ulangan T–simon almashtirish sxemasi

Transformatorning salt ishlash rejimi uchun almashtirish sxemasida (4.2-rasm) chulg'amlari elektr jihatdan bog'langan almashtirish sxemada magnitlovchi konturdagi jarayonning fizik mohiyatini to'la aks ettiruvchi aktiv va induktiv qarshiliklarning parallel ulangan zanjiri ko'rinishida tasvirlangan. Hisoblarni osonlashtirish maqsadida qarshiliklari parallel ulangan magnitlovchi zanjirni ketma-ket ulangan zanjirga almashtiriladi (4.2,b-rasm). Buni transformatorning T–simon almashtirish sxemasi deyiladi va u amalda keng ishlatiladi. Almashtirish sxema quyidagi uchta shoxobchadan iborat:

- 1) birlamchi chulg'amning qarshiligi $Z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}$ va toki I_1 bo'lgan shoxobcha;
- 2) ikkilamchi chulg'amning qarshiligi $Z'_2 = \sqrt{(r'_2)^2 + (x'_2)^2}$ va toki $(-I'_2)$ bo'lgan shoxobcha;

3) magnitlovchi konturning qarshiligi $Z_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2}$ va toki I_0 bo'lgan shoxobcha.

Almashtirish sxemada Z_1 va Z'_2 qarshiliklar o'zgarmas deb qabul qilinadi, yuklama qarshiligi Z'_{yu} esa transformatorning ish sharoitida beriladi va o'zgarib turishi mumkin. $U_1 = \text{const}$ bo'lganda $Z_0 = \text{const}$ deb hisoblash mumkin.

4.4§. Qisqa tutashuv tajribasi va xarakteristikalar

Birlamchi chulg'ami kuchlanish U_{1N} ga ulangan transformatorning ikkilamchi chulg'am tomonidan qisqa tutashuvning sodir bo'lishi avariya rejimi bo'ladi. Bunday rejimda chulg'amlardan o'tadigan toklar nominal tokka nisbatan bir necha o'n marta katta bo'lganligidan transformator uchun xavflidir. Qisqa tutashuv tajribasi muhim amaliy ahamiyatga egadir, chunki undan qisqa tutashuv isroflari $\Delta P'_{qt}$ va kuchlanishi U_{qt} hamda almashtirish sxemaning parametrlari aniqlanadi. Bu tajribani o'tkazish uchun PK tomonidan uch fazalida fazaviy chulg'am uchlarini qisqa tutashtirib (4.3,a-rasm), YuK chulg'amga pasaytirib beriladigan kuchlanish U_{qt} ni 0 dan boshlab chulg'amdagi tokning qiymati nominalga yetguncha oshiriladi. Qisqa tutashuv toki $I_{qt} = I_{1N}$ bo'lgandagi kuchlanishni qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} deb ataladi va u transformatorning muhim parametrlaridan biridir. Kuch transformatorlarida U_{qt} nominal kuchlanish U_{1N} ning 4,5÷14,5 foizini tashkil etadi. Bu tajribada kuchlanish U_{qt} , tok I_{qt} va quvvat P_{qt} lar o'lchab olinadi. Bu qiymatlardan qisqa tutashuvdagi quvvat koeffitsienti $\cos\phi_{qt}$ hisoblab topiladi. Transformatorning qisqa tutashuv xarakteristikalar: $I_{qt} = f(U_{qt})$, $P_{qt} = f(U_{qt})$ va $\cos\phi_{qt} = f(U_{qt})$ 4.2,b-rasmda ko'rsatilgan.

$I_{qt} = f(U_{qt})$. Bu tajribada kuch transformatorlari chulg'amiga beriladigan kuchlanishning qiymati U_N ga nisbatan ancha kam bo'lganligidan, uning magnit o'tkazgichi to'yinmagan bo'ladi va tok I_{qt} ning o'zgarishi to'g'ri chiziqli bo'ladi.

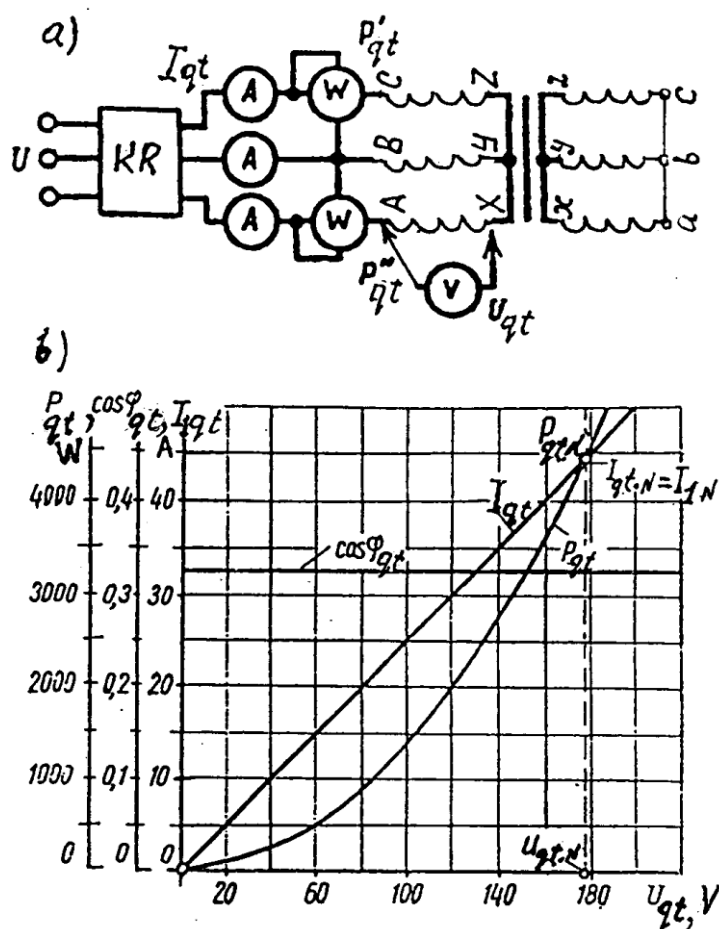
$P_{qt} = f(U_{qt})$. Ikki chulg'amli kuch transformatorlarida, U_{qt} kichik bo'lganligidan qisqa tutashuvdagi magnit isroflari (P'_m), U_{1N} dagi magnit

isroflarga nisbatan ancha kichik bo'ladi. Bu holda magnitlovchi tok ($I_m \approx I_0$) ni hamda magnit isroflari (P'_m) ni e'tiborga olmasa ham bo'ladi va birlamchi chulg'amga berilgan quvvat P_{qt} ikkala chulg'am elektr isroflarini qoplashga sarflanadi ($P_{qt} \approx P'_e$), deb hisoblanadi.

Chulg'amlardan nominal tok $I_{qt} = I_{1N}$ o'tgandagi qisqa tutashuv isroflari $P'_{qt.N}$ transformatorning muhim parametrlaridan biri hisoblanadi va uni quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$P'_{qt.N} \approx P_{e1} + P_{e2} = m I_{21.N} r_1 + m (I'_{2.N})^2 r'_2 = m I_{2qt.N} r_{qt}. \quad (4.20)$$

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



4.3-rasm. Quvvati $S_N = 100 \text{ kV}\cdot\text{A}$; $U_{1N}/U_{2N} = 6,3/0,22 \text{ kV}$; chulg'amlari Y/Y ulangan, uch fazali ikki chulg'amli transformatorning qisqa tutashuv tajribasini o'tkazish sxemasi (a) xa qisqa tutashuv xarakteristikalarini (b); K.R – kuchlanishni rostlagich.

$\cos\varphi_{qt} = f(U_{qt})$. Qisqa tutashuv tajribasida magnit zanjir to'yinmaganligi tufayli kuchlanishning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari nisbati o'zgarmas bo'ladi, ya'ni qisqa tutashuv kuchlanishlari to'g'ri burchakli uchburchak ABC ning katetlari bir xil nisbatda o'zgarib qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} va toki I_{qt} vektorlari orasidagi siljish burchak φ_{qt} o'zgarmas bo'ladi. Shu sababli quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_{qt}$ qisqa tutashuv rejimida o'zgarmas ($\cos\varphi_{qt} = \text{const}$) bo'lib, uni uch fazali transformatorlar uchun tajribadan olingan qisqa tutashuv ma'lumotlaridan foydalanib quyidagicha aniqlanadi:

$$\cos\varphi_{qt} = P_{qt} / (\sqrt{3} U_{qt} I_{qt}). \quad (4.21)$$

Qisqa tutashuv tajribasidan olingan ma'lumotlar bo'yicha transformator almashtirish sxemasining parametrlari: to'la (Z_{qt}), aktiv (r_{qt}) va induktiv (x_{qt}) qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

a) birlamchi chulg'ami "Y" sxemasiga ulangan uch fazali transformator uchun:

$$Z_{qt} = U_{qt} / (\sqrt{3} I_{qt}), \quad r_{qt} = P_{qt} / (3 I_{qt}^2), \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}; \quad (4.22)$$

b) birlamchi chulg'ami " Δ " sxemasiga ulangan uch fazali transformator uchun:

$$Z_{qt} = \sqrt{3} U_{qt} / I_{qt}, \quad r_{qt} = P_{qt} / I_{qt}^2, \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}. \quad (4.23)$$

Odatda birlamchi va keltirilgan ikkilamchi chulg'amlarning to'la (Z_1, Z'_2), aktiv (r_1, r'_2) va induktiv (x_1, x'_2) qarshiliklari taxminan quyidagiga teng

$$Z_1 \approx Z'_2 \approx 0,5 Z_{qt}; \quad r_1 \approx r'_2 \approx r_{qt} / 2; \quad x_1 \approx x'_2 \approx x_{qt} / 2, \quad (4.24)$$

deb hisoblanadi.

Qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} , uning aktiv ($U_{qt.a}$) va reaktiv ($U_{qt.r}$) tashkil etuvchilari nominal kuchlanishlarga nisbatan foizlarda quyidagicha aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} u_{qt}(\%) &= (I_N Z_{qt} / U_{1N}) \cdot 100, \\ u_{qt.a}(\%) &= (I_N r_{qt} / U_{1N}) \cdot 100, \\ u_{qt.r}(\%) &= (I_N x_{qt} / U_{1N}) \cdot 100. \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

Standartga binoan U_{qt} va $U_{qt.a}$ larni aniqlashda r_{qt} va Z_{qt} qarshiliklar A, E, B issiqqa chidamlilik klassdagi izolyatsiyali transformatorlar uchun 75°C o'rta hisobiy temperaturaga quyidagicha keltiriladi:

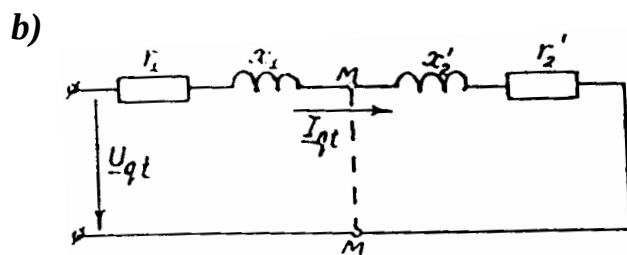
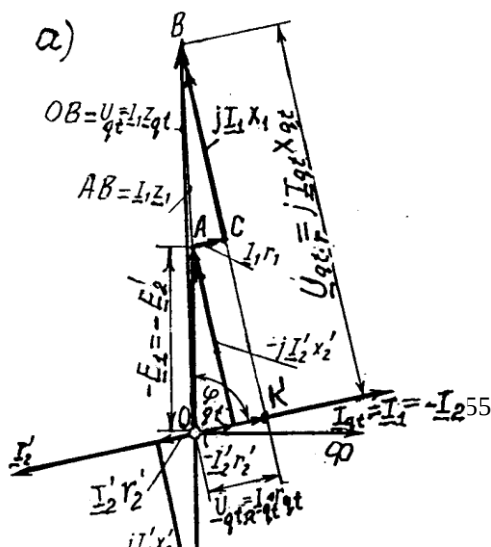
$$r_{qt}(75^{\circ}) = r_{qt} [1 + 0,004 (75^{\circ} - \vartheta)], \quad (4.26)$$

bunda ϑ – chulg'am qarshiligini o'lchagan paytdagi temperatura.

Qisqa tutashuv kuchlanishi transformatorning ichki qarshiligini ifodalaydi va kuchlanish tushishi (ΔU)ga, qisqa tutashuv toki (I_{qt})ga va tashqi xarakteristikalariga ta'sir ko'rsatadi. Transformatorning qisqa tutashuvdagi kuchlanish va EYuK lar hamda toklar muvozanat tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_{1qt} \underline{Z}_{1qt}; \\ 0 &= \underline{E}'_2 - \underline{I}'_{2qt} \underline{Z}'_{2qt}; \\ \underline{I}_{1qt} &= -\underline{I}'_{2qt}. \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

Aktiv, induktiv va to'la qarshiliklardagi kuchlanish pasayishlari vektorlari qisqa tutashuv uchburchagi (OBK) ni hosil qiladi (4.4,a-rasm). Bu rejim uchun almashtirish sxema oddiy ko'rinishga ega bo'ladi, chunki qisqa tutashuvda berilayotgan kuchlanish U_{qt} uning nominal qiymatiga nisbatan juda ham kamligidan, (4.17) dagi transformator toklarining muvozanat tenglamasida magnitlovchi tok $I_m \approx I_0$ ni hisobga olmaslik mumkin. Bu holda transformatorning T-simon almashtirish sxemasida magnitlovchi zanjir va uning qarshiliklari (r_m va x_m) chiqarib tashlansa, qisqa tutashuv rejimi uchun almashtirish sxemasi kelib chiqadi (4.4,b-rasm).



4.4-rasm. Transformatorning qisqa tutashuv rejimi uchun:
 a –soddalashtirilgan vektor diagrammasi (qisqa tutashuv uchburchagi OBK) va b –
almashtirish sxemasi

Mazkur sxemada birlamchi va ikkilamchi chulg'am qarshiliklari ketma-ket ulangan bo'lib, ularni qisqa tutashuvdagi to'la qarshilik ($Z_{qt} = r_{qt} + jx_{qt}$) ko'rinishida ham ko'rsatsa bo'ladi. Transformatorning qisqa tutashuvdagi to'la qarshilik Z_{qt} ga ekvivalent ko'rinishida ifodalanishi amaliy hisoblarida keng qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. Transformatorga ulangan yuklama o'zgarishining asosiy magnit oqimga ta'sirini Lens qoidasi orqali qanday tushuntiriladi?
2. Keltirilgan transformator nima va uning parametrlari real transformatornikidan nima bilan farq qiladi?
3. Yuklama ulangan transformatorning vektor diagrammalari qanday quriladi?
4. Qisqa tutashuv tajribasi nima maqsadda o'tkaziladi?

* * *

6-Bob. Transformator chulg'amlarining ulanish guruhlari va transformatorlarning parallel ishlashi

6.1§. Transformator chulg'amlarining ulanish guruhlarini aniqlash

6.1-rasmda bir fazali transformatorning bitta o'zagida joylashtirilgan ikkita (1 va 2) chulg'amni bir xil magnit oqim (F) kuch chiziqlari tomonidan kesib o'tayotgan hol ko'rsatilgan. Agar chulg'amlarning o'ralish yo'nalishi va uchlarining belgilanishi bir xil bo'lsa (6.1,a-rasm), ularda hosil bo'lgan EYuK lar (masalan, tekshirilayotgan payt uchun chulg'amning oxiridan boshiga) bir xil yo'nalgan bo'ladi va, demak, faza bo'yicha mos tushadi. Agar shu chulg'amlardan bittasida, masalan, PK (2) chulg'am uchlarining belgilanishi almashtirilsa, undagi hosil bo'lgan EYuK ning chulg'am uchlariga nisbatan yo'nalishi teskariga o'zgaradi, ya'ni bu holda «a» dan «x» ga yo'nalgan bo'lib, YuK va PK chulg'amlar EYuK lari E_1 va E_2 faza bo'yicha 180° ga siljigan bo'ladi.

Chulg'am uchlarini o'zgartirmasdan bironta (masalan, PK) chulg'amning o'ralish yo'nalishini o'zgartirganda ham E_1 va E_2 EYuK larning o'zaro siljish fazasi 180° bo'ladi. Shunday qilib, YuK va PK fazaviy chulg'amlar EYuK lari orasidagi faza siljishi shu chulg'amlar uchlarining belgilanishiga hamda o'ralish yo'nalishiga bog'liq bo'ladi. Mazkur chulg'amlar bitta o'zakda joylashtirilganda bu siljish 0 yoki 180° ga teng bo'lishi mumkin. Uch fazali transformatorlarda

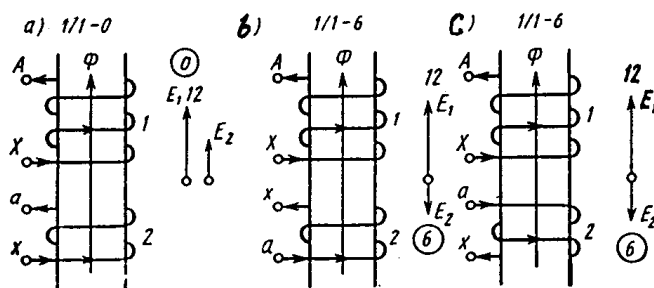
chulgʻamlarning ulanish guruhlari YuK va PK chulgʻamlarga tegishli bir xil liniyaviy kuchlanishlari vektorlarining oʻzaro siljish burchagini ifodalaydi.

Chulgʻamlarning ulanish guruhini odatdagi (tsiferblatli, yaʼni doirachada 1÷12 raqamlar koʻrsatilgan) soatdan foydalanib aniqlash usuli amalda oʻngʻay hisoblanadi (bu usul standartda ham belgilangan). Buning uchun, dastavval, soatni tasvirlovchi doira chizilib, uning raqamlari aylanaga teng taqsimlab belgilanadi.

Uch fazali transformatorning ulanish guruhi YuK va PK chulgʻamlarning liniyaviy EYuK vektorlari orqali aniqlanganligidan doiraga YuK chulgʻam uchun EYuK lar vektor diagrammasi chiziladi.

Buni quyidagi sxemalar uchun koʻrib chiqamiz:

1. Transformatorning chulgʻamlari Y/Y sxemaga ulanganda YuK chulgʻam fazaviy EYuK larining vektor diagrammasi bir-biridan faza jihatdan 120° siljigan uchta bir xil vektordan iborat boʻlib, ularning uchlari oʻzaro toʻgʻri chiziqlar bilan ulanganda tomonlari liniyaviy (fazalararo) kuchlanishni beradigan teng tomonli uchburchak hosil boʻladi.



6.1-rasm. Bir fazali transformator chulgʻamlarining ulanish guruhini aniqlash uchun chizmalar

Uchburchakning bitta (masalan, AB) tomoni YuK chulgʻamning liniyaviy EYuK vektoriga modul jihatdan teng ($AB = E_{AB}$) va soatning «12» raqamiga doimiy ravishda yoʻnaltirilgan boʻlishi kerak. Shu sababli YuK chulgʻamining vektor diagrammasiga oid uchburchakni doiraning markazidan «12» raqamga yoʻnaltirilgan AB radiusni chizishdan boshlanadi (6.2,a-rasm). Shu uchburchakka oid boshqa ikki tomonining holatini aniqlash uchun uzunligi AB radiusga teng boʻlgan BC vatarni B nuqtadan oʻtkazamiz. A, B va C nuqtalarni oʻzaro toʻgʻri

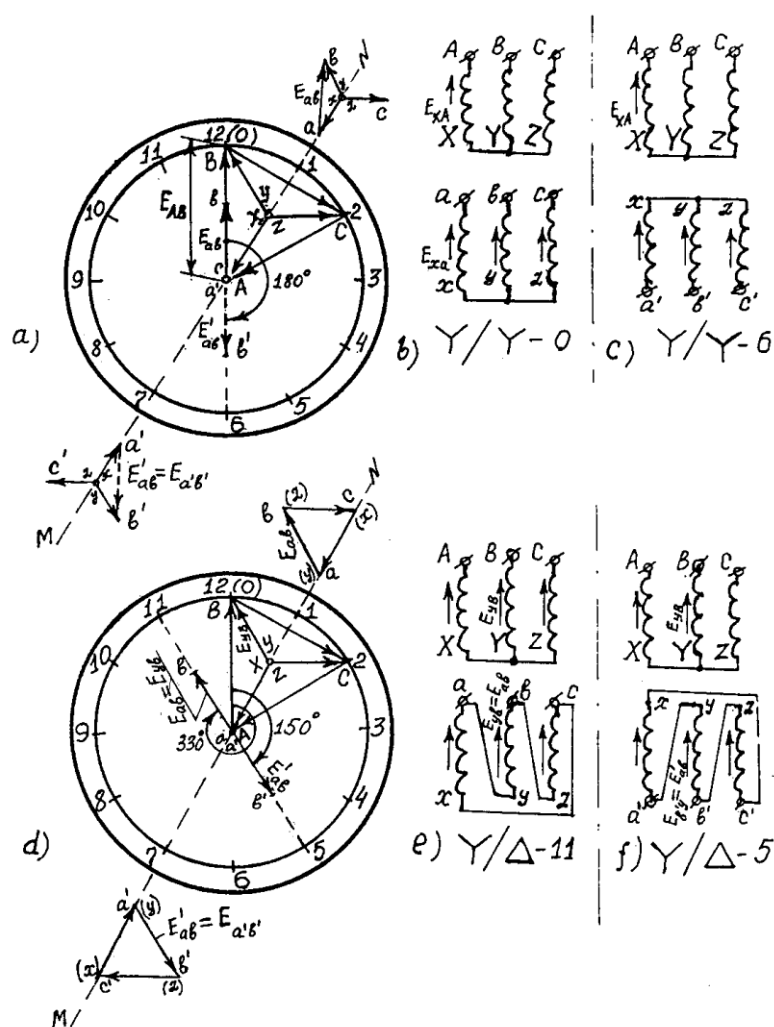
chiziqlar bilan birlashtirib teng tomonli uchburchak hosil qilinadi. Bu uchburchak medianalarining kesishgan nuqtasidan uning uchlarigacha bo'lgan oraliq (chizmada vektor) YuK chulg'am fazaviy EYuK larni beradi. YuK chulg'am uchun aniqlangan fazaviy EYuK vektorlari transformatorning PK chulg'ami uchun vektor diagrammani qurishda zarur bo'ladi. Bunda YuK va PK chulg'amlarning o'ralish yo'nalishi hamda fazaviy chulg'amlarning boshi va oxirlarining belgilanishi bir xil bo'lganida bir o'zakka joylashtirilgan chulg'amlarni bitta faza magnit oqimining kuch chiziqlari kesib o'tganligi tufayli chulg'amlarning EYuK lari fazaviy chulg'amlarining oxiridan boshiga bir xil (musbat) yo'nalgan holati tekshiriladi.

Ikkilamchi chulg'am liniyaviy EYuK vektori E_{ab} (bir fazali transformatorida fazaviy EYuK vektori E_{xa}) YuK chulg'amning liniyaviy EYuK vektori E_{AB} ga (bir fazali uchun fazaviy EYuK vektori E_{XA} ga) nisbatan 0 dan 360° oralig'ida burchaklarga siljigani uchun 360° ni 12 ga bo'lgandan chiqqan natija (30°) ulanish guruhining birligi qilib qabul qilinadi. «Yulduz» sxemasiga ulangan PK chulg'am EYuK lari vektor diagrammasini qurish uchun YuK chulg'amning A fazaviy chulg'am EYuK vektori E_{XA} bilan mos tushadigan yo'nalishda yordamchi MN punktir chiziq chiziladi (6.2-rasm) va uning doiradan yuqori qismida birorta nuqtani belgilab, shu nuqtadan PK chulg'amning fazaviy EYuK vektorlari (E_{xa} va E_{ub}) ni YuK chulg'am «A» va «B» fazalarining tegishli EYuK vektorlari (E_{XA} va E_{YB}) ga mos ravishda yo'naltiriladi. Ularning uchlarini birlashtirib, liniyaviy EYuK vektori E_{ab} hosil qilinadi. Guruhni aniqlash uchun shu vektorning yo'nalishini aniqlash kifoya bo'ladi.

PK chulg'am liniyaviy EYuK vektori E_{ab} ning YuK chulg'am liniyaviy EYuK vektori E_{AB} ga nisbatan siljishini aniqlash maqsadida PK chulg'am uchun qurilgan vektor diagrammaning E_{ab} vektorini o'ziga parallel ravishda doiraning ichidagi YuK chulg'am vektor diagrammasi tomon siljitishda uning «a» nuqtasi E_{AB} vektorning «A» nuqtasi ustiga tushishi zarur.

E_{XA} va E_{xa} fazaviy EYuK vektorlar MN chizig'i ustida yotganligidan «a» nuqtani «A» nuqta tomon surishda juda ham qulaylik yaratadi. Chulg'amlar Y/Y

ulangan hol uchun qurilgan vektor diagrammalar shu tartibda birlashtirilganda PK chulg'amning liniyaviy EYuK vektori E_{ab} YuK chulg'amning liniyaviy EYuK vektori E_{AB} bilan ustma-ust tushadi. Ularning orasidagi siljish burchagi 0 bo'lgani uchun chulg'amlarning ulanish guruhi 0 ($0: 30^\circ = 0$) bo'ladi (mazkur usuldagi sanoq tizimi 0 dan boshlanishi uchun «12» ni «0» bilan almashtirish tavsiya qilinadi). Uch fazali transformatorning ulanish guruhini soat yordamida aniqlash usulida PK chulg'am liniyaviy EYuK vektori (E_{ab}) soatning kichik mili bilan belgilanadi va chulg'amning ulanish guruhlariga qarab, soatning bu mili 12 (0) dan 11 gacha bo'lgan turli butun sonlarni ko'rsatishi mumkin (6.2-rasm).



6.2-rasm. "Yulduz-yulduz" (b, c) va «yulduz–uchburchak» (e, f) sxemalar uchun uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish guruhini aniqlashga oid chizmalar (a, d)

2. Transformatorning YuK chulg'ami «yulduz», PK chulg'ami esa «uchburchak» sxemasi (6.2,e-rasm) bo'yicha ulanganda YuK chulg'amida

o'zgarish bo'lmagani tufayli bu chulg'am uchun vektor diagramma 6.2,a-rasmdagi bilan bir xil bo'ladi (6.2,d-rasm).

Chulg'amlari bir xil yo'nalishda o'ralgan, fazaviy chulg'amlari uchlarining belgilanishi va bu chulg'amlardagi EYuK larning yo'nalishlari ham bir xil bo'lgan PK chulg'amda liniyaviy EYuK E_{ab} miqdor jihatdan shu chulg'am fazaviy EYuK E_{ub} ga teng ($E_{ab} = E_{ub}$), teskari ketma-ketlikda ulab «uchburchak» sxemasi hosil qilinganda esa $E'_{ab} = E'_{bu}$ bo'ladi).

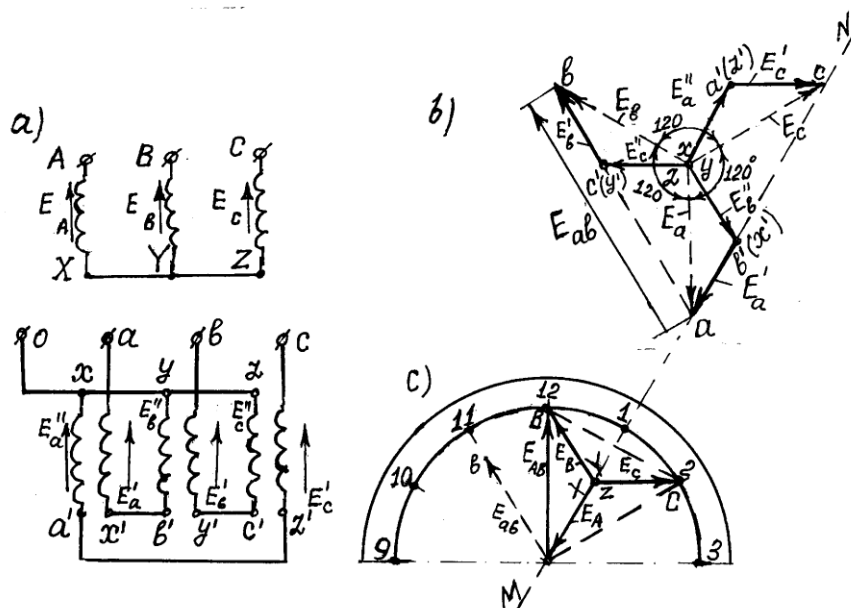
6.2,d-rasmdagi PK chulg'am uchun vektor diagrammani qurishda yordamchi MN chizig'ining doiradan yuqori qismida bironta nuqtadan YuK chulg'amning «B» fazaviy EYuK vektori E_{YB} ga parallel qilib, unga mos yo'nalishda $E_{ab} = E_{ub}$ vektori chiziladi. Boshqa fazalarga oid EYuK vektorlarni ham shunday tartibda chizish mumkin. So'ngra PK chulg'am liniyaviy EYuK vektori E_{ab} ni o'ziga parallel qilib, uning «a» nuqtasi YuK chulg'am liniyaviy EYuK vektori E_{AB} ning MN chizig'i ustidagi A nuqtasi bilan ustma-ust tushgunga qadar siljiriladi. Bu holda E_{ab} vektor soatning «11» raqamiga yo'nalgan holatni egallaydi. Demak, transformator chulg'amlarining ulanish guruhi 11 ekan. E_{AB} vektoridan boshlab soat milining aylanishi bo'yicha burchakni o'lchab, uni 30° ga bo'lganda ham shu natija ($330^\circ : 30^\circ = 11$) olinadi.

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.

3. Chulg'amlarining o'ralish yo'nalishi va uchlarining belgilanishi bir xil bo'lib Y/Z sxema bo'yicha ulangan (6.3,a-rasm) transformatorning PK chulg'am EYuK lari vektor diagrammasini (6.3,b-rasm) qurish uchun «A» fazaning («a-x'») va B fazaning («b'-u») g'altaklari o'zaro qarshi ulanganligi tufayli ularda hosil bo'ladigan EYuK lar bir-biridan 120° siljigan hamda EYuK lari teskari yo'nalganligidan ularni geometrik ayirish natijasida fazaviy EYuK vektorlari

(E_a, E_b, E_c) hosil qilinadi, ya'ni: $E_a = E''_b - E'_a$, $E_b = E''_c - E'_b$, $E_c = E''_a - E'_c$ (6.3,b-rasm). «B» fazaning ikkinchi («b'-u») g'altagida hosil bo'ladigan EYuK E''_b neytralga yo'nalgan, shu fazaga tegishli YuK chulg'am EYuK E_b esa neytraldan chulg'am boshiga yo'nalgan. Shu sababli E''_b vektorini E_b ga teskari yo'nalishda qo'yiladi va uning uchidan «A» fazaning PK chulg'amiga tegishli birinchi («a-x'») g'altagi EYuK vektori E_a ni YuK chulg'amning «A» fazaviy EYuK vektori E'_a ga mos yo'naltirib chiziladi. So'ngra E'_a vektorining uchini neytral nuqta bilan birlashtirib fazaviy EYuK vektori E_a hosil qilinadi. «B» va «C» fazaviy chulg'amlarning tegishli EYuK vektorlari E_b va E_c lar ham xuddi shu tartibda hosil qilinadi.

(6.3,b-rasm). E_a va E_b vektorlarning uchlarini birlashtirib E_{ab} vektorining yo'nalishi va kattaligini aniqlaymiz.



6.3-rasm. "Yulduz-zigzag" sxemasi (a) uchun kuch transformatorlarining ulanish guruhini aniqlashga oid vektor diagrammalar (b, c)

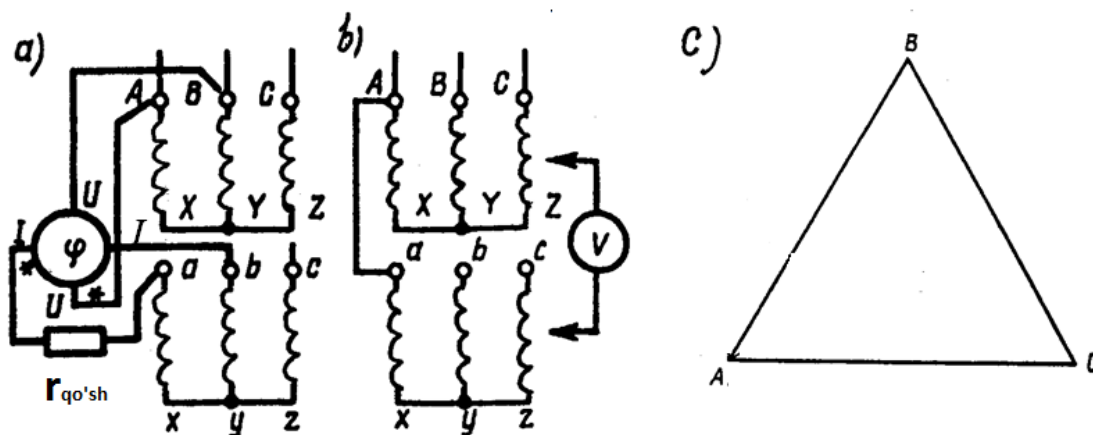
Bu vektorni o'ziga parallel ravishda YuK chulg'am uchun qurilgan vektor diagrammaning «A» nuqtasiga liniyaviy vektor E_{ab} ning «a» nuqtasi ustma-ust tushadigan qilib ko'chirilganda E_{ab} vektori soatning «11» raqamiga yo'nalganligi kuzatiladi (6.3,c-rasm).

6.2§. Uch fazali transformator chulgʻamlarining ulanish guruhlarini tajriba yoʻli bilan aniqlash va ularning qoʻllanish sohalari

1. Ulanish guruhlarini tajriba yoʻli bilan aniqlash usullari.

A. Fazometr usuli. Bu usul YuK va PK chulgʻa-mining mos liniyaviy kuchlanishlari (yoki EYuK lari) orasidagi faza siljish burchagini fazometr (φ) yordamida bevosita oʻlchashga asoslangan (6.4,a-rasm). Fazometrning parallel chulgʻami (U-U)ni transformatorning YuK tomoniga, ketma-ket chulgʻami (I-I)ni esa PK tomoniga ulanadi. Ketma-ket chulgʻamidagi tokni cheklash uchun uni qoʻshimcha qarshilik $r_{qo'sh}$ orqali ulanadi. Soʻngra transformatorning YuK chulgʻami uch fazali simmetrik kuchlanishli elektr tarmogʻiga ulanadi. Shuni taʼkidlash lozimki, oʻlchash qulay boʻlsin uchun fazometrning shkalasi 360° gacha boʻlgani maqsadga muvofiq hisoblanadi.

B. Voltmetr usuli. Bu usulda chulgʻamlarning liniyaviy kuchlanishlari (yoki EYuK lari) orasidagi siljish burchagi oʻlchanmaydi. Demak, u bilvosita usul boʻlib, YuK va PK chulgʻamlarning bir xil nomli uchlariaro kuchlanish (yoki EYuK) larni oʻlchashga asoslangan.



6.4-rasm. Transformatorning ulanish guruhini tajriba yoʻli bilan fazometr (a) va voltmetr (b) usullarida aniqlash sxemalari; c – tajribaviy-grafik usuli uchun diagramma qurish

Agar Y/Y-0 (6.4,b-rasm) ulanish guruhi tekshirilsa YuK va PK chulgʻamlarning «A» va «a» uchlari sim bilan ulab U_{Bb} va U_{Cc} kuchlanishlar oʻlchanadi. Oʻlchangan kuchlanishlar quyidagi:

$$U_{Bb} = U_{Cc} = U_{ab} (k_l - 1) \quad (6.1)$$

tenglamani qanoatlantirsa (bunda $k_l = U_{AB}/U_{ab}$ – liniyaviy kuchlanishlarni transformatsiyalash koeffitsienti), ulanish guruhi $Y/Y - 0$ ga mos keladi. Boshqa guruhlar uchun esa quyidagi tenglamalar bo'yicha tekshiriladi:

$$Y/Y - 6 \text{ guruh uchun} - U_{Bb} = U_{Cc} = U_{a'b'} (k_l + 1), \quad (6.2)$$

$$Y/\Delta - 11 \text{ guruh uchun} - U_{Bb} = U_{Cc} = U_{ab} \sqrt{1 - \sqrt{3} + \kappa_\ell + \kappa_\ell^2}, \quad (6.3)$$

$$Y/\Delta - 5 \text{ guruh uchun} - U_{Bb} = U_{Cc} = U_{a'b'} \sqrt{1 + \sqrt{3} + \kappa_\ell + \kappa_\ell^2}, \quad (6.4)$$

(6.2÷6.4) 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.

V. T a j r i b a v i y – g r a f i k u s u l i. Transformatorning ulanish guruhini bu usulda aniqlash uchun YuK va PK chulg'amlarning bir xil nomli (masalan, «A» va «a») qisqichlarini o'zaro birlashtirib (6.4,b-rasm) transformatorning YuK chulg'amini simmetrik uch fazali kuchlanish manbasiga 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. 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.

2. Transformator chulg'amlari ulanish guruhlarining qo'llanish sohalari.

A) Y/Y0–0. YuK chulg‘ami «yulduz», PK chulg‘ami esa neytral (0) simi tashqariga chiqarilgan «yulduz» sxemasiga ulangan 0-guruhli quvvati katta bo‘lmagan, kuchlanishi esa 10/0,4 yoki 6/0,4 bo‘lgan transformatorlar elektr iste’molchilari yorug‘lik va kuch elektr jihozlaridan iborat bo‘lgan aralash yuklamalar uchun ishlatiladi. Bunda elektr motorlari liniyaviy kuchlanishlarga, yorug‘lik va uy xo‘jaligida hamda maishiy xizmat korxonalaridagi elektr asboblari asosan faza kuchlanishlariga ulanadi. Bu sxemani Δ/Y –11 guruhli ulanish sxemasi bilan almashtirish mumkin. Transformatorning chulg‘amlari bu sxemaga ulanganda fazalarining yuklamasi nosimmetrik bo‘lganda ham nisbatan yaxshi ishlaydi. Bu esa mazkur ulanish guruhining afzalligidir.

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

S) Y_0 / Δ – 11. YuK chulg‘ami neytral (0) simi tashqariga chiqarilgan «yulduz», PK chulg‘ami esa «uchburchak» sxemasiga ulangan 11-guruhli transformatorlar $U_{YK} \leq 110$ kV bo‘lgan kuchlanishlarda ishlatiladi.

Chulg‘amni «yulduz» (Y) sxemaga ulash yuqori kuchlanishlarda qulaydir, chunki chulg‘amga beriladigan fazaviy kuchlanish (U_f) liniyaviy kuchlanish (U) dan $\sqrt{3}$ marta kichik bo‘ladi. Bu esa chulg‘amni tayyorlashda izolyatsion material kamroq sarflanib, transformatorning tannarxi kamayadi. PK chulg‘amlarni ko‘pchilik hollarda « Δ » sxemasiga ulaydilar. Bunday sxemada transformator fazalaridagi yuklama notekis bo‘lsa ham yaxshi ishlaydi. Undan tashqari « Δ »ka ulanganda chulg‘amning fazaviy toki $I_f = I/\sqrt{3}$, ya’ni kam bo‘lib, chulg‘am o‘rov simining kesim yuzasini kamroq tanlashga imkon beradi. Demak, bu holda ham chulg‘am tannarxi nisbatan arzon bo‘ladi.

Y/Y – 0 ulanish guruhida magnit oqimining asosiy tashkil etuvchisi $F_{(1)}$ dan tashqari uning 3-garmonikasi $F_{(3)}$ ham vujudga keladi. Transformatorning konstruktiv elementlarida $F_{(3)}$ hosil qilgan uyurma toklar uni me’yordan ortiqcha

qizdirib yuboradi. Shu sabablarga (kamchiliklarga) ko'ra $Y/Y-0$ sxema kam qo'llaniladi.

Sanoat ehtiyojlariga ko'ra $Y/Y-0$; $\Delta/Y-11$; $Y/\Delta-11$; $Y_0/\Delta-11$ hamda maxsus buyurtmalar asosida $Y/Z-11$ ulanish guruhleri tayyorlanadi. Bulardan Y/Δ yoki Δ/Y sxemaga oid ulanish guruhi afzal hisoblanadi. Shu sababli standart $\Delta/Y-11$ ulanish guruhini tavsiya qilgan.

3. Transformator chulg'amlarining ulanish guruhlariga oid amaliyot uchun muhim bo'lgan xulosalar

1) Bir fazali transformatorida faqat 0 va 6-guruhleri olish mumkin. Bir fazali ikki chulg'amli transformatorlar standart bo'yicha faqat $I/I-0$ ulanish guruhiga moslab tayyorlanadi;

2) Chulg'am fazalarining bak qopqog'idagi standart bo'yicha belgilanish ketma-ketligi («A-B-C» va «a-b-c») o'zgartirilmaganda $Y/Y-0$ sxemasi 0 yoki 6-juft guruhleri beradi;

3) Moyli transformator chulg'amlarining bak ichida ulangan $Y/Y-0$ sxemasini o'zgartirmagan holda PK fazaviy chulg'amlarning uchlarini chapdan o'ngga («a-b-c»; «c-a-b»; «b-c-a») siljitib belgilash natijasida 0-guruhdan 4 va 8-guruhleri hosil qilish mumkin. (Izoh: har bitta siljitib belgilashda bir xil nomlangan $EYUK\ 120^\circ = 4 \times 30^\circ$ burchakka buriladi, demak, guruhning nomeri ham to'rttaga o'zgaradi);

4) $Y/Y-6$ ulanish sxemasiga o'tish uchun transformator baki ichidagi nol hosil qilingan simni fazaviy chulg'amlarning boshiga ko'chirish zarur bo'ladi (bu holda PK chulg'amning barcha $EYUK$ lari YUK chulg'am $EYUK$ lariga nisbatan teskari, ya'ni 180° yo'naladi).

5) $Y/Y-6$ ulanish sxemasida chapdan o'ngga siljitib belgilash natijasida 6-guruhdan 10 va 2-guruhleri hosil qilish mumkin.

6) Y/Δ yoki Δ/Y sxemalarida transformator bakining qopqog'iga chiqarilgan uchta fazaviy chulg'am qisqichlarining standart bo'yicha (A-B-C va a-b-c) joylashtirilishi uchun 1, 5, 7 va 11-toq guruhleri olish mumkin. 3 va 9-toq

guruhlarni hosil qilish uchun esa fazalar belgilanishini (masalan, PK chulg'am tomondan) o'zgartirish zarur bo'ladi;

7) Δ/Δ sxemalari 0, 2, 4, 6, 8 va 10-juft guruhlarini beradi;

8) Y/Z sxemalarida chulg'am qisqichlari yuqorida ko'rsatilgandek (A-B-C va a-b-c) ketma-ketlikda joylashtirilganda 1, 5, 7 va 11-guruhlarini olish mumkin;

9) YuK yoki PK chulg'amlarning tegishlicha X, Y, Z yoki x, y, z oxirlarini ularning boshlari sifatida foydalanish, ya'ni bir xil kuchlanishli fazaviy chulg'am boshi va oxirlarini almashtirib belgilashda faqat «yulduz» sxemasi uchungina guruhni oltitaga o'zgartiradi.

10) «Uchburchak» yoki «zigzag» sxemalari uchun har bitta fazaviy chulg'am boshi va oxirlarini o'zaro almashtirib belgilashda chulg'amning o'ralish yo'nalishi bilan bir vaqtda fazalararo ulanish ketma-ketligi ham o'zgarganligi tufayli guruhni oldingidek oltitaga emas, balki boshqaga o'zgartiradi;

11) Uch fazali ikki chulg'amli transformatorlarning barcha ulanish guruhlaridan quyidagi: $Y/Y_0 - 0$, $Y/\Delta - 11$, $Y_0/\Delta - 11$, $Y/Z - 11$ ulanish sxemalari va guruhlarini amaliyot uchun standart tavsiya qilgan.

6.3§. Transformatorlarning parallel ishlashi

Ikki (yoki undan ko'p) transformatorlarning birlamchi chulg'amlari bitta elektr tarmog'idan (manbaidan) energiya bilan ta'minlanib, ikkilamchi chulg'amlari esa umumiy iste'molchiga (yoki tarmoqqa) ulangan holdagi ishini transformatorlarning parallel ishlashi deyiladi. Transformatorlarni parallel ishlatish iste'molchilarni elektr energiya bilan uzluksiz ta'minlashda katta amaliy ahamiyatga egadir. Masalan, parallel ishlayotgan transformatorlardan birortasida avariya holati sodir bo'lsa yoki ta'mirlash uchun uni manbadan ajratganda ham energiya ta'minoti uzilmaydi, chunki bu holda iste'molchilar elektr energiyani parallel ishlayotgan boshqa transformator(lar)dan oladi. Podstansiyaning umumiy yuklamasi oshganda parallel ishlayotgan transformatorlarning soni oshirilib, yuklama kamayganda esa transformatorlarning bir qismi tarmoqdan ajratib qo'yiladi. Transformatorlar yukla-masining shu tarzda

optimallashtirishi, ularning energetik ko'rsatkichlari (FIK va $\cos\varphi$)ni yaxshilaydi. Transformatorlarni parallel ishlashga ulash shartlari. Transformatorlarni parallel ishlashga ulashda ularning chulg'amlarida tenglashtiruvchi toklarning vujudga kelmasligi va umumiy yuklama parallel ulangan transformatorlarning quvvatiga mos holda taqsimlanishi zarur bo'ladi. Buning uchun quyidagi shartlar bajarilishi talab qilinadi:

1) parallel ulanadigan va ishlab turgan transformatorlarning birlamchi nominal kuchlanishlari o'zaro teng ($U_{1.N(I)} = U_{1.N(II)} = \dots$) va ikkilamchi nominal kuchlanishlari ham teng bo'lishi, ya'ni liniyaviy transformatsiyalash koeffitsientlari (k_ℓ) bir xil bo'lishi lozim:

$$K_{I,I} = k_{I,II} = k_{I,III} = \dots \quad (6.5)$$

2) parallel ulanadigan va ishlab turgan transformatorlarning qisqa tutashuv kuchlanishlari bir xil bo'lishi kerak, ya'ni

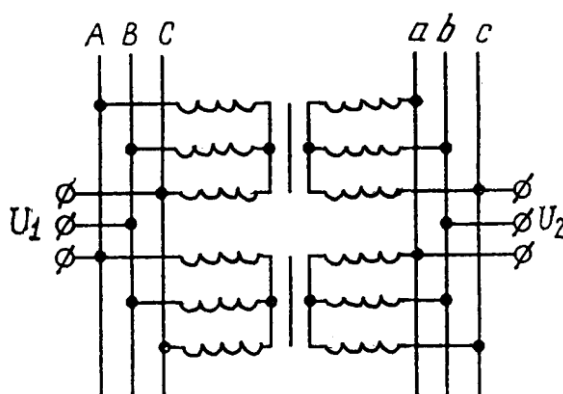
$$u_{qt,I}\% = u_{qt,II}\% = u_{qt,III}\% = \dots \quad (6.6)$$

3) transformatorlar chulg'amlarining ulanishi bitta guruhga taalluqli bo'lishi lozim.

Ikkita bir fazali kuch transformatorlarini parallel ishlashga ulash sxemasi 6.5, a-rasmda va parallel ishlashga ulangan ikkita uch fazali kuch transformatorining sxemasi 6.5,b-rasmda ko'rsatilgan. Transformatsiyalash koeffitsientlari k_ℓ , ularning o'rtacha arifmetik qiymatlaridan farqi $\pm 0,5$ foizgacha, qisqa tutashuv kuchlanishlari u_{qt} esa (± 10) foizgacha farqli bo'lgan hollarda ham transformatorlarni parallel ishlatish mumkinligi standartda belgilangan. Undan tashqari parallel ishlaydigan transformatorlar nominal quvvatlarining farqi uch martadan oshmasligi kerak, chunki transformatorning qisqa tutashuv kuchlanishi u_{qt} uning nominal quvvati va kuchlanishi oshgan sari oshib boradi.

Chulg'amlarining ulanish guruhlari har xil bo'lgan holda transformatorlarni parallel ulash mumkin emas, chunki bu holda ularning chulg'amlaridan qiymati taxminan qisqa tutashuv tokining qiymatiga yetadigan tenglashtiruvchi toklar o'tadi. Bu esa transformatorlar uchun xavflidir. Yuqorida ko'rsatilgan shartlardan

birortasi to'la bajarilmagan hollarda transformatorlarning parallel ishlashini ko'rib chiqamiz.



6.5-rasm. Parallel ishlashga ulangan ikkita uch fazali kuch transformatorining sxemasi

Transformatsiyalash koeffitsientlari har xil bo'lgan transformatorlarning parallel ishlashi. Parallel ishlayotgan transformatorlar ikkilamchi chulg'amlaridagi EYuK lar ($E_{2.I}$, $E_{2.II}$) qarama-qarshi ulangan bo'lgani uchun vektor diagrammada ularning vektorlari o'zaro teskari yo'naltirib chiziladi (6.6,a-rasm). Agar transformatorlarning birlamchi chulg'am EYuK lari shartga ko'ra teng bo'lsa, unda transformatsiyalash koeffitsientlari $k_{\ell.I} < k_{\ell.II}$ bo'lganda ikkilamchi chulg'am EYuK lari $E_{2.I} > E_{2.II}$ bo'ladi va qarama-qarshi yo'nalgan bu EYuK larning vektor yig'indisi tufayli natijaviy EYuK $\Delta E = E_{2.I} + E_{2.II}$ hosil bo'lib, u transformatorlar chulg'amlari orasida tenglashtiruvchi tok I_{teng} ni vujudga keltiradi:

$$I_{teng} = \Delta E / (Z_{qt.I} + Z_{qt.II}), \quad (6.7)$$

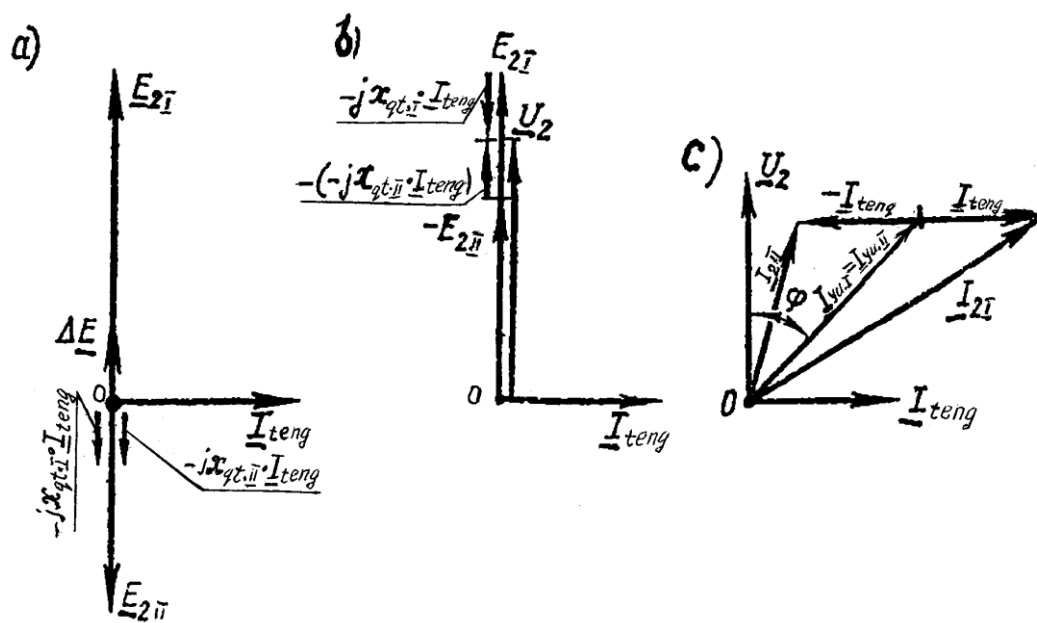
bu yerda Z_{qt} — to'la qisqa tutashuv qarshiligi; «I» indeks birinchi transformatorga, indeks «II» esa ikkinchi transformatorga tegishli. Odatda katta quvvatli transformatorlarda $(x_{qt.I} + x_{qt.II}) \gg (r_{qt.I} + r_{qt.II})$ bo'lganligidan $r_{qt.I}$ va $r_{qt.II}$ qarshiliklarini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Bu holda tenglashtiruvchi tok I_{teng} EYuK ΔE dan chorak davr (90°) ga orqada qoladi. Bu tok qiymati katta bo'lgan EYuK $E_{2.I}$ ga nisbatan induktiv bo'lib, qiymati kichik bo'lgan EYuK $E_{2.II}$ ga nisbatan esa sig'imiyydir (6.6,a-rasm).

Yuklama ulanganda I_{teng} tok yuklama toki I_{yu} ga geometrik qo'shiladi. Ikkilamchi chulg'am EYuK $E_{2,I}$ uning kuchlanishi $U_{2,I}$ dan katta ($E_{2,I} > U_{2,I}$) bo'lgan 1-transformator (TI) toki quyidagiga teng: $I_{2,I} = I_{yu,I} + I_{teng}$.

Agar tekshirilayotgan paytda 1-transformatorda I_{teng} tok chulg'am boshidan uning oxiriga o'tayotgan bo'lsa, 2-transformatorda esa u chulg'am oxiridan uning boshiga o'tadi va, shu sababli 2-transformator (TII) ning toki quyidagi tenglama bilan aniqlanadi, ya'ni $I_{2,II} = I_{yu,II} + I_{teng}$ (6.6,c-rasm).

I_{teng} tokning ta'siri tufayli transformatorlarda toklar tengsizligi ($I_{2,I} > I_{2,II}$) hosil bo'ladi. Bunday sharoitda 1-transformator TI o'ta yuklanib, 2-transformator TII ning yuklamasi esa me'yoridan kam bo'ladi.

Transformator (TI) ikkilamchi chulg'amida I_{teng} toki vujudga keltirgan kuchlanish pasayishi ($-jx_{qt,II} \cdot I_{teng}$) EYuK $E_{2,II}$ ga qarama-qarshi yo'nalgan, transformator (TII) ikkilamchi chulg'amida tenglashtiruvchi tok tufayli vujudga kelgan kuchlanish pasayishi vektori ($-jx_{qt,II} \cdot I_{teng}$) esa EYuK vektori $E_{2,II}$ bilan mos yo'nalgan. Natijada transformatorlarning ikkilamchi chulg'amlarida $E_{2,I} > U_2 > E_{2,II}$ bo'lgan holda umumiy kuchlanish U_2 barqaror bo'ladi (6.6,b-rasm).



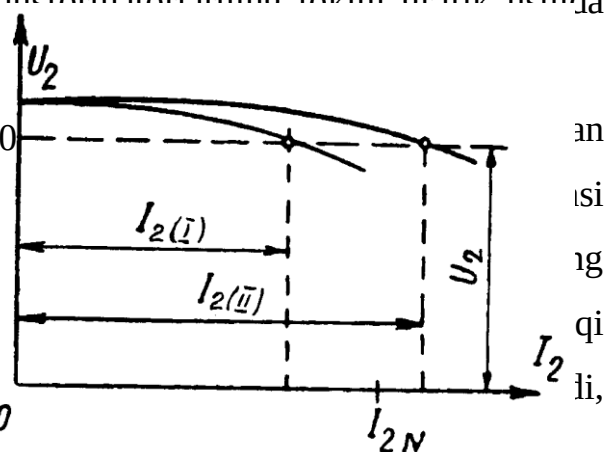
6.6-rasm. Transformasiyalash koefissentlari har xil bo'lgan ikkita kuch transformatorining parallel ishlashiga oid vector diagrammalar: (a – salt ishlashdagi vector diagramma; b – ikkilamchi chulg'am kuchlanishini aniqlash; c – I va II transformatorning toklarini aniqlash)

Qisqa tutashuv kuchlanishi bir xil bo'lmagan transformatorlarning parallel ishlashi. Agar $k_{\ell.I} = k_{\ell.II}$ va chulg'amlarining ulanish guruhlarini bir xil bo'lib, qisqa tutashuv kuchlanishlari teng bo'lmagan ($u_{qt.I} \neq u_{qt.II}$) ikkala transformatorni parallel ishlashga ulaganda yuklama oshirilsa, qisqa tutashuv kuchlanishi kam bo'lgan transformator ikkinchisiga nisbatan oldin nominal quvvatiga erishadi. Umuman, parallel ishlayotgan transformatorlar orasida yuklama ularning qisqa tutashuv kuchlanishlariga teskari mutanosiblikda taqsimlanadi:

$$(S_I / S_{I.N}) : (S_{II} / S_{II.N}) = u_{qt.II} / u_{qt.I}. \quad (6.8)$$

TII ni ham nominal quvvatgacha yuklash maqsadida umumiy yuklama yana ham oshirilganda TI ning yuklamasi me'yordan oshib ketadi. Bu esa amaliyot uchun salbiy holdir. Parallel ishlatiladigan transformatorlar nominal quvvatlarining nisbati 3:1 dan katta bo'lmashligi kerak. Demak, qisqa tutashuv kuchlanishlari har xil bo'lgan transformatorlarni parallel ishlatishda ularning o'rnatilgan quvvatidan to'la foydalanib bo'lmay ekan. Agar tashqi xarakteristikalar ma'lum bo'lsa, berilgan ikkilamchi chulg'am kuchlanishi kattaligi bo'yicha parallel ishlayotgan transformatorlarning tekini grafik usulda aniqlash mumkin (6.7-rasm).

Umumiy yuklama ulanganda qisqa tutashuv kuchlanishi kam bo'lgan transformatorning kuchlanishi pasayishi k...



masalan, $u_{qt.I} < u_{qt.II}$ bo'lganda $I_{2.I} > I_{2.II}$ ga ega bo'ladi.

Chulg'amlarning ulanish guruhlarini har xil bo'lgan transformatorlarning parallel ishlashi. Aytaylik, chulg'amlari Y/Y-0 va Y / Δ -11 ulangan birlamchi va ikkilamchi nominal kuchlanishlari bir xil ($U_{1N.I} = U_{1N.II}$; $U_{2N.I} = U_{2N.II}$) bo'lgan ikkita transformator parallel ishlash uchun ulangan. Unda ikkilamchi chulg'amlar mos fazalarining EYuK lari $E_{2.I}$ va $E_{2.II}$ kattaligi jihatdan teng, lekin fazasi 30°

siljigan (6.8-rasm). Ikkilamchi chulgʻamlar ulangan konturda bu EYuK larning ayirmasi taʼsir qilib, uning kattaligi:

$$\Delta E = 2 E_2 \sin(30/2) \approx 0,52 E_2. \quad (6.9)$$

Hosil boʻlgan ΔE taʼsirida transformatorlarning ikkilamchi chulgʻamlaridan tenglashtiruvchi tok $I_{teng,2}$ oʻtib, bu esa, birlamchi chulgʻamlardan ham tenglashtiruvchi tok $I_{teng,1}$ oʻtishiga sababchi boʻladi.

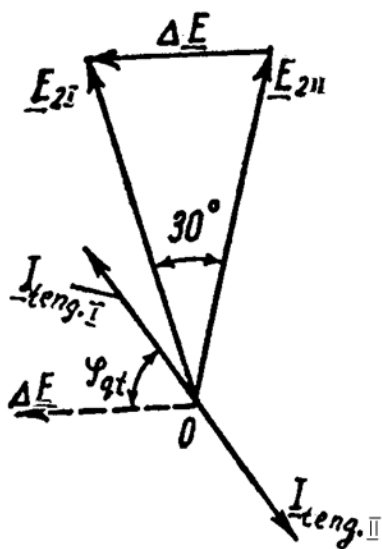
Uning kattaligi:

$$I_{teng} = \Delta E / (Z_{qt,I} + Z_{qt,II}). \quad (6.10)$$

Agar, masalan, ishlayotgan ikkita transformatorning quvvatlari bir xil va nisbiy birliklardagi toʻla qisqa tutashuv qarshiliklari va kuchlanishlari $Z_{qt,I}^* = Z_{qt,II}^* = u_{qt,I}^* = u_{qt,II}^* = 0,05$ boʻlsa, unda I_{teng} / I_N nisbat quyidagiga teng boʻladi:

$$I_{teng} = 0,52 / (2 \cdot 0,05) \approx 5,2.$$

Demak, salt ishlash rejimda ham I_{teng} tok nominal tokka nisbatan taxminan 5,2 marta katta boʻlar ekan. Bu esa qisqa tutashuv holati bilan baravardir.



Demak, har xil guruhdagi transformatorlarni parallel ishlashga ulash mumkin emas ekan.

Nazorat savollari

1. Uch fazali transformatorida ulanish guruhi qanday aniqlanadi?
3. Ulanish guruhi tajriba yoʻli bilan qanday aniqlanadi?

4. Transformatorlarni parallel ishlatishning ahamiyati nimada?
5. Qanday shartlar bajarilganda transformatorlarni parallel ulash mumkin?

7-Bob. Uch chulg'amli transformatorlar. Avtotransformatorlar

7.1§. Uch chulg'amli transformatorlar

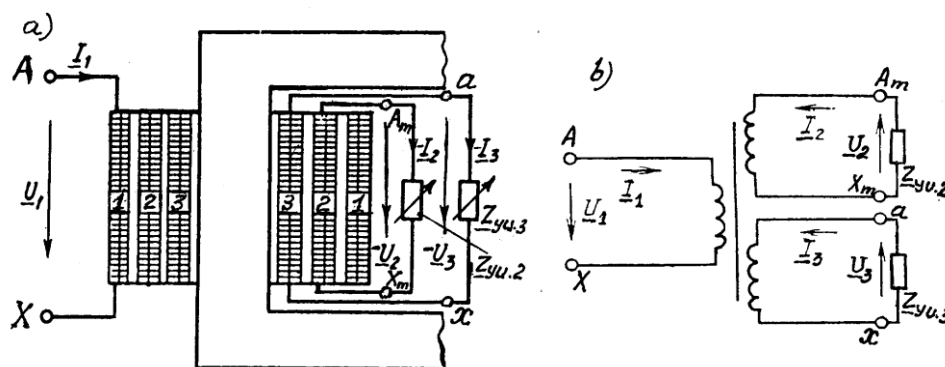
Uch chulg'amli transformatorlarda o'zakka o'rnatilgan o'zaro elektr ravishda ulanmagan uchta chulg'am bo'ladi. Agar transformator pasaytiruvchi bo'lsa, ulardan eng YuK chulg'am birlamchi chulg'am bo'ladi, qolgan ikkitasi esa ikkilamchi chulg'am hisoblanadi. Uch chulg'amli transformatorning ishlash prinsipi ikki chulg'amli oddiy transformatorning ishlash prinsipidan farq qilmaydi. Birlamchi chulg'amga o'zgaruvchan tok berilganda magnit o'tkazgichda o'zgaruvchan magnit oqim hosil bo'lib, uning kuch chiziqlari ikkinchi va 3-chulg'amlarni kesib o'tishi tufayli, ularda mos ravishda E_2 va E_3 EYuK lar hosil bo'ladi. Ikkinchi va 3-chulg'amlarga yuklama ulansa shu chulg'amlardagi EYuK lar ta'sirida ulardan mos ravishda I_2 va I_3 toklar o'tib, chulg'amlarning chiqish uchlarida tegishli U_2 va U_3 kuchlanishlar yuzaga keladi (7.1-rasm).

Uch chulg'amli transformatorning magnit yurituvchi kuchlari muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$I_0 w_1 \approx I_1 w_1 + I_2 w_2 + I_3 w_3. \quad (7.1)$$

Bu tenglamaning chap va o'ng tomonini w_1 ga bo'lib, $I_2 \cdot w_2 / w_1 = I'_2$ va $I_3 \cdot w_3 / w_1 = I'_3$ belgilashlar kiritgandan keyin uch chulg'amli transformator toklarining muvozanat tenglamasini hosil qilamiz:

$$I_0 \approx I_1 + I'_2 + I'_3. \quad (7.2)$$



7.1-rasm. Uch chulg'amli pasaytiruvchi transformator o'zagida chulg'amlarni joylashtirilishi (a) va prinsipial sxemasi (b)

Umumiy maqsadli uch chulg'amli kuch transformatorlari katta quvvatlar ($6300 \div 80\,000$ kV·A)ga va yuqori kuchlanishlar ($35 \div 220$ kV)ga mo'ljallab tayyorlanadi. 7.2-rasmda shunday transformatorlardan TDT-16000/110 tipi ko'rsatilgan. Bunday transformatorlarda salt ishlash toki I_0 nominal tok I_{1N} ning juda ham kam qismi ($0,5 \div 1,2\%$) ni tashkil qilganligidan, uni e'tiborga olmagan ($I_0 \approx 0$) holda, uch chulg'amli transformator toklarining muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$I_1 \approx - (I'_2 + I'_3). \quad (7.3)$$

Uch chulg'amli transformatorning afzalligi shundaki, ayrim hollarda elektr stansiyasida yoki transformator podstansiyasida kuchlanishi har xil bo'lgan ikkita ikki chulg'amli kuch transformatori o'rniga bitta uch chulg'amli transformator ishlatish mumkin. Bu holda transformator o'rnatish uchun kam joy talab qilinadi, energiya isroflari nisbatan kamayadi va podstansiya tannarxi arzonlashadi.

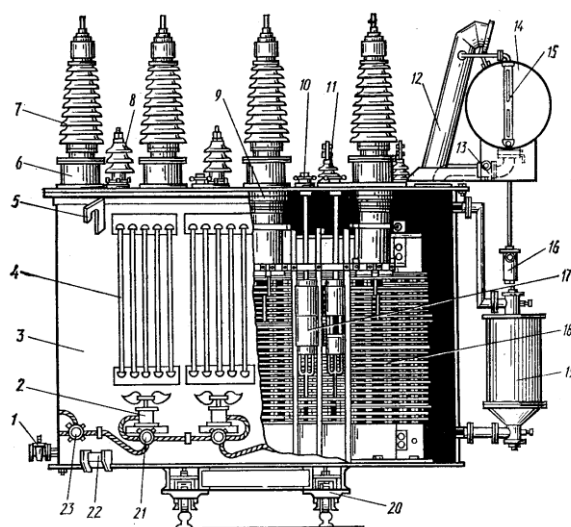
Uch chulg'amli transformatorlarda barqaror elektromagnit jarayonlar ikki chulg'amli transformatornikiga o'xshash holda quyidagi tenglamalar tizimi orqali ifodalanadi:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{a) } U_1 = -E_1 + I_1 Z_1; & \text{b) } U'_2 = E'_2 - I'_2 Z'_2; \\ \text{c) } U'_3 = E'_3 - I'_3 Z'_3; & \text{d) } I_0 = I_1 + I'_2 + I'_3, \end{array} \right\} \quad (7.4)$$

bu yerda: $Z_1 = r_1 + jx_1$, $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$, $Z'_3 = r'_3 + jx'_3$ – transformator chulg'amlarining tegishli to'la qarshiliklari; $I'_2 = I_2 \cdot w_2 / w_1$ va $I'_3 = I_3 \cdot w_3 / w_1$ – birlamchi chulg'am o'ramlar soniga keltirilgan ikkinchi va 3-chulg'am toklari.

Salt ishlash toki $I_0 \ll I_{1N}$ bo'lganligidan magnitlanish shoxobchasini hisobga olmagan holdagi uch chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi 7.3-rasmda ko'rsatilgan. Mazkur sxema transformatorning parametrlari ma'lum bo'lganda va yuklamaning qarshiliklari berilgan bo'lsa transformator chulg'amlarining toklari va kuchlanishlarini hamda ulardagi isroflarni aniqlashga imkon beradi.

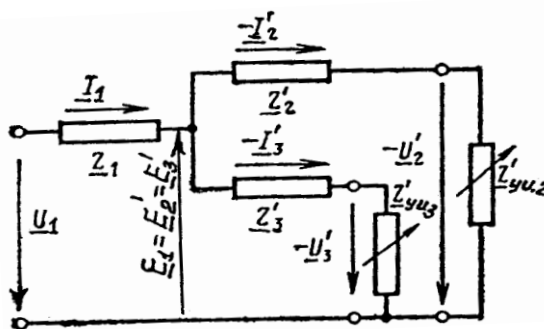
Ikkilamchi chulg'amlari orasidagi magnit bog'lanish ularning o'zaro birbiriga ta'sir etishiga sababchi bo'ladi. Masalan, 2-chulg'am toki I_2 ning o'zgarishidan faqat uning kuchlanishi U_2 o'zgarib qolmasdan, birlamchi chulg'am toki I_1 va 1-chulg'am to'la qarshiligidagi kuchlanish tushishi ($I_1 Z_1$) ning o'zgarishi tufayli 3-chulg'am kuchlanishi U_3 ning qiymatiga ham ta'sir qiladi.



7.2-rasm. Quvvati 16 MV·A, 110 / 38,5 / 11 kV, TDT–16000/110 tipli uch fazali uch chulg'amli transformator: (1 – jumrak; 2 – ventilyator; 3 – bak; 4 – radiator; 5 – ilgich; 6 – tok transformatori bilan o'tish flanetsi; 7 – yuqori kuchlanish uchun o'tish izolyatori; 8 – o'rta kuchlanish (38,5 kV) o'tish izolyatori; 9 – 110 kV o'tish izolyatorining qog'oz-bakelit silindri; 10 – PBV qayta ulagichi yuritmasi; 11 – past kuchlanish (11 kV) o'tish izolyatori; 12 – chiqaqarish trubasi; 13 – gaz relesi; 14 – kengaytirgich; 15 – moy ko'rsatkich; 16 – havo quritkich; 17 – YuK chulg'am qayta ulagichi; 18 – YuK chulg'am (110 kV); 19 – termosifonli filtr; 20 – transformatorni siljitish uchun aravacha; 21 – taqsimlash qutichasi; 22 – domkrat o'rnatish uchun tokcha; 23 – bosh quticha.

Uch chulg'amli transformatorning transformatsiyalash koeffitsientlari ($k_{1.2}$, $k_{1.3}$, $k_{2.3}$) uning salt ishlash tajribasidan aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} k_{1.2} &\approx U_1/U_2, & k_{1.3} &\approx U_1/U_3, \\ k_{2.3} &\approx U_2/U_3 = (U_2/U_1)/(U_3/U_1) = k_{1.3}/k_{1.2}, \end{aligned} \right\} \quad (7.5)$$



7.3-rasm. Uch chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi

Uch chulg'amli transformatorlarda qisqa tutashuv tajribasini o'tkazish tartibi ikki chulg'amli transformator tajribasidan farq qilmaydi. Ctanda tavsiyasi bo'yicha zamonaviy uch chulg'amli kuch transformatorlarida chulg'amlarining quvvatlari har bittasi 100 foiz quvvatga mo'ljallab tayyorlanadi. Bunda transformator 100 foiz quvvatni ikkilamchi chulg'amlardan bittasiga beradi yoki bu quvvat ikkinchi va 3-chulg'am quvvatlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

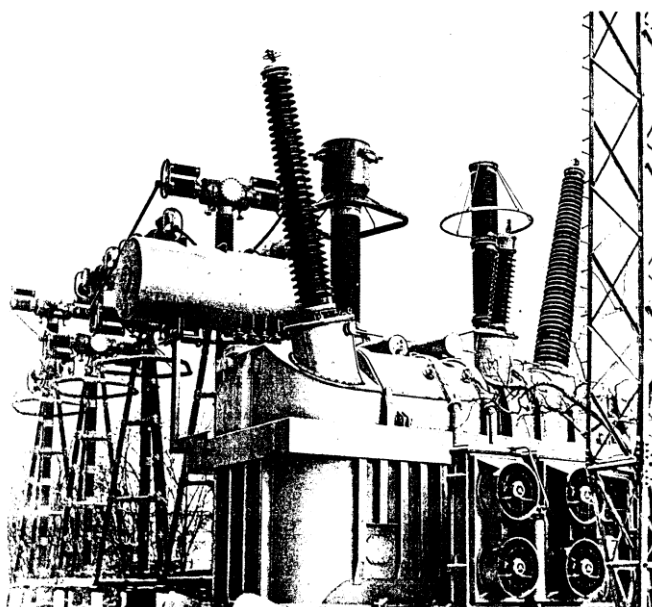
Chulg'amlarning o'zakda joylashtirish ketma-ketligi transformator qisqa tutashuv kuchlanishlari qiymatiga ta'sir qiladi. Masalan, TDTN-40000/220 tipli katta quvvatli transformatorlarda chulg'amlar o'zakda PK–O'K–YuK ketma-ketlikda joylashtirilganda ularning qisqa tutashuv kuchlanishlari $u_{qt.(1.2)} = 12,5$, $u_{qt.(1.3)} = 22,0$ va $u_{qt.(2.3)} = 9,5$ foizlarga teng bo'ladi.

Standart tavsiyasi bilan uch fazali uch chulg'amli transformatorlarda $Y_n / Y_n / \Delta - 0 - 11$ yoki $Y_n / \Delta / \Delta - 11 - 11$, bir fazali uch chulg'amli transformatorlarda esa $I/I/I - 0 - 0$ guruhlar ishlatiladi.

7.2§. Avtotransformatorlar

Chulg'amlari elektromagnit bog'lanishdan tashqari elektr bog'lanishga ham ega bo'lgan transformatorning bir turiga avtotransformator deb ataladi. Transformatorlarda birlamchi chulg'amdan ikkilamchi chulg'amga to'la energiya elektromagnit vositasida berilsa, avtotransformator (AT)da to'la energiyaning bir qismigina shu yo'l bilan uzatilib, energiyaning boshqa qismi esa uning birlamchi va ikkilamchi zanjirlari elektr jihatdan ulanganligi tufayli bevosita beriladi.

Bu AT da elektr energiyani uzatish usulining o'ziga xos xususiyati hisoblanadi. AT lar kuchlanishni pasaytiruvchi va oshiruvchi, bir fazali va uch fazali, ikki chulg'amli va uch chulg'amli turlarga bo'linadi. Agar AT chulg'amining "AX" uchlarini tarmoqqa ulab, uning "ax" qismiga iste'molchi ulansa – pasaytiruvchi AT (7.4-rasm), agarda "ax" qismini tarmoqqa ulab, "AX" uchlariga iste'molchi ulanganda – oshiruvchi AT bo'ladi. Kam quvvatli (masalan, kuchlanishni rostlagich) AT ning bitta chulg'ami bo'lib, uning bir qismi ikkilamchi (yoki birlamchi) chulg'am vazifasini bajaradi. Bu holda chulg'am sirtidan sirpanuvchi kontaktlar yordamida ikkilamchi chulg'am o'ramlari sonini o'zgartirib kuchlanish rostlanadi. Katta quvvatli yuqori kuchlanishli AT lar uchun chulg'amlarning bunday konstruksiyasi to'g'ri kelmaydi, chunki kontaktlar katta tok yuklamasiga bardosh bera olmaydi.



7.4-rasm. Elektr energetika tizimida ekspluatasiya uchun o'rnatilgan kata quvvatli yuqori kuchlanishli avtotransformatori

Shu sababli katta quvvatli AT larda elektr jihatdan ulangan o'zakda bir xil balandlikda joylashtirilgan ikkita chulg'ami bo'ladi (7.5-rasm). AT ni amaliyotda bajaradigan vazifasi nuqtai nazardan o'rganish muhim ahamiyat kasb etadi, chunki bunda ularning o'ziga xos xususiyatlari to'la ra-vishda namoyon bo'ladi.

Ishlash prinsipi. AT ning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayon odatdagi transformatornikidan farq qilmaydi. Yuklama ulanmagan pasaytiruvchi AT ning (7.4-rasm) "AX" chulg'amiga (o'ramlar soni W_{AX}) o'zgaruvchan kuchlanish U_1 berilganda undan salt ishlash toki $I_{0,A}$ o'tib, transformatoridagi singari o'zinduksiya EYuK E_1 ni hosil qiladi. Salt ishlashda shu chulg'amning yuklama ulanadigan (o'ramlar soni W_{ax}) qismidagi EYuK E_{ax} kelib chiqishiga ko'ra o'zinduksiya EYuK bo'lib, E_{AX} ning bir qismini tashkil etadi (Izoh: Transformator ikkilamchi chulg'amida esa o'zaro induksiya EYuK hosil bo'ladi).

Salt ishlash rejimdan AT ning transformatsiyalash koeffitsienti k_A , salt ishlash toki $I_{0N,A}$, isroflari $\Delta P_{0N,A}$ va almashtirish sxemasining parametrlarini aniqlash mumkin. AT ning transformatsiyalash koeffitsienti k_A quyidagicha aniqlanadi:

$$k_A = E_{YK}/E_{PK} = W_{AX}/W_{ax} \approx U_1/U_2 . \quad (7.7)$$

Pasaytiruvchi AT ga yuklama ulanganda chulg'amining birlamchi zanjiridan I_1 , ikkilamchi zanjiridan esa $I_2 > I_1$ tok o'tadi. Bu holdagi AT ning MYuK muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$I_1 w_1 + I_2 w_2 = I_0 w_1, \quad (7.8)$$

bu yerda I_0 – «A-X» chulg'amdan o'tuvchi magnitlovchi tok.

$I_1 = I_0 - I_2/k_A$ tok chulg'amning faqat "A-a" qismidan o'tib, ikkala chulg'am uchun umumiy bo'lgan "a-x" qismidan esa I_1 va I_2 toklarning geometrik yig'indisiga teng bo'lgan tok o'tadi.

$$I_{ax} = I_1 + I_2 = I_0 - I_2 \cdot k_A + I_2 = I_0 + I_2 (1 - 1/k_A) \quad (7.9)$$

I_1 va I_2 toklar faza jihatdan deyarli 180° bo'lgani tufayli ($I_0 \approx 0$) ularni algebraik ayirma ko'rinishida yozish mumkin:

$$I_{ax} = I_2 - I_1. \quad (7.10)$$

Bundan ko'rinishicha, pasaytirilgan AT chulg'amining umumiy qismi "a-x" bo'yicha o'tayotgan tok I_{ax} birlamchi zanjir toki I_1 ga teskari, ikkilamchi zanjir toki I_2 bilan esa mos yo'nalgan bo'ladi.

Agar AT ning transformatsiyalash koeffitsienti 1 ga yaqin bo'lsa, I_1 va I_2 toklar bir-biridan kam farq qilib, ularning ayirmasi kichik qiymatni tashkil etadi. Bu hol AT chulg'amining umumiy (a-x) qismini kesim yuzasi kichik bo'lgan simdan tayyorlashga imkon beradi.

AT da chulg'am ikkilamchi zanjirining chiqishidagi to'la quvvat S_2 ni "o'tuvchi quvvat (S_{ot})" deyiladi. Bundan tashqari, birlamchi zanjirdan ikkilamchisiga magnit maydoni vositasida uzatiladigan hisobiy ($S_h = S_{em}$) quvvat ham mavjuddir. Buni hisobiy quvvat deyilishiga sabab shuki, ATning gabarit o'lchamlari va og'irligi shu quvvat kattaligiga bog'liq bo'ladi.

Demak, AT da hisobiy quvvat o'tuvchi quvvatning bir qismini tashkil etib, qolgan qismi esa elektr bog'lanish hisobiga chulg'amning birlamchi zanjiridan ikkinchisiga uzatiladi, ya'ni:

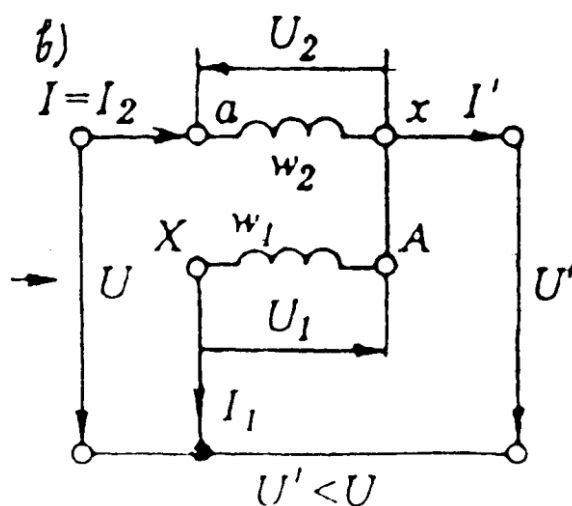
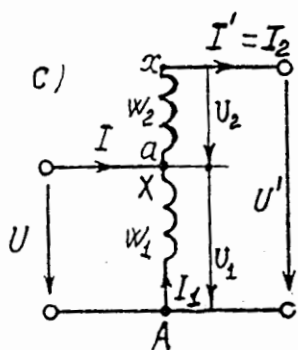
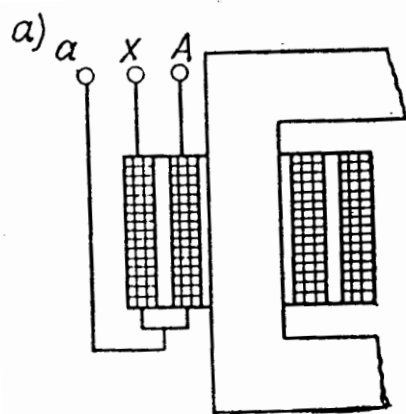
$$S_{ot} = S_e + S_h. \quad (7.11)$$

Katta quvvatli AT lar ish jarayonining o'ziga xos xususiyatlari. Katta quvvatli AT larda elektr jihatdan ulangan ikkita (parallel va ketma-ket) chulg'ami bo'ladi. 7.5,c-rasmda PK (U) kirish tarmog'idan kuchlarni bir fazali oshiruvchi AT ning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. AT da o'ramlar soni w_1 bo'lgan bitta chulg'ami (ko'rilyotgan holda PK) elektr tarmoqqa parallel ulanib, o'ramlar soni w_2 bo'lgan ikkinchi chulg'ami esa unga ketma-ket ulanadi.

Elektroenergetika tizimlarini bog'lovchi katta quvvatli AT larda chulg'amlarni «birlamchi» va «ikkilamchi» deb atalishi shartli ravishdagi tushunchadir, chunki bunday AT larning qaysi chulg'amiga energiya kiritilishini, qay-si biridan esa uning chiqarilishini ajratib olishning iloji bo'lmaydi. Shu sababli YuK yoki PK tarmoq kuchlanishiga bevosita ulangan chulg'amni «umumiy (yoki parallel)» chulg'am deb, energiya manbaiga yoki iste'molchiga ketma-ket ulangan chulg'amni esa «ketma-ket» chulg'am deb atalsa maqsadga muvofiq bo'ladi. Umumiy chulg'am uchlarining boshi va oxirlarini «A», «X», unga tegishli kattaliklarni «1» indeksi bilan, ketma-ket chulg'am uchlarining boshi va oxirlarini «a», «x», unga oid kattaliklarni esa «2» indeksi bilan belgilaymiz. Bu chulg'amlar o'zakda birining tashqarisiga ikkinchisi qurshalgan holda joylashtiriladi (7.5,a-rasm).

Ketma-ket chulg'amda hosil bo'ladigan EYuK E_2 tufayli AT ning birlamchi va ikkilamchi tomonlarida har xil (U va U') kuchlanish olish mumkin bo'ladi. Oshiruvchi AT da ketma-ket chulg'amni kirish tarmog'ining «x» uchiga shunday ulash lozimki, bunda uning kuchlanishi U_2 birlamchi tarmoq kuchlanishi U ga qo'shilib, uni U' gacha oshirsin, ya'ni:

$$U' = U + U_2. \quad (7.12)$$



7.5-rasm. Katta quvvatli AT o'zagida chulg'amlarning joylashtirilishi (a) va oshiruvchi ATning prinsipial sxemasi, (b) hamda chulg'amning bir qismi ikkilamchi chulg'am vazifasini kam quvvatli bir fazali pasaytiruvchi ATning prinsipial sxemasi (c)

AT ning ketma-ket chulg'ami kirish va chiqish tarmoqlari bilan kontaktda bo'lgani tufayli uning izolyatsiyasi YuK tarmoq kuchlanishi (U')ga mo'ljallab hisoblanishi lozim. AT dagi asosiy elektromagnit jarayonlarni oydinlashtirish maqsadida undagi kam qiymatli salt ishlash isroflari, kuchlanish pasayishlari va magnitlovchi tokni e'tiborga olmagan holda quyidagi nisbatni yozish mumkin:

$$U/U' = E_1/(E_1 + E_2) = 1 / (1 + 1 / k_W), \quad (7.13)$$

bu yerda

$$k_W = E_1/E_2 = w_1/w_2 \quad (7.14)$$

– AT da chulg'amlar o'ramlari sonlarining nisbati orqali ifodalangan transformatsiyalash koeffitsienti.

Shunday qilib, kuchlanishni o'zgartirish (oshirish yoki pasaytirish) harakteri odatdagi kuch transformatorida chulg'amlar o'ramlari sonlarining nisbati orqali aniqlansa, kuch avtotransformatorida bu xarakter chulg'amlarni elektr ulash sxemasiga bog'liq bo'ladi. Albatta, U/U' nisbatga chulg'amlar o'ramlari sonlarining nisbati ham ta'sir qiladi. Shuning uchun AT da ikkita transformatsiyalash koeffitsientining farqiga borish zarur:

1) chulg'amlar o'ramlari sonlarining nisbati (7.14) bilan aniqlanadigan transformatsiyalash koeffitsienti k_W ;

2) salt ishlashda ($I' = I_2 = 0$) AT ga kirishdagi (U) va undan chiqishdagi (U') tarmoq kuchlanishlari kattaliklarining nisbati bilan aniqlanadigan transformatsiyalash koeffitsienti k_U :

a) pasaytiruvchi AT uchun (7.5,b-rasm) –

$$k_U = 1 + 1/k_W > 1. \quad (7.15)$$

b) oshiruvchi AT uchun (7.5, c-rasm) –

$$k'_U = U/U' = k_W/(1 + k_W) < 1 ; \quad (7.16)$$

AT ning barqaror ish rejimi elektromagnit jarayonlari quyidagi tenglamalar tizimi bilan xarakterlanadi:

$$\left. \begin{array}{ll} a) \underline{U}_1 = \underline{E}_1 - \underline{I}_1 \underline{Z}_1, & b) \underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 \underline{Z}_2, \\ c) \underline{I}_1 + \underline{I}_2 / k_w = \underline{I}_0, & d) \underline{E}_1 = \underline{E}_2 k_w. \end{array} \right\} \quad (7.17)$$

AT ni ishlab chiqarish uchun materiallar sarfi, uning gabaritlari va tannarxi odatdagi transformatoridagi kabi elektromagnit quvvat S_{em} orqali aniqlanadi. Kirishdagi (U) va chiqishdagi (U') tarmoq kuchlanishlari nisbati $U'/U=1,25 \div 2,5$ bo'lgan hollarda AT ni elektroenergetika tizimlarida katta quvvatli elektr tarmoqlarni biriktirishda o'zgartirgich sifatida qo'llanilganda katta samara beradi. AT ning ikkilamchi tomonidagi kuchlanish o'zgarishi ikki chulg'amli transformator uchun ishlatilgan formulalar bo'yicha hisoblanadi, chunki AT ning almashtirish sxemasi transformatornikiga o'xshash bo'lib, faqat parametrlarining kichikligi bilan farqlanadi. Katta quvvatli AT larda FIK $\eta = 99,5 \div 99,7$ foizga teng.

Uch fazali ikki chulg'amli AT ning fazaviy chulg'amlari «yulduz» sxemasi bo'yicha ulanadi; uch chulg'amli katta quvvatli AT ning PK chulg'ami esa «uchburchak» sxemasi bo'yicha ulanadi.

Uch chulg'amli AT da PK chulg'amning asosiy vazifasi elektr uzatish liniyasini tokning 3-garmonikasidan himoya qilishdan iborat. Uni alohida tarmoqqa ulab manba sifatida ishlatib bo'lmaydi; faqat ayrim hollarda elektr ta'minoti tizimi quvvat koeffitsienti $\cos \phi$ ni oshirish maqsadida sinxron kompensator yoki zarur bo'lganda reaktor ulash mumkin, xolos.

AT larning afzalliklari quyidagilardan iborat:

- 1) aktiv (mis, elektrotexnik po'lat) va izolyatsion materiallar kam sarflanadi;
- 2) gabarit o'lchamlari nisbatan kichik; 3) FIK nisbatan katta, tannarxi esa arzon.

Kuch AT lari katta quvvatli sinxron va asinxron motorlarni ishga tushirishda hamda yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida bir-biriga yaqin, masalan, 110 va 220 kV; 220 va 500 kV kuchlanishli elektr tizimlarini bog'lashda qo'llaniladi.

AT ning transformatsiyalash koeffitsienti $k_w > 2,5$ bo'lsa hal qiluvchi hisoblanadigan quyidagi kamchiliklarga ega bo'ladi:

1) pasaytiruvchi AT da I_{qt} ning katta bo'lishi; 2) yuqori kuchlanish tomonining past kuchlanish tomoni bilan elektr jihatdan ulanganligi sababli, butun chulg'am izolyatsiyasining juda katta elektr mustahkamlikka ega bo'lishini talab etadi; 3) pasaytiruvchi katta quvvatli AT larda past kuchlanish tarmog'ining simlari bilan yer orasida xavfsiz ishlatish shartlariga aslo to'g'ri kelmaydigan katta kuchlanish paydo bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Uch chulg'amli transformator qanday ishlaydi?
2. Uch chulg'amli transformatorning qanday afzalliklari bor?
3. AT ning o'ziga xos xususiyatlari nimalardan iborat?
4. AT ning afzalliklari nimalardan iborat?

* * *

8-Bob. Ikki chulg'amli transformatorlarning nosimmetrik ish rejimlari.

Transformatorlarda o'tish jarayonlar.

8.1§. Ikki chulg'amli transformatorlarning nosimmetrik ish rejimlari

Uch fazali transformatorlarni elektr ta'minoti tizimlarida ishlatish jaryonida nosimmetrik ish rejimlari tez uchrab turadi. Bunga transformator fazalariga ulanadigan bir fazali iste'molchilarning har xil taqsimlanishi, ya'ni fazalarga ulanadigan elektr yoritgich chiroqlari yuklanishining notekisligi, katta quvvatli bir fazali iste'molchilarga kiradigan payvandlash transformatorlari, induksion pechlar, nosimmetrik qisqa tutashuvlar sababchi bo'ladi.

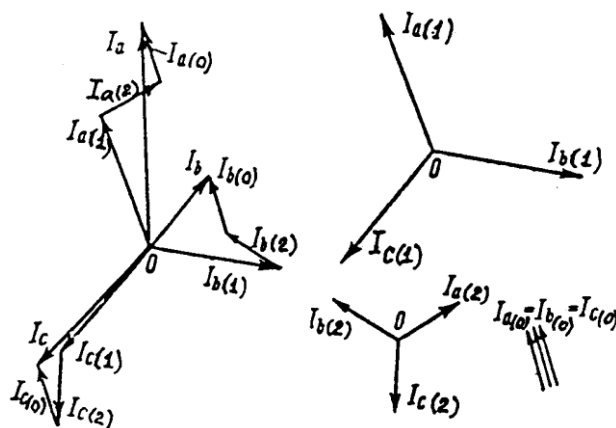
Fazalardagi yuklama tokining nosimmetrik bo'lishi liniya va faza kuchlanishlarini ham nosimmetrik qilib, iste'molchilarga salbiy ta'sir qiladi. Masalan, o'zgaruvchan tok motoriga nosimmetrik kuchlanish berilsa, uning

quvvati kamayadi; elektr yoritgich chiroqlarining yoritishi yomonlashadi va boshqalar. Transformatorning o'zida esa qo'shimcha isroflar hosil bo'lib, uning FIK kamayadi va qizishi oshadi. Shu sababli transformatorning nosimmetrik rejimlarini o'rganish katta amaliy ahamiyat kasb etadi.

Simmetrik tashkil etuvchilar usuli. Nosimmetrik ish rejimlarini tekshirishda simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalaniladi. Birlamchi chulg'am kuchlanishlari simmetrik bo'lib, katta quvvatli elektr tarmog'iga ulangan uch fazali transformatorning ikkilamchi toklari nosimmetrik bo'lganda nosimmetrik uch fazali toklar, kuchlanishlar va magnit oqimlar tizimini uchta simmetrik tizim, ya'ni fazalarning to'g'ri, teskari va nol ketma-ketliklariga ajratish mumkin (8.1-rasm).

Transformator nosimmetrik yuklama bilan ishlaganda fazaviy toklarining qiymati har xil bo'ladi va ularning fazalariaro siljish burchagi 120° ga teng bo'lmaydi.

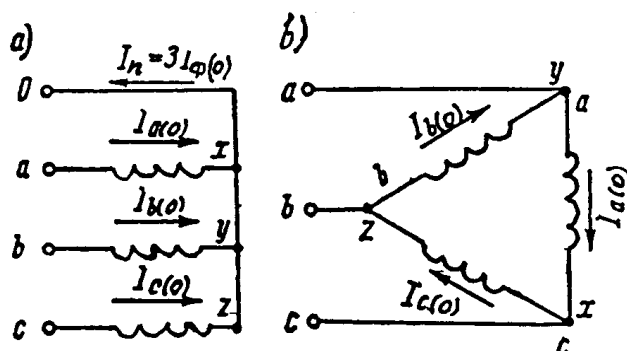
8.1-rasmda: I_a , I_b , I_c – nosimmetrik toklar tizimi; $I_{a(1)}$, $I_{b(1)}$, $I_{c(1)}$ – to'g'ri ketma-ketlikli simmetrik toklar tizimi (bundagi toklarning moduli o'zaro teng); $I_{a(2)}$, $I_{b(2)}$, $I_{c(2)}$ – teskari ketma-ketlikli simmetrik toklar tizimi (bundagi toklar ham modul jihatdan o'zaro teng va ularning fazalar ketma-ketligi teskari); $I_{a(0)}$, $I_{b(0)}$, $I_{c(0)}$ – nol ketma-ketlikli toklar tizimi (bunda toklar modul jihatdan teng bo'lib, o'zaro siljish burchagi esa 0° ga teng, ya'ni fazalari mos tushadi).



8.1-rasm. Nosimmetrik toklar sistemasini simmetrik tashkil etuvchilarga ajratish

Nol ketma-ketlikli toklarning qiymati hamma fazalarda o‘zaro teng va yo‘nalishlari bir xil bo‘lgani tufayli, bunday kontur faqat transformator chulg‘ami «yulduz (Y)» sxemasiga ulanib nol simi tashqariga chiqarilgan bo‘lgandagina mavjud bo‘ladi. Bu holda fazalarning nol ketma-ketlikli toklari nol simi orqali tutashadi (8.2,a-rasm). Chulg‘amning nol simidagi toki I_n fazaning nol ketma-ketlikli toki $I_{f(0)}$ ga nisbatan uch marta katta bo‘ladi:

$$I_n = I_a + I_b + I_c = 3I_{f(0)}. \quad (8.1)$$



8.2-rasm. «Nol simli yulduz» (a) va «uchburchak» (b) sxemalari bo‘yicha ulangan chulg‘amlarda nol ketma-ketlikli toklar

Agar transformatorning nol nuqtasi zaminlangan (erga ulangan) bo‘lsa, nol simi vazifasini yer bajarishi mumkin. Nol simli Y ulanishdan boshqa hamma ulanish sxemalarida ikkilamchi chulg‘am liniyaviy toklari tarkibida nol ketma-ketlikli tashkil etuvchilari bo‘lmaydi va bunda nosimmetrik toklar tizimini simmetrik toklar tizimiga ajratganda to‘g‘ri va teskari ketma-ketlikli toklar bo‘ladi, xolos. Nol ketma-ketlikli toklar bo‘lmaganda simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalanmasdan, har bitta fazaviy chulg‘amni mustaqil transformator sifatida alohida qarash mumkin.

Ikkilamchi chulg‘amida nol ketma-ketlikli toklari bo‘lgan nosimmetrik yuklama. Bunday hol faqat ikkilamchi chulg‘am Y sxemasiga ulanib, nol simi tashqariga chiqarilganda yuzaga keladi. Bu toklarning transformator ishlariga ta’siri birlamchi chulg‘am qanday (Y yoki Δ) sxemaga ulanganligiga bog‘liq bo‘ladi. Quyida shu variantlarni alohida tahlil qilamiz.

1. Birlamchi chulg'am Y ga, ikkilamchi chulg'ami esa «nol simli yulduz (Y_0)» sxemasi bo'yicha ulanganda ikkilamchi chulg'amning keltirilgan toklari quyidagilarga teng bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}'_a &= \underline{I}'_{a(1)} + \underline{I}'_{a(2)} + \underline{I}'_{(0)}; \\ \underline{I}'_b &= \underline{I}'_{b(1)} + \underline{I}'_{b(2)} + \underline{I}'_{(0)}; \\ \underline{I}'_c &= \underline{I}'_{c(1)} + \underline{I}'_{c(2)} + \underline{I}'_{(0)}. \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

Birlamchi chulg'am Y sxemaga ulanganligidan nol ketma-ketlik tutashadigan kontur bu sxemada bo'lmaydi, va shu sababli, ikkilamchi chulg'amdagi nol ketma-ketlikli toklar birlamchi chulg'amga transformatsiyalanmaydi, ya'ni yuqori kuchlanishli chulg'amda $I'_{(0)} = 0$ bo'ladi. Transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi $I'_{(a)}$, $I'_{(b)}$, $I'_{(c)}$ va I_A , I_B , I_C toklar har bitta fazada ixtiyoriy vaqtda o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'lgani uchun, ular hosil qilgan MYuK lar o'zaro muvozanatlashadilar va shu sababli, transformator o'zagida magnit oqimini hosil qilmaydilar. Nol ketma-ketlikli $I'_{(0)}$ toklar faqat ikkilamchi chulg'amdan o'tadi va magnit jihatdan hech nima bilan muvozanatlashmaganligi tufayli ular magnitlovchi toklar bo'lib, transformator qo'shimcha magnit oqimi $F_{(0)}$ ni hosil qiladi. Bu magnit oqimlar hamma fazalarda bir xil va fazalari mos keladi.

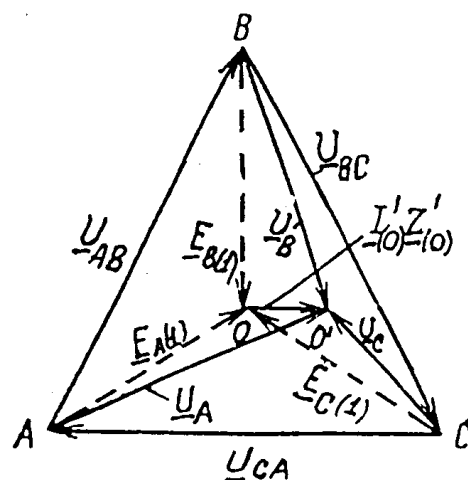
Uch sterjenli transformator qo'shimcha magnit oqimi $F_{(0)}$ o'zakdan o'tib, magnit qarshiligi katta bo'lgan oraliqlar orqali tutashadi va shu sababli, uning qiymati kichik bo'ladi. Nol ketma-ketlikli toklari va magnit oqimlarining namoyon bo'lishi transformatorning magnit to'yinishi tufayli hosil bo'ladigan 3-garmonika toklari va magnit oqimlarining namoyon bo'lishiga o'xshasada, ular orasida katta farqlar ham bor, ya'ni:

a) ularning hosil bo'lish tabiati har xildir. Nol ketma-ketlikli toklari yuklama tokining nosimmetrikligidan hosil bo'lsa, 3-garmonika toki esa magnitlanish xarakteristikasining egri chiziqli bo'lganligidandir;

b) nol ketma-ketlikli toklari vaqt o'tishi bilan tarmoq chastotasiga teng bo'lgan chastotada o'zgaradi, 3-garmonika toklari esa unga nisbatan 3 marta katta ($f_3 = 3f_1$) chastota bilan o'zgaradi.

Chulg'amlari Y/Y_0 sxema bo'yicha ulangan transformator kuchlanishlari uchburchagining «og'irlik markazi» deb nomlanadigan 0 nuqta Y/Y_0 sxemadagi nosimmetrik yuklamada shu markazdan siljiydi. Bu siljishning kattaligi nol ketma-ketlikli toklari faza chulg'aming to'la qarshiligi $Z_{(0)}$ da hosil qilgan $I_{(0)}Z_{(0)}$ kuchlanish tushishiga teng (8.3-rasm). $I'_{(0)} = 0$ bo'lsa diagramma 0 nuqtada bo'lib, $I'_{(0)} \neq 0$ bo'lganda esa, bu nuqta birorta 0' nuqtaga siljiydi.

8.3-rasm. CHulg'amlari Y/Y_0 sxemaga ulanganda nol ketma-ketlikli toklarning ta'siridan transformator fazaviy kuchlanishlar sistemasining buzilishini kursatuvchi vector diagramma



Bunga sabab Y/Y_0 sxemaga ulangan transformator ikkilamchi chulg'amidagi nol ketma-ketlikli toklari birlamchi chulg'am tomonidan muvozanatlashmay, o'zakni qo'shimcha magnitlaydi va ikkala chulg'amda nol ketma-ketlikli $E_{(0)}$ EYuK larni hosil qiladi. Ular birlamchi chulg'amdagi to'g'ri ketma-ketlikli EYuK lar bilan qo'shiladi:

$$E_A = E_{A(1)} + E_{(0)}; \quad E_B = E_{B(1)} + E_{(0)}; \quad E_C = E_{C(1)} + E_{(0)}. \quad (8.3)$$

Bu holda birlamchi chulg'am liniyaviy kuchlanishlari tizimi simmetrik holda qolsa ham birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar fazaviy kuchlanishlarining tengsizligi sezilarli darajada oshadi (8.3-rasm). Bu esa bir fazali energiya iste'molchilari uchun zararlidir. Shu sababli nol simidan o'tadigan tokning qiymati $I_n \leq 0,25I_{2N}$ bo'lishi kerak.

Ikkilamchi chulg'am liniyaviy kuchlanishlariga nol ketma-ketlikli toklari ta'sir qilmay, ularda simmetriklikning buzilishi faqat teskari ketma-ketlikli toklarning mavjudligi tufayli sodir bo'ladi.

2. Birlamchi chulg'am Δ , ikkilamchi chulg'am esa Y_0 sxemasi bo'yicha ulanganda birlamchi chulg'am ichida berk kontur paydo bo'lib, unda nol ketma-ketlikli toklari uchun o'tadigan yo'l mavjud bo'lganligidan faqat shu konturda aylanadi (8.2,b-rasm), ya'ni liniyaga chiqmaydi. «Uchburchak» sxemasida liniyaviy toklar ikkita qo'shni fazaviy toklarning ayirmasiga teng bo'lganligidan nol ketma-ketlikli toklar liniyada paydo bo'lmaydi. Demak, Δ/Y ulanish sxemasida ikkilamchi chulg'amdagi tokning uchta tashkil etuvchilari ham birlamchi chulg'amga transformatsiya bo'ladi. Nol ketma-ketlikli toklar hosil qilgan natijaviy magnit oqim faqat tarqalgan oqimlardan iborat bo'ladi. Bunda transformator kuchlanishlari uchburchagi «og'irlik markazi»ning siljishi uncha sezilarli bo'lmaydi.

Chulg'am Y sxemasiga ulanganda liniyaviy kuchlanishi U , Δ sxemasiga ulanganda esa liniyaviy toki I ikkita faza toklari yoki kuchlanishlari qiymatlarining geometrik ayirmasiga teng bo'lganligidan hamda bunda nol ketma-ketlikli toklar hamma fazalarda yo'nalishi bir xil bo'lgani uchun ular yo'q bo'lib ketadilar. Shu sababli birlamchi chulg'amning liniyaviy tokida va ikkilamchi chulg'amning liniyaviy kuchlanishida nol ketma-ketlikli tashkil etuvchilari bo'lmaydi.

3. Transformatorning nol ketma-ketlikli qarshiliklarini tajriba yo'li bilan aniqlash. Transformatorning nol ketma-ketlikli qarshiligi $Z_{(0)}$ ni tajribada aniqlashda chulg'amda $I_a = I_b = I_c = I_{(0)}$ toklarni yaratish zarur bo'ladi. Buning uchun transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'am fazalari ketma-ket (8.4,a-rasm) yoki parallel (8.4,b-rasm) ulanib bir fazali manbadan o'zgaruvchan tok beriladi.

Ikkilamchi chulg'am fazalari ketma-ket ulanganda ulagich «K» qo'shilgan bo'lib, parallel ulanganida esa u ochiq bo'lishi kerak (8.4-rasm). Tajribadan olingan ma'lumotlar asosida $Z_{(0)}$, $r_{(0)}$ va $x_{(0)}$ qarshiliklar quyidagicha aniqlanadi.

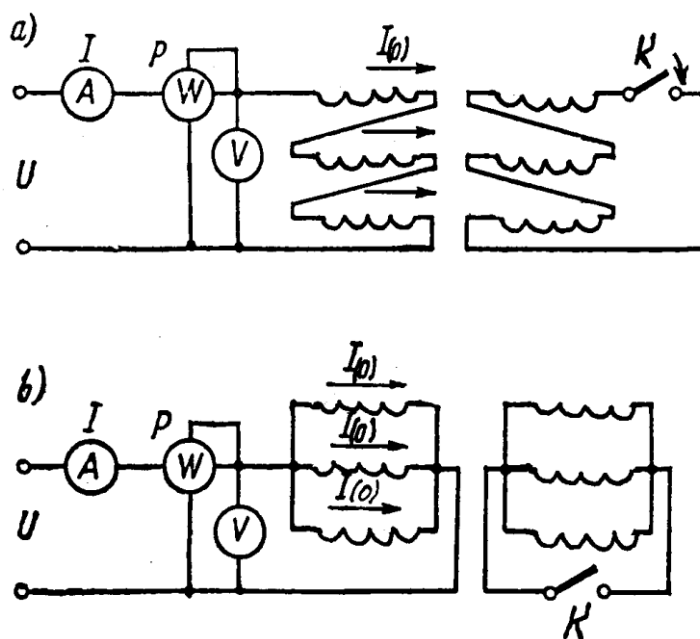
Tajriba 8.4,a-rasmda-gi sxema bo'yicha o'tkazilganda:

$$Z_{(0)} = U/(3I), \quad r_{(0)} = P/(3I_2), \quad x_{(0)} = \sqrt{Z_{(0)}^2 - r_{(0)}^2}, \quad (8.4)$$

8.4,b-rasmdagi sxema bo'yicha o'tkazilganda esa:

$$Z_{(0)} = 3U/I, \quad r_{(0)} = 3P/I_2, \quad x_{(0)} = \sqrt{Z_{(0)}^2 - r_{(0)}^2}. \quad (8.5)$$

Ikkilamchi chulg'amni ketma-ket ulash yo'li bilan tajriba o'tkazish nisbatan afzal hisoblanadi, chunki bu holda fazaviy toklarning tengligi barcha sharoitda ta'minlanadi.



8.4-rasm. Nol ketma-ketlikli qarshiliklarni tajribada aniqlashga oid sxemalar: a – ketma-ket; b – parallel

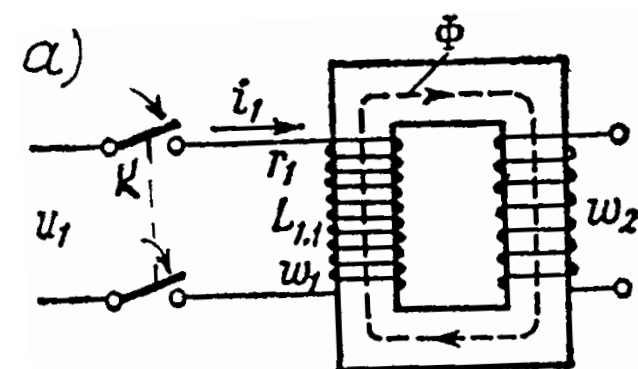
4. Transformatorning nol ketma-ketlikli toklari bo'lmagan nosimmetrik yuklama. Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amida nol simi chiqarilmagan bo'lsa nosimmetrik yuklamada ham nol ketma-ketlikli toklar $I_{(0)}$ bo'lmaydi. Bu natijaga transformatorning chulg'amlari Δ/Y , Y/Δ , Y/Y , Δ/Δ sxemalariga ulanganda erishiladi. Bu sxemalarda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlaridagi fazalarning toki magnit jihatdan o'zaro muvozanatlashadi va kuchlanishlar uchburchagining «0» nuqtasi bu holda o'z holatini o'zgartirmaydi.

Standartga binoan, agar teskari ketma-ketlik tashkil etuvchisi to'g'ri ketma-ketlik tashkil etuvchisining 5 foizidan oshmasa, unda uch fazali kuchlanish va toklar tizimi amaliy jihatdan simmetrik hisoblanadi.

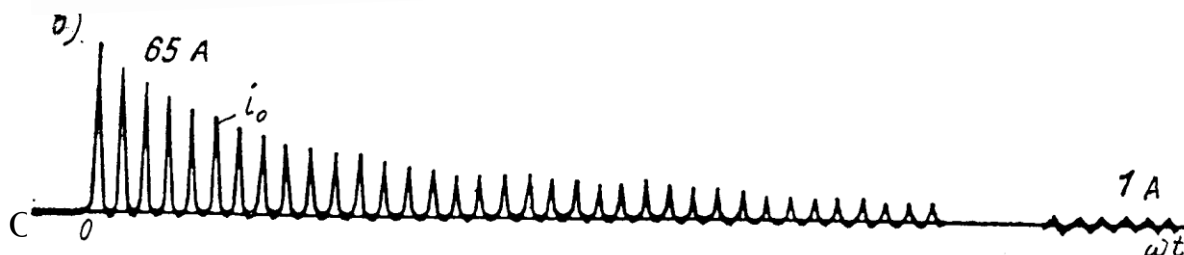
8.2§. Transformatorlarda o'tish jarayonlar

1. Yuklama ulanmagan transformatorni elektr tarmog'iga qo'shish.

Agar transformatorning ikkilamchi chulg'amiga yuklama ulanmagan bo'lsa, barqaror ish holatda birlamchi chulg'amdanda salt ishlash toki o'tadi (bu tok nominal tokning juda kam qismini tashkil qiladi). Agar transformator elektr tarmog'iga bevosita qo'shilsa, o'tish jarayoni sodir bo'lib, undaga tokning qiymati nominal tok I_{1N} ga nisbatan bir necha marta oshadi va qisqa vaqt ichida barqaror qiymatigacha kamayadi (8.5,b-rasm).



8.5-rasm. YUklama ulanmagan o'rta quvvatli bir fazali transformatorni elektr tarmog'iga bevosita qushish sxemasi (a) va bu jarayondagi tok ossillogrammasi (b)



quyidagicha yoziladi:

$$u_1 = i_0 r_1 + w_1 dF/dt. \quad (8.6)$$

Bu tenglama egri chiziqlidir, chunki po'lat o'zakdagi magnit oqim F ning salt ishlash toki i_0 ga nisbatan o'zgarishi to'g'ri chiziqli emas. Magnit oqim F o'zining maksimal qiymatiga transformatorni elektr tarmog'iga ulagandan keyin $\omega t \approx \pi$ da erishadi. O'tish jarayonida magnit oqimning oshishi magnitlovchi tokning ko'payishiga sabab bo'ladi. Transformator magnitlanish xarakteristikasining egri chiziqli bo'lganligidan o'tish jarayonida I_0 tokining oshishi magnit oqimning ko'payishiga nisbatan ham ortiq bo'ladi. Transformatorni elektr tarmog'iga bevosita qo'shishning dastlabki paytida magnitlovchi tokning keskin oshgandagi oniy qiymati uning nominal toki I_{1N}

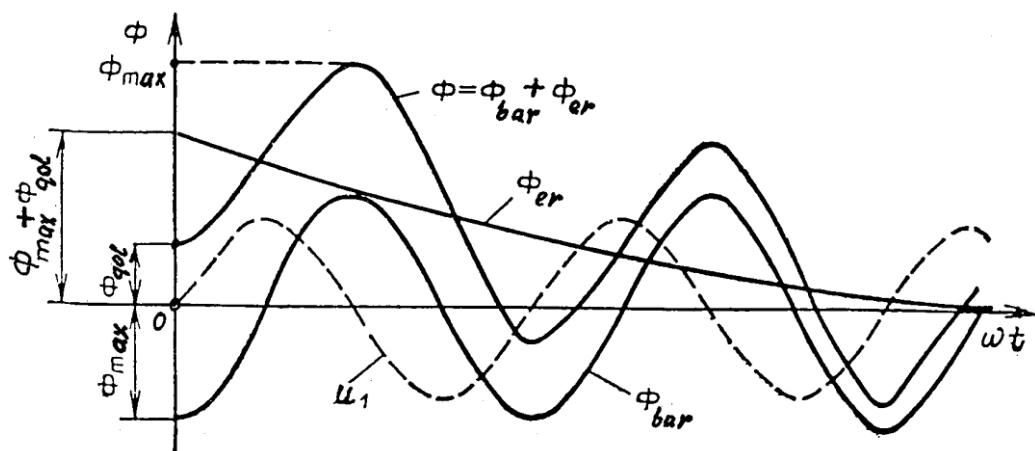
qiymatiga nisbatan (2÷5) marta, salt ishlash tokining barqaror rejimdagi qiymatidan esa (100÷120) marta katta bo‘ladi.

2. Transformatorning ikkilamchi chulg‘ami to‘satdan qisqa tutashishi.

Transformatorning ikkilamchi chulg‘ami $U_1 = U_{1N}$ da to‘satdan qisqa tutashsa undagi tokning qiymati nominal tok I_{1N} ga nisbatan (15÷20) marta katta bo‘ladi. Bu holdagi tokni zarbiy tok ($i_{1qt.z} = i_{1qt.max}$) deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$i_{1qt.z} = -I_{1qt.max} [1 + e^{-\pi / (\omega T_{qt})}] \quad (8.7)$$

bunda T_{qt} – so‘nishning vaqt doimiyligi, ya’ni qisqa tutashuvdagi tokning erkin tashkil etuvchisi so‘nishiga ketgan vaqt (8.6-rasm).



8.7-rasm. Nominal kuchlanish bilan ishlayotgan transformatorning ikkilamchi chulg‘ami to‘satdan qisqa tutashgandagi tokning vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi

(8.7) da o‘rta qavsning ichidagi son esa zarbiy tok ko‘effitsienti $K_{z.max}$ bo‘ladi va u T_{qt} ning qiymatiga bog‘liq holda (1÷2) oraliqda o‘zgaradi. Katta quvvatli transformatorlar uchun $K_{z.max} = 1,7 \div 1,8$ ga, kam quvvatli transformatorlar uchun esa, bu ko‘effitsient 1,2÷1,3 ga teng. Kam quvvatli transformatorlar uchun vaqt doimiysi $T_{qt} = 0,006$ s., katta quvvatli transformatorlar uchun esa u 0,05 s. ga teng. O‘tish jarayonining davomiyligi taxminan $t = (3 \div 4)T_{qt}$ s. ga teng. Demak, transformatorlarning kam quvvatlisida o‘tish jarayoni tok o‘zgarishining bitta davrigacha, katta quvvatli larda esa (6÷8) davrigacha davom etadi.

Zarbiy tok $i_{1qt.z}$ ning transformator nominal toki amplitudasiga nisbati quyidagiga teng:

$$i_{1qt.max} / (\sqrt{2} I_{1N}) = (100 / u_{qt}(\%)) K_{z.max} = 27 \div 12, \quad (8.8)$$

(katta qiymatlar kam quvvatli kuch transformatorlariga to'g'ri keladi).

Qisqa tutashuvda transformator chulg'amlariga ta'sir qiladigan elektromagnit kuchlar zarbiy toklarning kvadratiga mutanosib ravishda o'zgarishi tufayli, bu kuchlar normal ish rejimidagi kuchlarga nisbatan $729 \div 144$ marta oshadi. Bu kuchlar o'zining yo'nalishini o'zgartirmagan holda $2f = 2 \cdot 50 = 100$ Hz chastota bilan pulslanadi. Bunday qisqa muddatli katta kuchlarga chulg'amlar bardosh berishi uchun ular ishonchli mahkamlanishi kerak. Amalda transformatorning himoya qurilmalari tok o'zgarishining 3...4 davridan keyin ishga tushib, transformatorni elektr tarmog'idan uzib qo'yishi kerak.

Nazorat savollari

1. Qanday sabablarga ko'ra nosimmetrik yuklanish sodir bo'ladi?
2. Simmetrik tashkil etuvchilar usulini tushuntirib bering.
3. Nol ketma-ketlikli toklar qanday sxemalarda vujudga keladi?
4. Nol ketma-ketlikli qarshiliklar tajribada qanday aniqlanadi?
5. Qanday hollarda o'tish jarayoni sodir bo'ladi va ular qanday kechadi?
6. Zarbiy tok koeffitsienti nima?

* * *

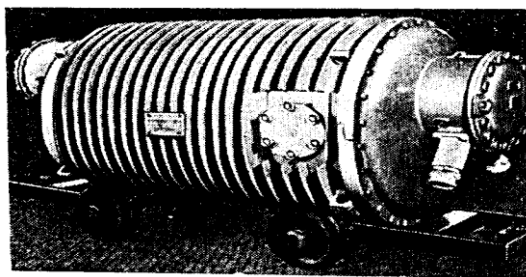
9-Bob. Maxsus maqsadli transformator qurilmalari

9.1§.Maxsus maqsadli kuch transformatorlariga oid umumiy ma'lumotlar

Elektrotexnologiya va o'zgartirgich qurilmalarining ish rejimlari talablaridan kelib chiqqan holda ularni elektr energiya bilan ta'minlovchi transformatorlarining konstruksiyasi o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'ladi. Shu sababli elektrotexnologiya va quvvatli o'zgartirgich qurilmalarida qo'llaniladigan transformatorlarni bundan keyin maxsus maqsadli kuch transformatorlari deb ataymiz.

Hozirgi vaqtda o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka to'g'rilash asosan statik o'zgartirgich agregatlari yordamida amalga oshiriladi. Ularning ham asosiy tarkibiy qismini maxsus maqsadli transformatorlar tashkil qiladi. Quyidagi sohalaridagi elektrotexnologiyalarning to'g'rilagich qurilmalarida ishlatiladigan maxsus maqsadli kuch transformatorlariga:

a) rangli metallurgiyada elektroliz qurilmalari to'g'rilagichlari uchun toki 63 kA va kuchlanishi 850 V bo'lgan TTsNP-80000/20 tipi; b) kimyo sanoatida – toki 50 kA va kuchlanishi 850 V bo'lgan TTsNP –40000/10 tipi; v) qora metallurgiyada – jo'valash mashinalarining tiristorli elektr yuritmalari uchun quvvati 2500÷3200 kV·A bo'lgan transformatorlar seriyasi, elektr yoyi vositasida po'lat eritish pechlari uchun (masalan, Bekobod metallurgiya kombinatida) PBV va RPN qayta ulagich qurilmalari bilan ta'minlangan tiplari ishlatiladi. Quvvati 100 MV·A gacha bo'lgan elektr pechi transformatorlarining ikkilamchi kuchlanishi 1000 V dan oshmaydi, bundagi ikkilamchi toklar esa 100 kA va undan katta bo'ladi.



9.1-rasm. Quvvati 160 kVA, kuchlanishi 6kV bo'lgan TCB-160/6 tipli portlashdan himoyalangan transformator

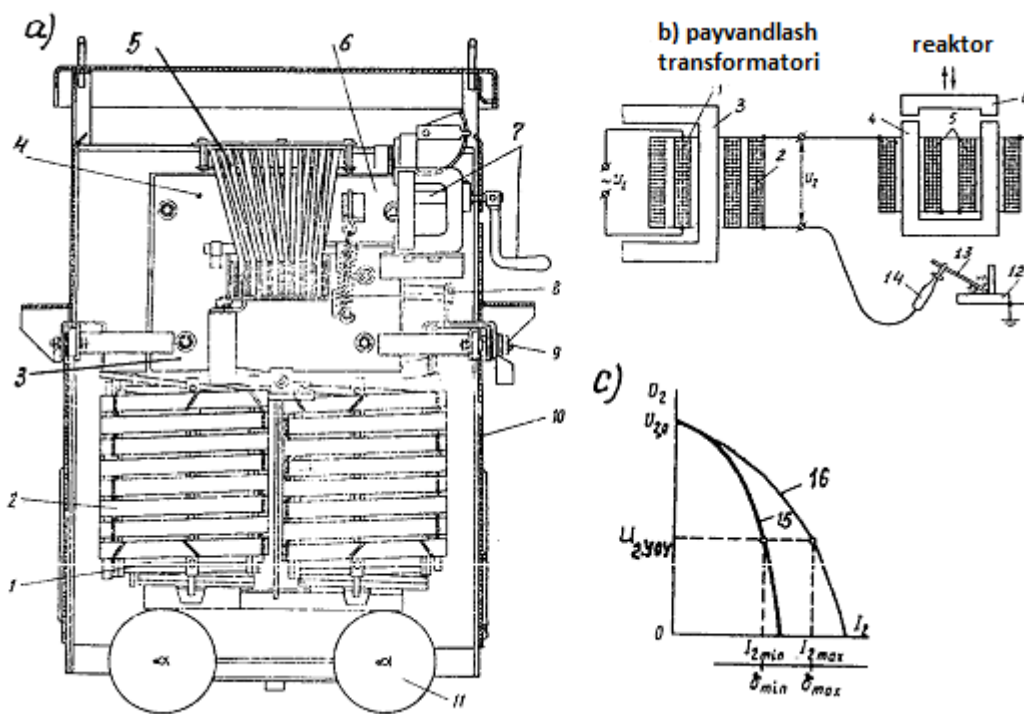
Ko'mir shaxtalaridagi elektr motorlarini energiya bilan ta'minlash uchun quvvati 160 kV·A kuchlanishi 6 kV bo'lgan TCB-160/6 tipli portlashdan

himoyalangan transformator (9.1-rasm) hamda quvvati $250 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bo'lgan TCBI – 250/6 tipli transformator podstansiyalari qo'llaniladi.

Neft olishdagi cho'ktirilgan elektr nasoslari asinxron motorlarini 380 V kuchlanishli elektr energiya bilan ta'minlashda TMPN–160/2,05 tipli transformator qo'llaniladi.

9.2§. Elektr yoyi vositasida payvandlash uchun transformatorlar

Elektr yoyi vositasida payvandlash uchun ishlatiladigan maxsus maqsadli transformatorlarni odatda payvandlash transformatorlari deb yuritiladi. Payvandlash transformatorlari kuchlanishi 220 yoki 380 V bo'lgan elektr energiyani metalni yoyli payvandlash uchun zarur bo'lgan salt ishlashdagi kuchlanishi 60 V bo'lgan elektr energiyaga o'zgartirib beradi.



9.2-rasm. STN-500-1 tipli payvandlash transformatorining tuzilishi (a) va ishlashining prinsipial sxemasi (sxemada reaktor ajratib ko'rsatilgan) (b): [1, 2 – tegishli YuK va PK chulg'amlar; 3 – magnit o'tkazgich; 4, 6 – reaktor magnit tizimining qo'zg'almas (4) va qo'zg'aluvchi (6) qismlari; 5 – reaktor chulg'ami; 7 – qo'zg'aluvchi qismni xarakatga keltirish uchun dastakli yurituvchi vint; 8 – qo'zg'aluvchi qismning titrashini kamaytirish uchun prujina; 9 – ikkilamchi chulg'am va reaktor chulg'ami qisqichi; 10 – kojux; 11 – g'ildirak; 12 – payvandlanadigan detal; 13 – elektrod; 14 – tokli simning izolyatsion tutqichi]; payvandlash transformatorining tashqi xarakteristikalar (s): [minimal (1) va maksimal (2) bushliqlar uchun; $U_{2,yoy}$ – elektr yoyining turg'un yonishi uchun zaruriy kuchlanish]

Reaktor (drossel) – magnit zanjiri havo oralig'ini o'zgartirish yo'li bilan payvandlash tokini rostlashga mo'ljallangan.

Metallni payvandlashda STN-500-1 tipli payvandlash transformatori (9.2,b-rasm) amalda ko'p qo'llaniladi: $U_1=380$ va 220 V, $U_{2,0}=60$ V, payvandlash toki 500 A, bu tok rostdash jarayonida 800 A gacha oshishi mumkin. Chiqishidagi quvvati 15 kW, tarmoqdan oladigan quvvati 33 kV·A.

9.3§. To'g'rilagich va avtomatika qurilmalari uchun transformatorlar

To'g'rilagich qurilmalari uchun transformatorlar. To'g'rilagich qurilmalari rangli metallurgiyada (masalan, Olmaliq va Navoiy kombinatlari), kimyo sanoatida (Farg'ona, Chirchiq va Navoiy kombinatlari) texnologik jarayonni, qora metallurgiyada (Bekobod metallurgiya kombinati) esa jo'valash mashina (stan)lari elektr yuritmalarini o'zgaras tok bilan ta'minlashda, elektrotermiyada, elektrlashtirilgan temir yo'l va shahar elektr transportlarida, katta quvvatli turbo- va gidrogeneratorlar qo'zg'atish tizimida va boshqa ayrim sohalarda foydalaniladi.

Katta quvvatli to'g'rilagich qurilmalari esa elektr tarmog'iga maxsus maqsadli kuch transformatorlari orqali ulanadi. O'zgartirgich agregati maxsus maqsadli kuch transformatorlari ikkilamchi chulg'am fazalari soniga ko'ra – bir, uch, olti, 12 va 24 fazali (24 fazalini bitta transformatorida faqat ko'prik sxemasida hosil qilish mumkin) turlarga bo'linadi.

To'g'rilagich sxemalarida ishlatiladigan transformatorlarning ikkilamchi chulg'amiga tokni faqat bir yo'nalishda o'tkazadigan ventillar ulanadi. Bunday transformatorning o'ziga xos xususiyatlaridan biri shuki, uning turli fazalariga ulangan ventillar navbatma-navbat ishlaganligi tufayli, ayrim fazalarida yuklama qiymatining bir xil bo'lmasligidir. Bunday transformator chulg'amlaridan nosinusoidal toklar o'tadi. Tokning yuqori garmonikalari quyidagi sabablarga ko'ra hosil bo'ladi: 1) ikkilamchi chulg'amning ayrim fazalariga ulangan ventillar tokni o'zidan davrning faqat bir qismidagina o'tkazishi; 2) to'g'rilagichning o'zgaras tok tomoniga induktivligi katta bo'lgan tekislovchi drossel ulanganligi tufayli transformator chulg'amlaridagi tokning vaqt bo'yicha o'zgarish shakli to'g'ri burchakka yaqin bo'lishi.

O'zgartirgich qurilmalari maxsus maqsadli kuch transformatorlarda, umumiy holda, I_1 va I_2 toklarning ta'sir etuvchi qiymatlari yuqori garmonikalar ta'sirida har xil bo'lishi natijasida S_{1N} va S_{2N} hisoblash quvvatlar har xil bo'ladi. Shuning uchun ventilli to'g'rilagich transformatorining "tipaviy quvvati" tushunchasi kiritiladi (tipaviy quvvat – o'zgartirgich qurilmasi transformatorining tipiga oid bo'lgan quvvat).

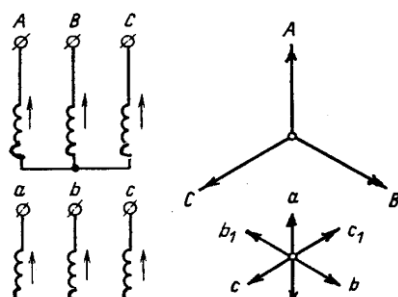
O'zgartirgich qurilmalarining maxsus maqsadli kuch transformatorlarining tipaviy quvvati to'g'rilash sxemasidan bog'liq holda (masalan, 6 fazali to'g'rilash sxemasida) (9.3-rasm) quyidagicha aniqlanadi:

$$S_{tip} = 0,5 (S_{1N} + S_{2N}) = 1,26 P_{dN}, \quad (9.1)$$

bunda $S_{1N} = 3I_{1N}U_{1f.N} = 1,045P_{dN}$, $S_{2N} = 6I_{2N}E_{2f.N} = 1,48P_{dN}$, $[P_{dN} = U_{dN}I_{dN}$ – to'g'rilagichning o'zgarma tok tomonidagi (chiqishidagi) quvvati].

I_{1N} va I_{2N} – tegishli tarmoq va ventil chulg'amlarining toklari; U_{1N} va $E_{2f.N}$ – tarmoq va ventil chulg'amlarining tegishli fazaviy kuchlanishi va EYuK Tipaviy quvvat ko'effitsienti – $K_{tip} = S_{tip}/P_{dN}$.

To'g'rilagich qurilmasi uchun transformator tanlashda bu ko'effitsient ma'lum bo'lishi lozim. Yuklama nominal transformatorning tipaviy quvvati S_{tip} , uning chiqish quvvati P_{dN} dan katta ($S_{tip} > P_{dN}$) bo'ladi. Maxsus maqsadli kuch transformatorining quvvatiga va qo'llanish sohasiga bog'liq holda uning to'g'rilangan kuchlanishi 6 V dan bir necha ming voltgacha, to'g'rilangan tok esa 2A dan 200 kA gacha bo'lishi mumkin. O'zgartirgich qurilmalari uch fazali transformator- larining tarmoq chulg'amlarini "yulduz"ga, ayrim hollarda esa "uchburchak"ka ulanadi; ventil chulg'amlari "yulduz", "qo'sh yulduz" (to'g'ri va teskari), "uchburchak-yulduz", "zigzag" sxemalarga ulanadi. Šo'sh yulduzning neytrallari tenglashtiruvchi reaktor orqali ulanadi. Bunda tarmoq chulg'ami uch fazali tarmoqqa ulanganda ventil chulg'ami tomonida to'g'rilagichning ulanish sxemasiga bog'liq holda uch, olti (9.3-rasm) yoki 12 fazali to'g'rilashga imkon tug'iladi.



9.3-rasm. Uch fazali kuchlanishlar sistemasini olti fazaliga o'zgartirish sxemasi va vector diagrammasi

To'g'rilashning olti fazali sxemalari asosan quvvati $250 \div 4000$ kW bo'lgan o'zgartirgich agregatlarida, undan katta quvvatlilarida esa 12 fazali sxemalar ishlatiladi.

Avtomatika qurilmalari uchun transformatorlar.

1. Impulsli transformatorlar. Bunday transformatorlar impulsli texnika qurilmalarida elektr impulsi amplitudasini va qutbiyligini o'zgartirish, yuklama zanjiri tokining doimiy tashkil etuvchisini yo'qotish kabi vazifalarni bajarish uchun qo'llaniladi. Impulsli transformatorlar tok (yoki kuchlanish) impulsining qayta magnitlanishi rejimida ishlaydi. Bunday transformatorlarga qo'yiladigan asosiy talab–transformatsiyalangan kuchlanish impulsining shakli imkon qadar buzilmasligi kerak.

2. Pik-transformatorlar. Elektron texnikasida boshqariladigan ventil (masalan, tiristor)ni rostlash uchun kuchlanish impulsi keskin o'tkir (piksimon) shaklda bo'lishi kerak. Bunday impulsni sinusoidal o'zgarayotgan kuchlanish berilgan pik-transformator yordamida olish mumkin.

Pik-transformator – o'zagi magnit jihatdan kuchli to'yingan odatdagi ikki chulg'amli transformatoridir. Shu sababli transformatorning ikkilamchi chulg'amida pik (cho'qqi)simon shakldagi kuchlanish U_2 hosil bo'ladi. Magnit oqim F va tok i_1 nol qiymatidan o'tish paytida ikkilamchi kuchlanish maksimum (U_{2max}) qiymatga erishadi.

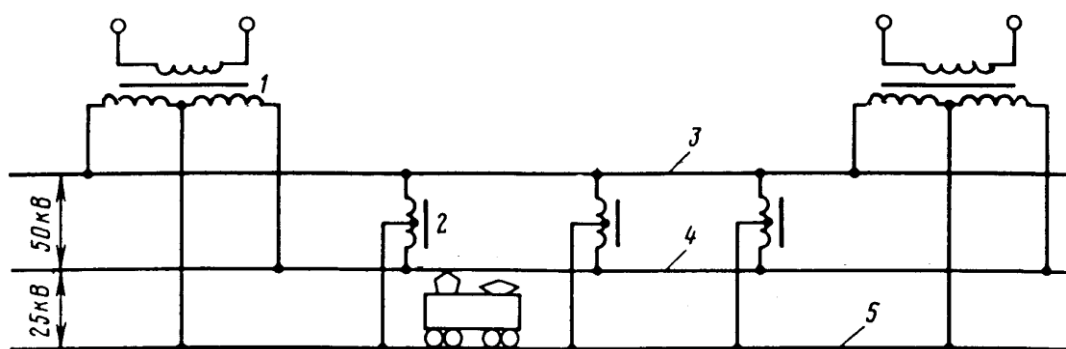
3. Stabillashtiruvchi transformatorlar. Bunday transformatorlar elektr yuritmada va avtomatik rostlash tizimlarida rostlanadigan kattalikning birinchi hosilasi

bo'yicha teskari bog'lanishni hosil qilish uchun tabaqalashtiruvchi bo'g'inlar sifatida tez-tez foydalaniladi. Transformatorning bunday sifatda foydalanilishi, ikkilamchi chulg'am kuchlanishi U_2 ning magnit oqimi o'zgarish tezligi (dF/dt)ga mutanosib ravishda bo'lganligiga asoslangan.

4. Chastotani o'zgartirish uchun transformator. O'zgaruvchan tok chastotasini ikki va uch karra oshirish uchun transformator sxemalari keng qo'llanilmoqda. Chastotani uch karra oshirish uchun transformator sxemalari f_1 chastotali uch fazali tarmoqqa ulangan transformator o'zaklarining kuchli to'yinishi tufayli hosil bo'ladigan uchinchi garmonikadan foydalanishga asoslangan. Bunday holda EYuK ning uchinchi garmonikalari katta qiymatga ega bo'lib, ikkilamchi chulg'amni "ochiq uchburchak" ko'rinishga o'tkazilsa uch marta katta ($f_3=3f_1$) bo'lgan chastotali kuchlanish manbaiga ega bo'lamiz.

9.4§. Elektrlashtirilgan temir yo'l va shahar elektr transportlari uchun kuch transformatorlarining o'ziga xos xususiyatlari.

Elektrlashtirilgan temir yo'l transporti (masalan, elektrovoz) uchun kuch transformatorlari. Elektrlashtirilgan temir yo'l transporti yuksak texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega va ekologik jihatdan toza bo'lgan transportdir.



9.4-rasm. Elektrlashtirilgan temir yo'lining 2x25 elektr ta'minoti tizimi tortish podstansiyasidagi ikkilamchi chulg'ami bo'lingan bir fazali maxsus maqsadli kuch transformatori: (1 – bir fazali kuch transformatori; 2 – bir fazali kuch AT; 3 – elektr energiyani ta'minlovchi maxsus liniya; 4 – kontakt tarmog'i; 5 – rels tarmog'i)

Shu tufayli dunyoning barcha mamlakatlarida, shu jumladan O'zbekistonda ham elektrlashtirilgan temir yo'l va shahar elektr transportlari keng rivojlanmoqda.

Elektrlashtirilgan temir yo‘l transportida tortish ("asosiy ta'minlovchi") transformatorining asosiy vazifasi elektr tarmog‘i kuchlanishi U ni tortish elektr motori uchun zarur bo‘lgan kuchlanishga qadar kamaytirib berishdan iborat (9.4-rasm).

2×25 kV tizimli tortish transformator podstantsiyalarida bir fazali kuch transformatorlari qo‘llaniladi. Ularning ikkilamchi chulg‘ami har qaysisi 25 kV kuchlanishli ketma-ket ulangan ikkita seksiyadan tashkil topgan (9.5-rasm). Seksiyalar bunday ulanganda kontakt tarmog‘ini 50 kV kuchlanish bilan ta'minlashga imkon beradi. Bu kuchlanish temir yo‘l bo‘ylab maxsus AT punktlarida joylashtirilgan liniya AT lari yordamida rostlab turiladi.

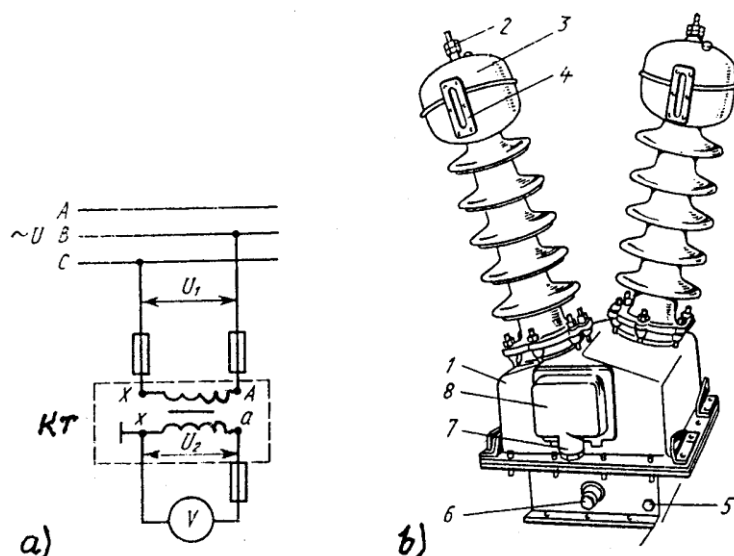
Shahar elektr transporti kuch transformatorlari. Shahar elektr tarmoqlari xususiyatidan kelib chiqqan holda bunday maxsus maqsadli kuch transformatorlarining birlamchi kuchlanishi 6; 6,3; 10 va 10,5 kV bo‘ladi. Tramvay-trolleybuslarni elektr energiya bilan ta'minlovchi transformatorlarning ikkilamchi chulg‘ami kuchlanishi $U_2 = 600$ V bo‘lgan TMP-800/10; TMP-1600/10 va TMP-3200/10 tiplari ishlatiladi.

Ikkilamchi chulg‘ami kuchlanishi $U_2 = 825$ V, quvvati 3200 kV·A gacha bo‘lgan TMP-1600/10, TMP-3200/10 va TSZP tipdagi quruq maxsus maqsadli kuch transformatorlari metropoliten elektr ta'minoti uchun ishlatiladi.

9.5§. Elektr o‘lchash sxemalari uchun transformatorlar

Bunday transformatorlar o‘zgaruvchan tok zanjirlarida elektr o‘lchash asboblari (voltmetr, ampermetr, vattmetr va boshq.)ning o‘lchash chegaralarini kengaytirish va yuqori kuchlanish tarmoqlarida mazkur asboblar bilan ishlash xavfsizligini ta'minlash maqsadlarida ishlatiladi. Bundan tashqari releli himoya asboblari ulashda ham foydalaniladi. Bunday transformatorlarni "o‘lchash transformatorlari" deyiladi. Ularning quvvati 5 V·A dan bir necha yuz V·A gacha bo‘ladi. O‘lchov transformatorlari kuchlanish va toklarni o‘zgartirganda xatolik mumkin qadar kam bo‘lishining zarurligi ularga qo‘yiladigan asosiy talabdir.

Kuchlanishni o'lchash sxemalari uchun transformatorlar. Bunday transformatorlar kuchlanishi 0,38÷1150 kV bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmoqlari kuchlanishini o'lchash sxemalarida ishlatiladi.



9.5-rasm. Kuchlanishi 35 kV bo'lgan tarmoqqa mo'ljallangan NOM-35 tipli kuchlanish transformatorini tarmoqqa ulash sxemasi (a) va uning tashqi ko'rinishi (b): (1 – korpus; 2 – yuqori kuchlanishli tarmoqdan ulanadigan sim uchun qisqich; 3 – o'tish izolyatorining kengaytirgichi; 4 – moy ko'rsatkich; 5 – zaminlash uchun bolt; 6 – moyni to'kish uchun tiqinli teshik; 7 – ikkilamchi chulg'am uchlari chiqarilgan izolyatsion taxtachaning qopqog'i va 8 – o'lchash asboblari sim ulash uchun shtutser (uchlariga rezba ochilgan biriktiruvchi qism)

Shu sababdan ularni "kuchlanish transformatorlari" deyiladi. Mazkur transformator pasaytiruvchi bo'lib, birlamchi chulg'amda kuchlanish nominal (masalan, 3; 6; 10; 35; 110 kV va boshq.) bo'lganda ikkilamchi kuchlanishi 100, $100/\sqrt{3}$ yoki $100/3$ V bo'ladigan qilib bajariladi. Uning ikkilamchi zanjiriga voltmetr hamda vattmetr, chastota o'lchagich, energiya hisoblagich va fazometrlarning kuchlanish chulg'amlari ulanadi. Bu o'lchash asboblarning elektr qarshiligi katta (taxminan 1000 Ω) bo'lib, kuchlanish transformatorlarining ish rejimi salt ishlash rejimiga

yaqin bo'ladi. Bu holda $U_1 = E_1$; $U_0 = E_{2N}$, deb hisoblash mumkin bo'ladi, lekin $E_1 = (w_1/w_2)E_2$ bo'lgani uchun

$$U_1 = (w_1/w_2)U_2 = kU_2, \quad (9.2)$$

bunda $k = w_1/w_2$ - transformatsiyalash koeffitsienti.

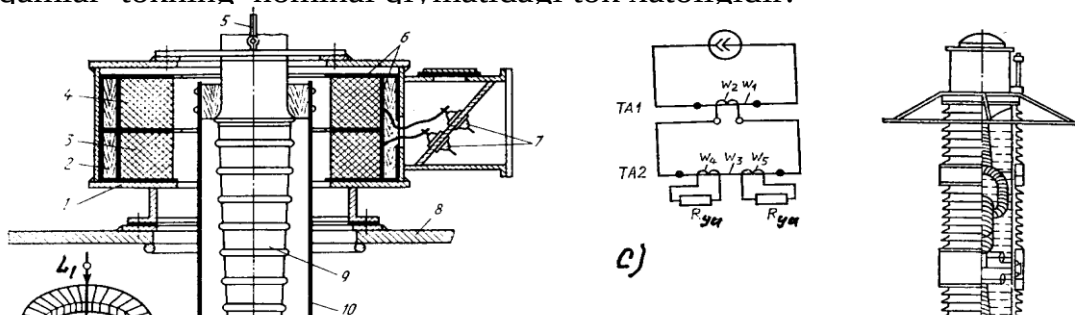
Kuchlanish transformatorining xatoligi birlamchi (U_1) va ikkilamchi (U_2) chulg'am kuchlanish vektorlari orasidagi siljish fazasiga bog'liq holda o'zgaradi. Ko'chirilmaydigan (statsionar) kuchlanish transformatorlarini uchta (0,5; 1 va 3), laboratoriya kuchlanish transformatorlarini esa 4 ta (0,05; 0,1; 0,2; va 0,5) aniqlik klassga bo'ladilar.

Kuchlanish transformatorlari bir fazali va uch fazali qilib tayyorlanadi. Kuchlanish $U = 3000$ V gacha quruq qilinib, $U > 3000$ V bo'lganda esa moyli (moy bilan sovutiladigan) qilinadi. 9.5-rasmda NOM-35 tipli kuchlanish transformatori (b) va uni tarmoqqa ulash sxemasi (a) ko'rsatilgan. Elektr xavfsizligini ta'minlash maqsadida transformator ikkilamchi chulg'amining chiqish uchlaridan biri va transformator qoplamasi (kojuxi) zaminlanadi, ya'ni yerga tutashtiriladi.

Tokni o'lchash sxemalari uchun transformatorlar. Bunday transformatorlar katta qiymatli toklarni oddiy ampermetr bilan o'lchash uchun hamda vattmetr, energiya hisoblagich (schetchik) va fazometrlarning tok chulg'amlarini ulashda ishlatiladi. Shu sababdan ularni "tok transformatorlari" deyiladi. Tok transformatorining birlamchi chulg'ami kesim yuzasi katta bo'lgan o'tkazgich (sterjen)dan yasilib, tarmoqqa ketma-ket ulanadi (9.7-rasm). Chulg'amlardagi o'ramlar shunday tanlanadiki, bunda birlamchi chulg'amning toki nominalga teng bo'lganda, ikkilamchi zanjirdagi tok 5 A bo'ladigan qilib bajariladi. Tok transformatorlarining ish rejimi qisqa tutashuv rejimiga yaqin bo'ladi va ular uchun toklar tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$I_1 = -I'_2 = -(w_2/w_1)I_2 = I_2/k. \quad (9.3)$$

Demak, ikkilamchi tok I_2 va transformatsiyalash koeffitsienti k ma'lum bo'lganda birlamchi tok I_1 ni aniqlash mumkin ekan. Tok transformatorlarini 5 ta aniqlik klassiga bo'ladilar: statsionar (ko'chmaydigan) turlari – 0,2; 0,5; 1; 3 va 10, laboratoriya tok transformatorlari esa – 0,01; 0,02; 0,05; 0,1 va 0,2. Bu keltirilgan raqamlar tokning nominal qiymatidagi tok xatoligidir.



Nominal kuchlanish $U \geq 220$ kV bo'lganda tok transformatori kaskad sxemasi bo'yicha, ya'ni ikki pog'onali qilib bajariladi (9.6,d-rasm). Bu rasmda ko'rsatilgan kaskadli tok transformatorining har bitta pog'onasini kuchlanishi $250 / \sqrt{3}$ kV bo'lgan tok transformatori tashkil etadi. Birinchi pog'onadagi ikkilamchi chulg'am ikkinchi pog'onaning birlamchi chulg'amini tok bilan ta'minlaydi. Yuqori kuchlanishda ikki pog'onali tok transformatorining bir pog'onaliga nisbatan tannarxining taxminan 2 marta kamligi uning afzalligi bo'lsa, kaskad sxemada chulg'amlar qarshiliklarining oshishi tufayli tok transformatori xatoligining ko'payishi esa uning kamchiligi hisoblanadi. Tok transformatorini tarmoqqa ulashda uning qoplamasi va 2-chulg'amining chiqish uchlaridan biri yerga ulanadi.

Tok transformatori normal ishlash jarayonida, uning ikkilamchi chulg'ami uzib qo'yilmasligi kerak, aks holda ikkilamchi chulg'am toki $I_2 = 0$ bo'lib, birlamchi chulg'am toki I_1 esa o'zining ilgarigi katta qiymatini o'zgartirmay uning hosil qilgan magnit oqimi ikkilamchi chulg'amda katta EYuK hosil qiladi. Bu esa magnit isroflarining oshib ketishi sababli tok transformatorining me'yoridan ortiq

qizib ketishiga olib keladi. Tok transformatorini tarmoqdan uzishda, dastlab uning ikkilamchi chulgʻami shunt qilinib, oʻlchash asboblari ajratiladi.

Nazorat savollari

1. Payvandlash transformatorining tuzilishi va ishlash prinsipini soʻzlab bering.
2. Elektrlashtirilgan temir yoʻl transporti kuch transformatorini soʻzlab bering.
3. Elektr oʻlchash sxemalari uchun transformatorning ahamiyati nimadan iborat?
4. Avtomatik qurilmalarda qanday maxsus transformatorlar ishlatiladi?

* * *

I k k i n c h i b o ' l i m. O ' Z G A R U V C H A N T O K M A S H I N A L A R I

Elektr energiyani ishlab chiqarish va undan foydalanish sohalarida o'zgaruvchan tok mashinalari hozirgi zamon elektr energetikasining asosini tashkil etadi. Bu elektr mashinalarining deyarli barchasi (asinxron va sinxron mashinalar) kollektorsizdir. Bu mashinalar ish xossalari bilan farq qilsa ham konstruksiyasida va ishchi chulg'ami – stator chulg'ami bilan bog'liq bo'lgan jarayonlar va hodisalarga tegishli ularning nazariyasi asosida ayrim umumiy masalalar yotadi. Shu sababli asinxron va sinxron mashinalarni batafsil o'rganishdan oldin, mazkur mashinalar nazariyasining umumiy masalalari bilan tanishish maqsadga muvofiqdir.

Asinxron va sinxron mashinalar boshqa elektr mashinalari singari E. Lens kashf qilgan qaytuvchanlik xossasiga egadirlar, ya'ni ularning har qaysi generator va motor rejimlarda ishlay oladilar.

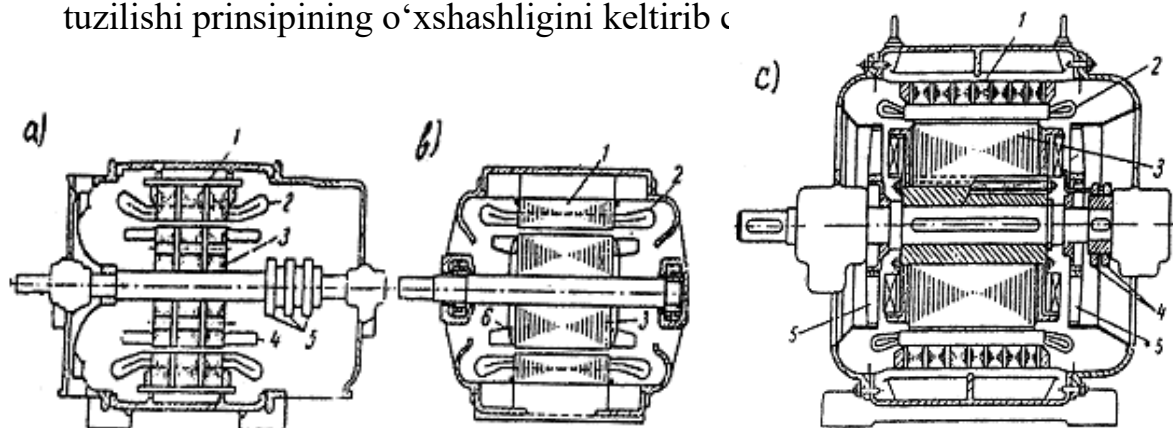
10-Bob. O'zgaruvchan tok mashinalari konstruksiyasi va nazariyasining umumiy masalalari

10.1§. O'zgaruvchan tok mashinalarining aktiv qismlari.

O'zgaruvchan tok mashinalari ikkita turga, ya'ni asinxron va sinxron mashinalarga bo'linadi. Bu mashinalar qo'zg'almas qismi stator va uning ichiga podshipnik qalqonlari vositasida mahkamlanib aylanish imkoniyatiga ega bo'lgan rotordan iborat. Stator va rotor bir-biridan havo oralig'i bilan ajratilgan bo'ladi. Havo oralig'ining o'lchami mashinaning ish xossalariga jiddiy ta'sir qiladi. Masalan, sinxron mashinalarda u o'ta yuklanish qobiliyatini oshirsa, asinxron mashinalarda havo oraliqning katta bo'lishi ularning quvvat koefitsienti $\cos\varphi$ ni va aylantiruvchi momenti M ni keskin kamayтира.

An'anaviy o'zgaruvchan tok mashinalari – asinxron va sinxron mashinalar bir-biridan rotorining tuzilishi bilan farq qilsa ham, ularning statorlari asosan bir xil konstruksiyaga ega bo'lib (10.1-rasm), ishlash prinsipi va nazariyasida anchagina o'xshashlik jihatlari mavjuddir. Bulardagi fizik jarayonlarning umumiyliigi ularning nazariyasi o'xshashligini, ko'p fazali o'zgaruvchan tok

chulgʻamlari konstruksiyasi hamda asinxron va sinxron mashinalar statorlarining tuzilishi prinsipining oʻxshashligini keltirib



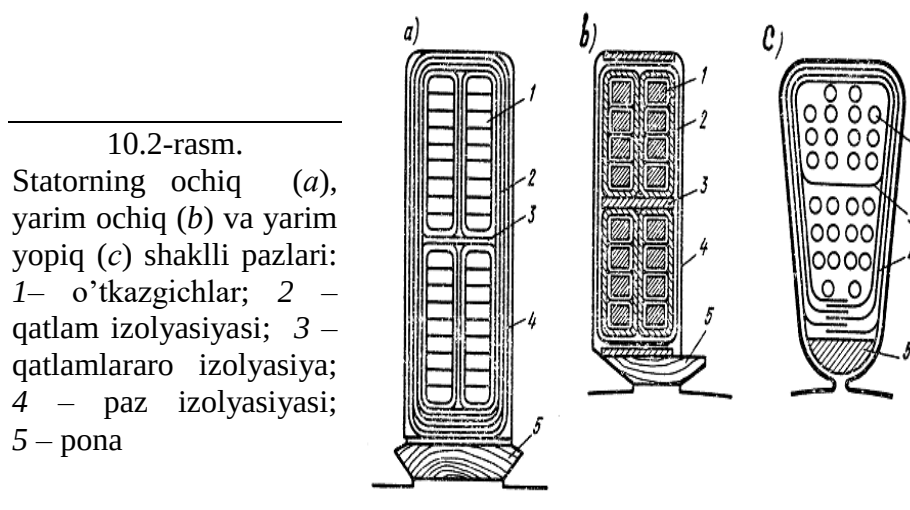
10.1-rasm. Uch fazali oʻzgaruvchan tok mashinalarining konstruktiv sxemalari: faza rotorli (a) va qisqa tutashgan rotorli (b) asinxron motorlar (bular: 1 – stator oʻzagi; 2 – uch fazali stator chulgʻami; 3 – rotor oʻzagi; 4 – rotorning faza chulgʻami; 5 – ishga tushirish qarshiligiga ulash uchun kontakt xalqalar; 6 – rotorning qisqa tutashgan chulgʻami) hamda ayon qutbli sinxron generator (c) (bunda: 1 – stator oʻzagi; 2 – uch fazali stator chulgʻami; 3 – oʻzgarmas tok chulgʻamli rotor qutblari; 4 – oʻzgarmas tok manbasi bilan ulash uchun xalqalar; 5 – ventilyator)

Magnit oʻtkazgich va chulgʻamlar oʻzgaruvchan tok mashinalarining aktiv qismlari hisoblanadi. Oʻzgaruvchan magnit oqimi oʻtadigan mashinaning magnit oʻtkazgichi, yaʼni asinxron mashinaning stator va rotor hamda sinxron mashinaning stator poʻlat oʻzaklari elektrotexnik izotrop (yaʼni magnit oʻtkazuvchanligi poʻlatning joʻvalanish yoʻnalishiga deyarli bogʻliq boʻlmagan) sovuqlayin joʻvalangan poʻlat tunukalaridan yigʻiladi. Stator oʻzagining ichki (havo oraligʻiga yaqin) tomoniga chulgʻam joylashtirish uchun shtamplash stanogi vositasida poʻlat listlarga bir xil andozali pazlar oʻyiladi.

Elektr mashinalarining rotor valga mahkamlangan podshipniklar vositasida aylanadi. Quvvati 1000 kW gacha boʻlgan elektr mashinalarida podshipnik qalqonida joylashtiriladigan sharikli va rolikli dumalash podshipniklari, $P \geq 1000$ kW boʻlganda esa mashina korpusidan tashqarida joylashtiriladigan tayanchda sirpanish podshipniklari qoʻllaniladi.

Asinxron mashinaning rotor oʻzagi uning valiga (katta quvvatli mashinalarda esa rotor vtulkasiga) presslanadi va maxsus siquvchi shaybalar bilan

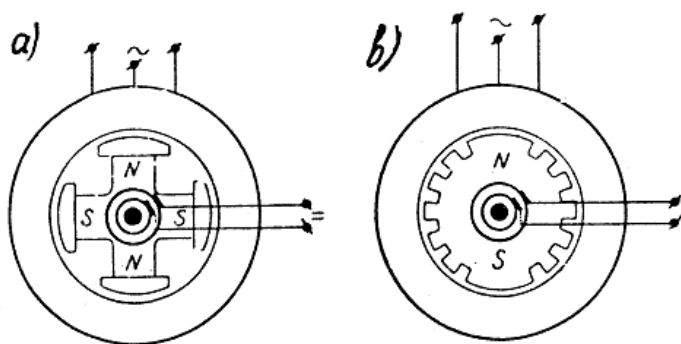
mahkamlanadi. Rotor po‘lat o‘zagining mashina havo oralig‘i tomonidagi pazlarda rotor chulg‘ami joylashtiriladi.



10.2-rasm.
Statorning ochiq (a),
yarim ochiq (b) va yarim
yopiq (c) shaklli pazlari:
1– o‘tkazgichlar; 2 –
qatlam izolyasiyasi; 3 –
qatlamlararo izolyasiya;
4 – paz izolyasiyasi;
5 – pona

Po‘lat o‘zak tishlari va pazlarining shakllari mashina tipiga va uning quvvatiga bog‘liq bo‘ladi. Katta quvvatli mashinalarda stator va rotor chulg‘amlarini to‘g‘riburchak kesimli o‘tkazgichlardan bajariladi; bu holda o‘tkazgichlarni pazda yaxshi joylashtirish va ishonchli izolyatsiyalashni ta‘minlash imkoniyati yaxshilangani sababli to‘g‘riburchak shaklli ochiq pazlar qo‘llaniladi (10.2,a-rasm). Kam va o‘rta quvvatli elektr mashinalarida rotor va stator chulg‘amlari odatda dumaloq kesimli simlardan yasilib, bunday mashinalarda oval (tuxumsimon cho‘ziq) yoki trapetsiya shakldagi yarim yopiq pazlar (10.2,c-rasm) qo‘llaniladi. Ayrim hollarda to‘g‘riburchak kesimli sim ishlatilganda yarim ochiq pazlar qo‘llaniladi (10.2,b-rasm).

Sinxron mashinalar rotorining konstruksiyasiga ko‘ra: ayon qutbli va ayon bo‘lmagan qutbli turlarga bo‘linadi. Ayon bo‘lmagan qutbli sinxron mashina (SM)larda rotor massiv (yaxlit quyilgan) qilib bajariladi (10.3,b-rasm), chunki uning pazlarida magnit oqimi rotorga nisbatan qo‘zg‘almas bo‘lgan qo‘zg‘atish chulg‘amli qutblar joylashgan.



10.3–rasm.Sinxron
mashinalarning asosiy turlari: a – ayon
qutbli, b –ayon bo‘lmagan qutbli

Mashina havo orlig'ida magnit induksiyaning taxminan sinusoidal tarqalishini ta'minlash maqsadida, qo'zg'atish chulg'ami o'tkazgichlari rotor doirasining 2/3 qismidagi pazlarda taqsimlangan holda joylashtirilgan bo'ladi. Shu maqsadda ayon qutbli sinxron mashinalarda qutb uchligiga maxsus shakl beriladi, ya'ni uning chekkalaridagi havo oralig'i $\delta_{\max}$ qutb o'rtasidagi δ ga nisbatan $1,5 \div 2$ baravar katta qilib tayyorlanadi.

Ayon qutbli sinxron mashinalarda rotorning markazdan qochirma kuchlari katta bo'lganligidan qutblar soni nisbatan kam ($2p \geq 4$) qilib tayyorlanadi (10.3,a-rasm), chunki $n = n_1 = 60$ f/p ifodaga binoan umumiy qo'llanishdagi o'zgaruvchan tok chastotasi $f_1 = 50 \text{ Hz} = \text{const}$ bo'lishi uchun rotorning aylanish chastotasi kam bo'lgan hollarda qutblar sonini oshirish zarur bo'ladi.

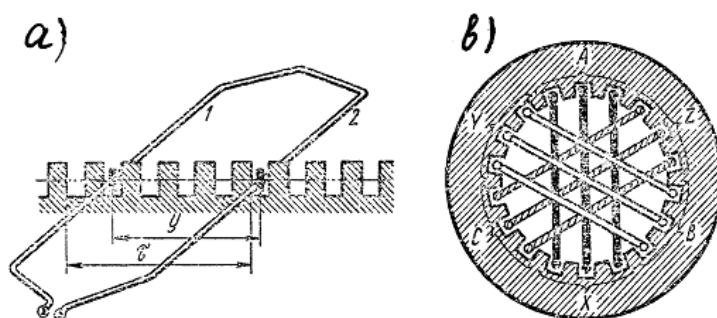
10.2§. O'zgaruvchan tok mashinalarining stator chulg'ami va uning tarkibiy qismlari

O'zgaruvchan tok mashinalarida stator chulg'ami po'lat o'zak pazlariga ma'lum tartibda joylashtiriladi. Bir xil pazlarda joylashgan o'ramlar bir-biri bilan ketma-ket ulanib g'altak (seksiya)larni hosil qiladi (10.4,a-rasm). Qo'shni pazlarda joylashgan g'altaklar ketma-ket ulanib g'altaklar guruhini hosil qiladi. Ular mashinaning bitta fazasi va juft qutbiga to'g'ri keladi. Chulg'amning har bir fazasi AX, BY, CZ bir necha parallel (faza toki katta bo'lgan hollarda) yoki ketma-ket ulangan g'altaklar guruhidan tashkil topadi. O'zgaruvchan tok chulg'amlarini tushuntirishda metodik mulohazalar nuqtai nazaridan kitobda fazaviy chulg'am uchlarining boshlari A,B,C, oxirlari esa X,Y, Z lotin harflari bilan belgilanadi. Ta'kidlash lozimki, bunday uslubiy yondashish chulg'amlarni nazariy o'rganishda yaqqollikni ta'minlaydi (amalda esa standartda belgilanganlarga rioya qilinadi).

Ilgari uch fazali stator chulg'amining uchlari quyidagicha: C1–C4 (1-faza), C2–C5 (2-faza), C3–C6 (3-faza) belgilangan. Xalqaro standartga moslashtirib ishlab

chiqilgan standart (ГОСТ 26772-85)ga muvofiq 1.01.1987 dan boshlab MDH mamlatlari elektr mashinasozligi zavodlarida ishlab chiqarilayotgan o'zgaruvchan tok mashinalari stator chulg'ami fazalarining boshi va oxirlariga ochiq sxema uchun yangicha belgilanish joriy qilingan, ya'ni: U1–U2 (1-faza), V1–V2 (2-faza), W1–W2 (3-faza). Statorning fazaviy chulg'amlari yulduz (Y) yoki uchburchak (Δ) usulida ulanishi mumkin, shu maqsadda klemmalar qutichasida chulg'am uchlarining boshi va oxiri ma'lum tartibda joylashtiriladi.

10.4–rasm. Ikkita o'tkazgichdan hosil bo'lgan o'ram (a) va uch fazali chulg'am g'altaklarining statorda joylashishi (b)



Chulg'amning eng oddiy elementi o'ram (10.4,a- rasm) hisoblanadi. O'ram bir-biridan yakor aylanasi chulg'am qadami «y» ga teng bo'lgan masofadagi pazlarda joylashgan ikkita o'tkazgich (sim)ning ketma-ket ulanishidan hosil bo'ladi. Bu masofa taxminan qutb bo'linmasi $\tau \approx \tau = \pi D / (2p)$ ga teng bo'ladi (bu yerda: D – statorning ichki diametri; $2p$ – qutblar soni). Qutb bo'linmasi τ ni pazlar soni Z orqali ham aniqlash mumkin, bu holda chulg'am qadami:

$$y = \tau = Z / (2p), \quad (10.1)$$

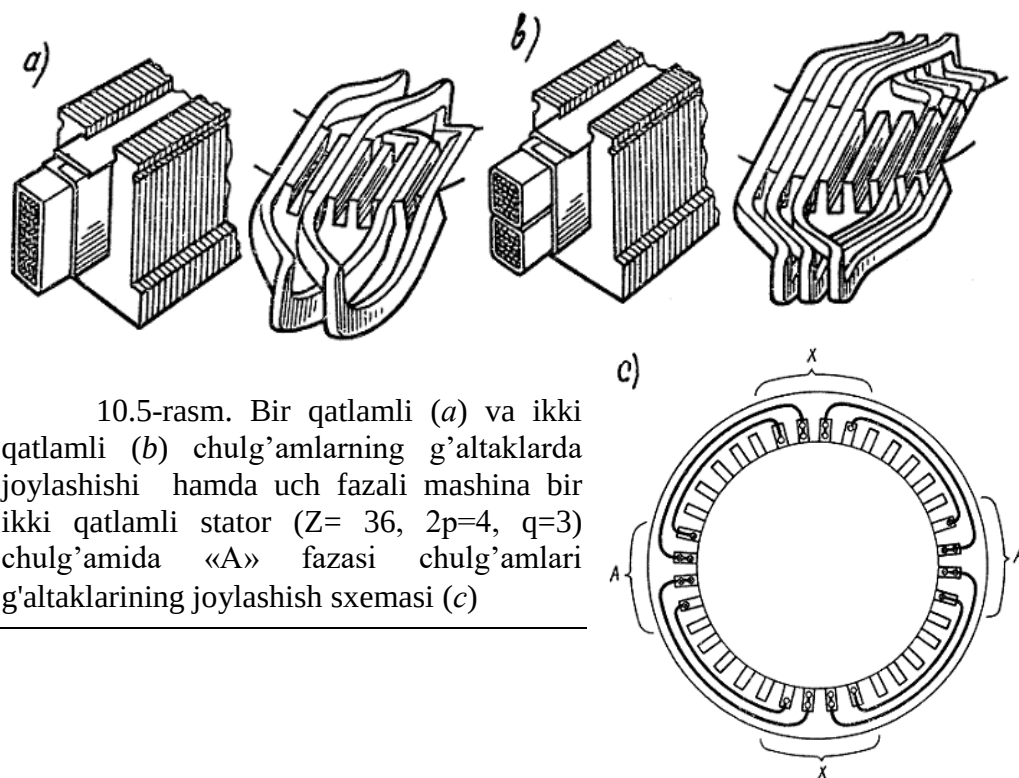
Agar $y = \tau$ bo'lsa, chulg'am diametral yoki to'la qadamli, $y < \tau$ bo'lsa – qisqartirilgan qadamli, $y > \tau$ bo'lganda esa uzaytirilgan qadamli chulg'am deyiladi. Qo'shni pazlarda joylashgan bitta g'altak guruhidagi g'altak tomonlari q ta pazlarni egallab fazoviy siljish burchagi bilan faza oralig'ini hosil qiladi:

$$\alpha = 2\pi \cdot p \cdot q / Z \quad (10.2)$$

$$q = Z / (2p \cdot m), \quad (10.3)$$

bu yerda m – fazalar soni.

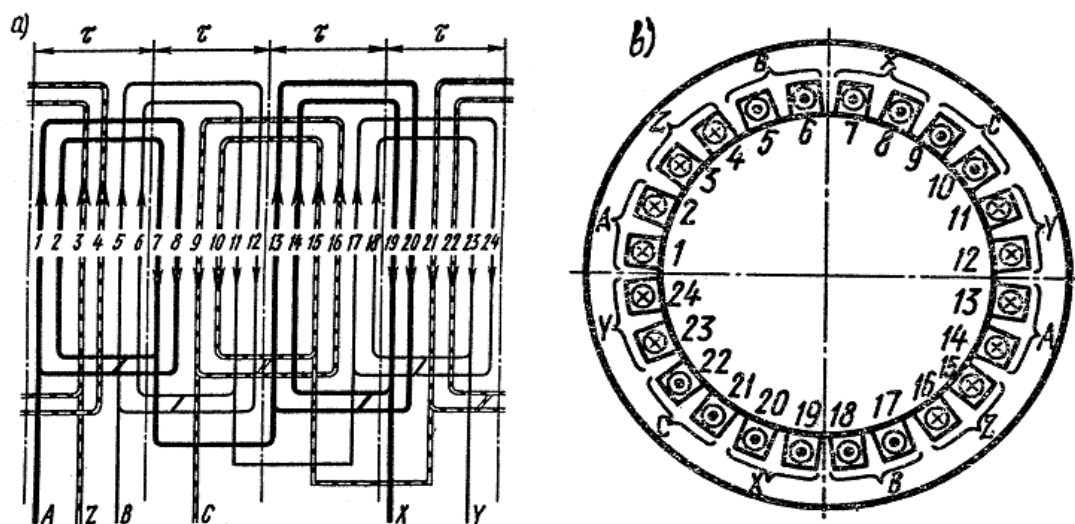
10.4,b-rasmda ko'rsatilgan stator chulg'amining har bir fazasi AX, BY, CZ uchta g'altakdan tashkil topgan bo'lib, tomonlari uchta pazlarda joylashgan, ya'ni $q = 3$. Umuman uch fazali chulg'amda bitta qutb bo'linmasida $3q$ pazlar joylashgan bo'ladi, $q=1$ bo'lganda esa har bir qutb tagida bir fazaning bitta g'altagi joylashgan bo'ladi.



10.5-rasm. Bir qatlamli (a) va ikki qatlamli (b) chulg'amlarning g'altaklarda joylashishi hamda uch fazali mashina bir ikki qatlamli stator ($Z = 36$, $2p = 4$, $q = 3$) chulg'amida «A» fazasi chulg'amlari g'altaklarining joylashish sxemasi (c)

Seksiya tomonlarining pazlarda joylashish tartibi va pazlardan tashqari qismining joylashtirilishiga qarab chulg'amlar bir qatlamli, ikki qatlamli va bir-ikki (kombinatsiyalangan) qatlamli bo'ladi. Agar pazda seksiyaning faqat bitta tomoni joylashgan bo'lsa – bir qatlamli (10.5,a-rasm), pazda seksiyaning yuqorigi qatlami va boshqa seksiyaning pastki qatlami ustma-ust joylashgan bo'lganda esa – ikki qatlamli (10.5,b-rasm) chulg'am deyiladi. Bir-ikki qatlamli konsentrik chulg'amlarda (10.5,c-rasm) bir qatlamli chulg'am g'altaklarini pazlarga joylashtirishda mexanizatsiyani qo'llashning yengilligi va ikki qatlamli chulg'amlarda esa qisqartirilgan qadam qo'llash mumkinligi kabi afzalliklarini o'zida mujassamlashtirgan. Bunday chulg'amlar quvvati $15 \div 100$ kW ($q \leq 6$) 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 oshishiga, mexanik xarakteristikada o'pirilish (ya'ni keskin pasayish)lar vujudga kelishiga va g'uvillashining 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 $10 \div 15$ kW gacha bo'lgan) mashinalarning stator chulg'ami uchun keng qo'llanilmoqda. 10.6-rasmda bir qatlamli chulg'amning amalda keng qo'llaniladigan turi, ya'ni bir qatlamli konsentrik chulg'am sxemasi ko'rsatilgan ($Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$, $a = 1$). 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 10.7,a va 10.7,b-rasmlarda ko'rsatilgan.



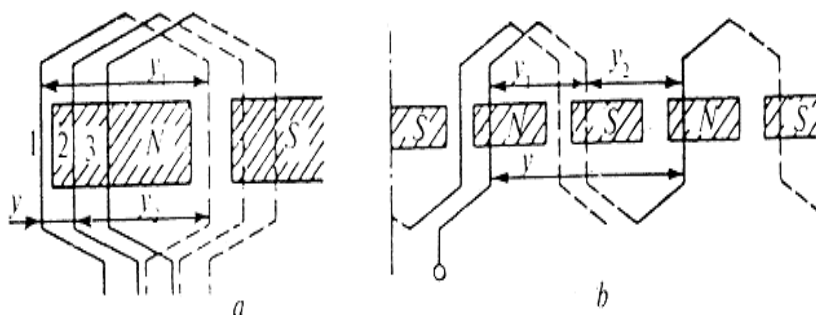
10.6-rasm. Uch fazali bir qatlamli konsentrik chulg'am sxemasi ($Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$, $a = 1$) (a) va stator g'altaklarning joylashishi (b)

Ikki qatlamli sirtmoqsimon chulg'amlar turbogeneratorlarda va umumiy maqsadli o'zgaruvchan tok elektr mashinalarida keng qo'llaniladi. Mashinaning har bitta qutbga va fazasiga to'g'ri keladigan pazlar soni q butun

songa teng bo'lgan sirtmoqsimon chulg'am umumiy maqsadli o'zgaruvchan tok mashinalarida keng qo'llanishini e'tiborga olib quyidagi misolda ko'rib chiqamiz.

10.1-m i s o l. Berilganlar, ya'ni: pazlar soni $Z = 24$ va qutblar soni $2p = 4$ bo'lgan uch fazali ($m = 3$) chulg'amni hisoblash, yoyma sxemasini chizish va uning asosida parallel shoxobchalar hosil qilish hamda chulg'amning pazlardagi EYuK lar yulduzini qurish talab etiladi.

10.7-rasm.
Sirtmoqsimon (a) va
tulqinsimon (b)
chulg'amlarning
seksiyalari



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

$$q = Z / (2p \cdot m) = 24 / (4 \cdot 3) = 2. \quad (10.4)$$

Tish bo'linmasida ifodalangan qutb bo'linmasi quyidagicha topiladi:

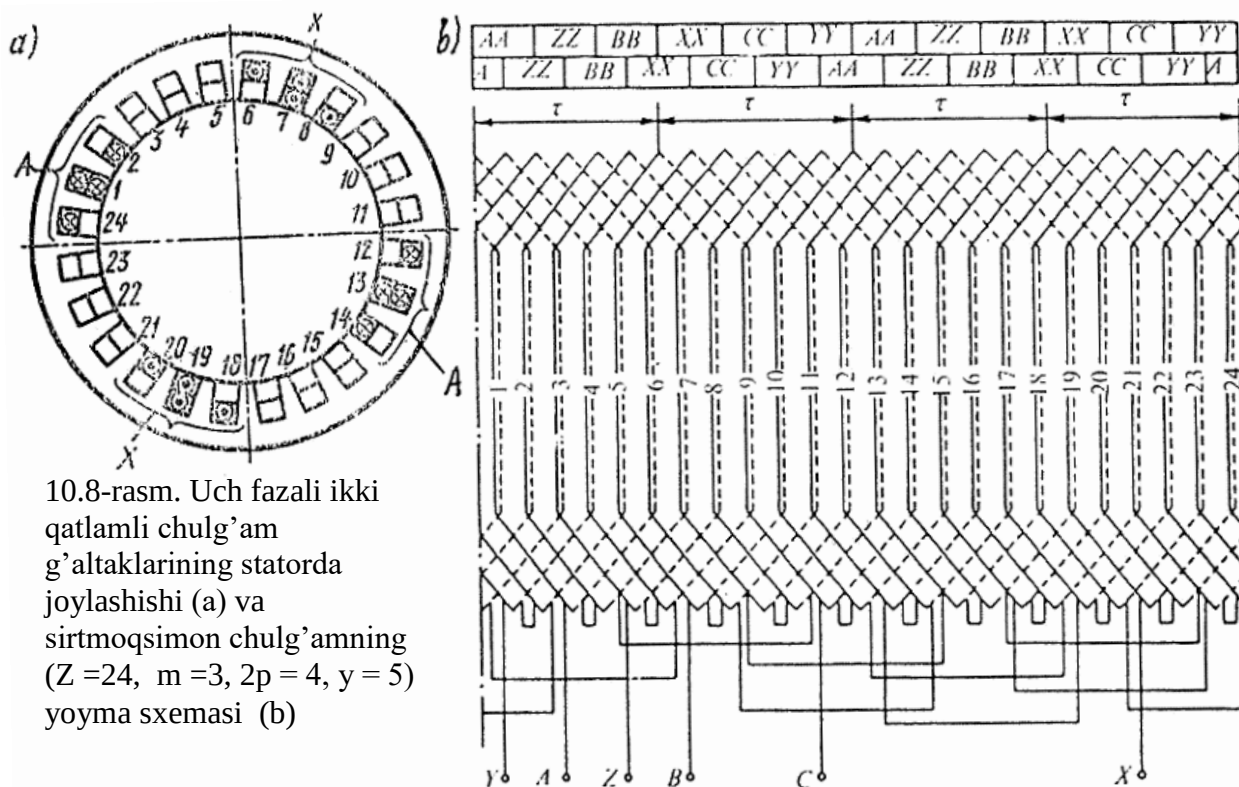
$$\tau = Z / (2p) = 24 / (2 \cdot 2) = 6. \quad (10.5)$$

O'zgaruvchan tok mashinada MYuK (yoki EYuK) 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:

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

Bu chulg'amning sxemasi 10.8-rasmda ko'rsatilgan. Bu chulg'am sxemasining tuzilishi quyidagicha tushuntiriladi: dastavval pazlarning ustida joylashgan g'altaklar tomonlarini har qaysi oraliqda ikkita pazda joylashgan tomonni ($q = 2$) faza oraliqlari bo'yicha taqsimlab chiqamiz. Agar 1 va 2-pazlarni «A» faza oralig'i uchun ajratilsa, u holda «B» faza oralig'iga 5 va 6-pazlarni ajratish kerak bo'ladi, chunki «B» faza «A» fazaga nisbatan 120° ga siljigan bo'ladi, ya'ni 2 ta oraliq 60°

dan yoki 4 ta ($120^\circ/\alpha = 120^\circ/30 = 4$) pazga siljigan bo'lishi kerak ($1+4 = 5$; $2+4 = 6$). "C" faza oralig'i ham "B" faza oralig'iga nisbatan 120° ga siljib, $5+4=9$ va $6+4=10$ pazlarni egallaydi. Keyingi qo'sh qutb bo'linmasi davomida ham (pazlar $13\div 24$) «A», «B» va «C» oraliqlarning almashib kelishi shunday tartibda amalga

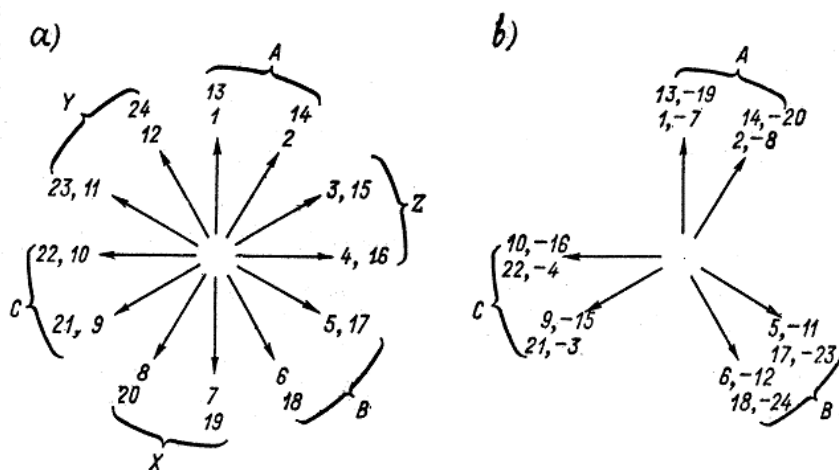


oshadi («A» faza oralig'iga 13, 14-pazlar; «B» faza oralig'iga 17, 18-pazlar; «C» faza oralig'iga 21, 22-pazlar to'g'ri keladi). Demak, ustki qatlam shu tarzda taqsimlanadi.

Boshqa faza oraliqlarini ham «A», «B», «C» fazalar bo'yicha taqsimlab chiqamiz va ularni mos ravishda «X», «Y», «Z» bilan belgilaymiz. Bunda «A» fazaga tegishli «X» oraliq uchun «A» oraliqqa nisbatan $\tau=6$ taga siljigan pazlarni ajratamiz, ya'ni $1+6=7$, $2+6=8$, $13+6=19$, $14+6=20$ -pazlar. Xuddi shunday «Y» oraliqqa $5+6=11$, $6+6=12$, $17+6=23$, $18+6=24$ -pazlarni, «Z» oraliq 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 oralig'i

bo'yicha tarqalishiga ega bo'lamiz. «A», «B», «C» va «X», «Y», «Z» oraliqlar orasidagi farq shundaki, g'altaklarning tomonlaridagi EYuK lar 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, 10.8-rasm yuqori qismining pastki qatorida ko'rsatilganidek, chap tomonga bir tish bo'linmasiga siljiydi. Pastki tomonlarni oraliqlar bo'yicha bo'lib chiqmasa ham bo'ladi, chunki g'altaklarning pazlardan tashqari qismlarini chizganda o'z-o'zidan kelib chiqadi.

10.9-rasm. 10.8-rasmda tasvirlangan chulg'amning pazlardagi o'tkazgichlar EYUKlari (a) va g'altaklar EYUK lari yulduzlari (b)



Shuni ta'kidlash lozimki, 10.8-rasmdagi «A», «Z», «B», «X», «C», «Y» oraliqlarning har bir oraliqda q ta paz bilan qo'sh qutb bo'linmasi davomida almashib kelishi faza oralig'i 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 EYuK lari yulduzi (10.9-rasm) yordamida ham amalga oshirish mumkin. Qo'shni pazlar o'tkazgichlaridagi EYuK larning faza bo'yicha siljish burchagi α ko'rilyotgan misolda quyidagicha topiladi:

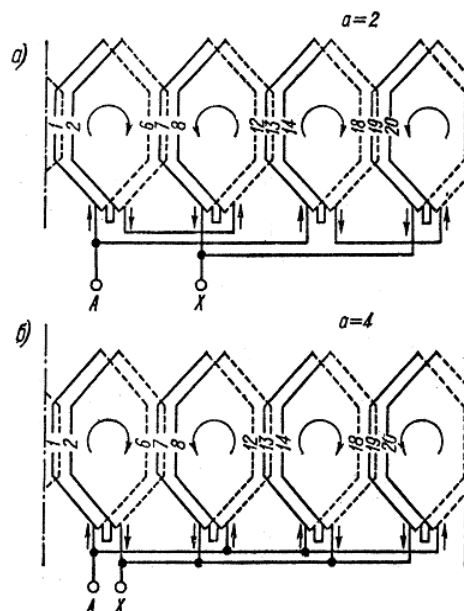
$$\alpha = p \cdot 360^\circ / Z = 2 \cdot 360^\circ / 24 = 30^\circ.$$

Pazlardagi g'altaklar tomonlari EYuK larining vektorlari qo'sh qutb bo'linmasi davomida aylanib kelishi (1÷12 vektorlar) EYuK vektorlarining yulduzi q butun son bo'lganda, mos keluvchi pazlarning (1 va 1+12 = 13 hamda

shunga o'xshashlar) EYuK lari ustma-ust tushganligi uchun faza bo'yicha takrorlanadi (10.9-rasm). Agarda birinchi ikki vektorni «A» oraliq'i uchun (1; 2 va 13; 14-vektorlar) ajratsak (10.8-rasm), u holda «B» va «C» oraliqlardagi vektorlar «A» oraliq vektorlariga nisbatan 120° va 240° ga siljigan bo'ladi. «X», «Y», «Z» oraliqlarining vektorlari esa «A», «B», «C» oraliqlar vektorlariga nisbatan 180° ga siljigan bo'ladi. Natijada 10.8-rasmdagi yuqori qatorda ko'rsatilgan oraliqlar bo'yicha pazlarning tarqalishiga ega bo'lamiz. 10.8-rasmdagi 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 EYuK lari ham 30° ga siljigan bo'ladi, demak, pazlardagi g'altaklar o'tkazgichlarining EYuK lari yulduzini (10.9, a-rasm) g'altaklar EYuK lari yulduzi (10.9,b-rasm) deb qarash mumkin. Har bir g'altak guruhlariga chegarasida $q = 2$ g'altaklar ketma-ket ulanadi. Shunday qilib, «A» faza uchun (10.9,a-rasm) 4 ta, ya'ni 1–2, 7–8, 13–14 va 19–20 g'altaklar guruhiga ega bo'lamiz. Barcha guruh EYuK 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 (10.9,b-rasmda minus « $\leftarrow$ » ishorali paz raqamlari). Boshqa fazalardagi guruhlarining ulanishi ham xuddi shunday usul bilan amalga oshiriladi «X», «Y», «Z» oraliqlardagi g'altak guruhlarining chulg'amda teskari ulanishi shu oraliqlardagi g'altak EYuK vektorlarining 180° ga burilganiga ekvivalent (teng kuchli)dir. Bunda 10.9,a-rasm o'rniga 10.9,b-rasmdagi g'altaklar EYuK 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 EYuK lar mos sektordagi g'altaklar EYuK lari vektorlarining yig'indisiga teng. Demak, hamma fazadagi EYuK lar bir biriga teng va faza bo'yicha 120° ga siljigan bo'ladi.

10.8-rasmda «A», «B» va «C» fazalarning bosh uchlari o'rnida bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan 1, 5 va 9 g'altaklarning bosh uchlari olingan. «X», «Y» va «Z» fazalarning oxirgi uchlari o'rnida 19, 23 va 3 g'altaklarning boshlanishi mos keladi. Faza oralig'i $\alpha = 60^\circ$ bo'lgan ikki qatlamli chulg'amning har bitta fazasidagi g'altaklar guruhlarining soni qutblar soni $2p$ ga teng. Har bitta qutbga va fazaga to'g'ri kelgan pazlar soni q butun son bo'lsa $a = 2p$ gacha bo'lgan bir xil qiymatli va fazalari mos bo'lgan EYuK lar hosil bo'ladigan parallel shoxobchalar (a) ni bajarish mumkin. Masalan, ko'rilayotgan ($2p = 4$) chulg'amda $a = 1; 2$ yoki 4 ta parallel shoxobcha bajarish mumkin (10.10-rasm).

10.10.-rasm. 10.8-rasmda tasvirlangan chulg'am «A» fazasining parallel shoxobchalari soni $a = 2$ (a) va $a = 4$ (b) bo'lgandagi ulanish sxemalari



Uch fazali ikki qatlamli to'liqinsimon chulg'amlar. Katta quvvatli ko'p qutbli o'zgaruvchan tok mashinalarida, xususan, gidrogeneratorlarda magnit oqimning kattaligi va g'altaklar sonining ko'pligi tufayli stator chulg'aminin zaruriy kuchlanishi g'altakdagi o'ramlar soni $w_g' = 1$ bo'lganda erishiladi. Bu holda ikki qatlamli chulg'am har qaysi pazda faqat ikki o'tkazgich yoki katta kesimli sterjenlarning pazdan tashqari qismlarini maxsus payvandlash yo'li bilan hosil qilinadigan o'ramlardan iborat bo'ladi. Bunday chulg'amni sterjenli chulg'am deyiladi.

Sterjenli to'liqinsimon chulg'amlar asosan katta quvvatli gidrogeneratorlarning stator chulg'ami uchun hamda o'rta va katta quvvatli faza rotorli asinxron

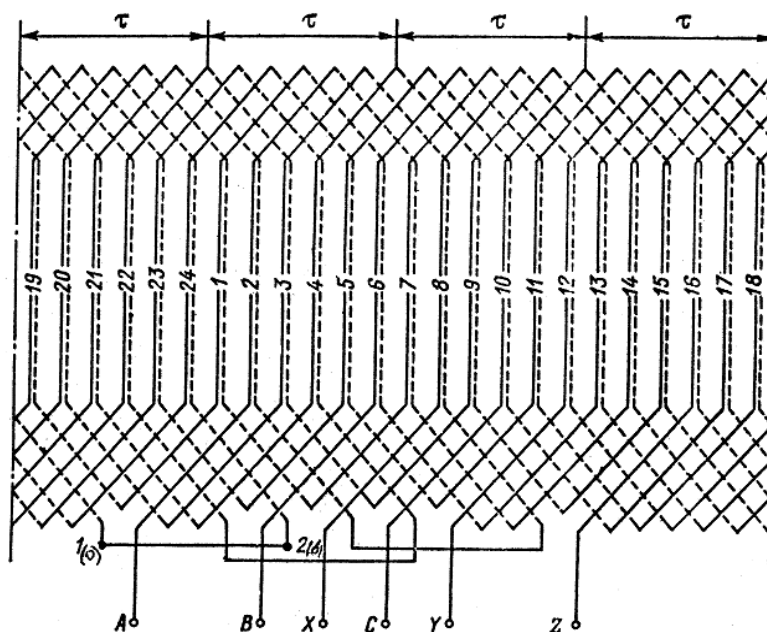
motorlarning rotor chulg'ami uchun qo'llaniladi, chunki bu holda g'altak guruhlari o'zaro ulashlarning kamayishi hisobiga misni tejashga va chulg'amni tayyorlash uchun mehnat sarfining kamayishiga erishiladi. Bu iqtisod ayniqsa ko'p qutbli o'zgaruvchan tok mashinalarida, masalan, gidrogeneratorlarda anchagina bo'ladi.

10.2-m i s o l. Quyidagi berilganlar bo'yicha to'lqinsimon chulg'amni o'rganish talab etiladi: $Z = 24$, $m = 3$, $2p = 4$, $q = 2$, $y_1 = 5$, $y_2 = 7$, $\beta = 5/6$. O'zgaruvchan tok to'lqinsimon chulg'amda pazlar soniga teng bo'lgan g'altaklarning umumiy soni uchga bo'linishi talab qilinadi. Bunday chulg'amni hosil qilish uchun natijaviy qadam qo'llaniladi.

$$y_{\text{nat}} = Z / p = 6q \quad (10.6)$$

Chulg'am to'lqinining har xil qutblar ostidan ketma-ket o'tishida magnit maydonda siljish bo'lmaydi, lekin to'lqin boshlang'ich o'tkazgichga aylanib (qaytib) kelganda, natijaviy qadam unga nisbatan bitta sterjenga (orqaga yoki oldinga) sun'iy siljish qilinadi va bundan keyin y_{nat} qadam bilan yangi o'tish boshlanadi. Uch fazali ikki qatlamli sterjenli to'lqinsimon chulg'am sxemasi (10.8-rasmdagi sirtmoqsimon chulg'amga oid berilganlar bo'yicha) 10.11-rasmda tasvirlangan. Faza oraliqlari bo'yicha pazlarning taqsimlanishi va g'altak tomonlari (o'tkazgichlari) EYuK lari yulduzi ikki qatlamli sirtmoqsimonniki bilan bir xil bo'ladi. Sxemani ko'rib chiqish o'ng'ay bo'lishi uchun chulg'am sxemasining chizmasi 10.8-rasmdagiga nisbatan boshqa joydan qirqilgan holda tasvirlangan.

10.11-rasm. Uch fazali ikki qatlamli to'lqinsimon chulg'am sxemasi ($Z=24$, $m=3$, $2p=4$, $q=2$, $y_1=5$, $y_2=7$, $\beta=5/6$;
«b» – boshi, «o» – oxiri



10.11-rasmdagi sxemada «A» fazaning boshlanishi № 2 o‘ramdan, ya’ni 2-pazning ustki qatlamidan boshlangan. Bu o‘ramni hosil qilish uchun pazlar sonida hisoblanadigan to‘la qadam $y_\tau = \tau = Z/(2p) = 24/4 = 6$ dan bittaga qisqartirilgan ($\beta = y/\tau = 5/6 = 0,833$; $y_1 = y_\tau \cdot \beta = 6 \cdot 0,833 = 5$), ya’ni $2 + y_1 = 2 + 5$ qadamdagi №2 o‘ramning oxiri (7-pazning pastki qatlami)dan to‘la qadamga nisbatan bittaga uzaytirilgan $y_2 = 7$ qadam bilan №14 o‘ramga o‘tiladi va bu o‘ramning oxiri (19-pazning pastki qatlami)da yakor (stator) to‘la («p» ta, ya’ni juft qutblar soniga teng bo‘lgan $p = 2$ o‘ram aylanib chiqiladi.

Yakorni ikkinchi o‘tishda №14 o‘ramning oxirini №1 o‘ram boshiga ulash bilan boshlanadi. Bu ulanish boshqa ulanishlarga (masalan, №2 va №14 g‘altaklar orasidagi ulanish 7 ta tish bo‘linmasiga teng) nisbatan qisqa. Yakorni ikkinchi aylanishda yana $p = 2$ ta (№1 va №13) g‘altak o‘tiladi va bu aylanishni 18-pazning pastki tomoni (10.11-rasmda 1(o))dan chiqish bilan tugaydi (bunda indeks «(o)» – oxiri degan ma’noni beradi). Berilgan misolda $q = 2$ bo‘lgani uchun shu bilan yakor atrofini aylanib o‘tishning birinchi sikli tugaydi. Bitta qutbga va har bitta fazaga to‘g‘ri keladigan pazlar soni $q = 3, 4$ va undan ko‘p bo‘lganda bu sikl 3, 4 va boshqa o‘tishlar (aylanib chiqishlar)ni o‘z ichiga olib, bunga chulg‘amning «pq» o‘ram (ya’ni g‘altak)lari kiradi (berilgan misolda $2 \times 2 = 4$ o‘ram), ya’ni fazaning barcha $2pq$ g‘altaklarining yarmi kiradi.

10.11-rasmda «A» fazani aylanib o‘tishning ikkinchi sikli (2(b) ning oxiri) №19 g‘altakning pastki tomoni (ya’ni №24 pazning pastki tomoni)dan boshlangan, bunda (berilgan holda) fazaning barcha o‘ramlari 1(o)2(b) ulagich orqali ketma-ket ulangan. Aylanib o‘tishning ikkinchi sikli teskari yo‘nalishda amalga oshiriladi, shu bilan birga $q = 2$ aylanib o‘tishda 20, 8, 19, 7 pazlardagi g‘altaklarni qamrab oladi va fazaning oxiri «X» bilan tugaydi. «B» va «C» fazalardagi ulanishlar ham shunga o‘xshash bajariladi. O‘zgaruvchan tok mashinasining qutblar sonidan qat’iy nazar chulg‘am har qaysi fazadagi aylanib

o'tishlar sikllarini ulaydigan uchta ulagichdan iborat bo'ladi. Shunday qilib, to'liqsimon chulg'amning har bitta fazasi har qaysida «pq» g'altak bo'lgan ikkita qismdan tashkil topgan. Bu qismlarni parallel ulasa ham bo'ladi. Bu holda to'liqsimon chulg'am o'ng'ay bajariladigan $a = 2$ parallel shoxobchalarga ega bo'lishi mumkin. Ta'kidlash lozimki, qisqartirilgan qadamli to'liqsimon chulg'amlar sirtmoqsimon chulg'amlardagi singari mashinaning elektromagnit xossalarini yaxshilaydi, lekin chulg'amning birinchi qisman qadami y_1 bittaga qisqartirilib, ikkinchi qisman qadami y_2 esa bittaga uzaytirilgani tufayli chulg'amning pazlardan tashqari qismining umumiy uzunligi o'zgarmaydi va, demak, mis tejalmaydi.

Ikki qatlamli sterjenli to'liqsimon chulg'amlar o'rta va katta quvvatli faza rotorli asinxron motorlarning rotor chulg'amini bajarishda ham keng qo'llaniladi. Bu holda chulg'am to'la qadam ($y = \tau$) bilan bajarilib, uning A, B, C boshlari va X, Y, Z oxirlari, rotor massasini muvozanatlash maqsadida, aylana bo'yicha bir tekis taqsimlanadi.

10.3§. O'zgaruvchan tok mashinalari chulg'amlaridagi elektr yurituvchi kuchlar

Sinxron va asinxron mashinalarda aylanma magnit maydon hosil qilish usullari har xil bo'lsa ham (masalan, sinxron generatorda rotor bilan birga aylanadigan qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok berib aylanma magnit maydon hosil qilinsa, uch fazali asinxron motorda 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 EYuK larning hosil bo'lish jarayoni bir xil kechadi.

Sinxron generatorlarning stator chulg'ami o'tkazgichlariga (o'ramlariga ham) nisbatan har xil qutbiylidagi (ishoradagi) qutblar navbatma-navbat o'tishi tufayli hosil bo'ladigan EYuK o'z yo'nalishini o'zgartirib turadi, ya'ni o'zgaruvchan bo'ladi. Magnit maydon bir marta aylanganida o'tkazgichdagi EYuK ning davri «p» ga, «n» ta aylanganida esa «pn» ga teng bo'ladi; demak, uning

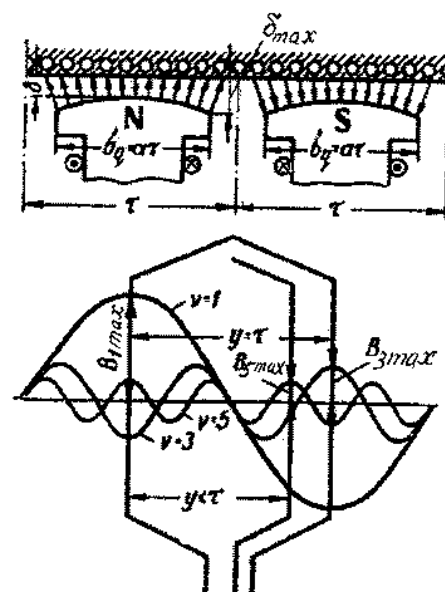
chastotasi: $f_1 = pn/60$. Mashina havo oralig'ining «x» nuqtasidagi o'tkazgich EYuK ning oniy qiymatini aniqlash formulasi umumiy hol uchun quyidagicha yoziladi:

$$e_{o'tk.x} = B_{\delta x} l_{\delta} v. \quad (10.7)$$

Bundan, rotorning burchak tezligi v ni o'zgarmas qilinganda va stator chulg'ami o'tkazgichining aktiv (magnit maydon ta'siridagi) uzunligi $l_{\delta} = \text{const}$ bo'lganligi tufayli, EYuK magnit maydonga mutanosib ravishda o'zgarib, uning vaqt bo'yicha o'zgarish shakli mashina havo oralig'idagi magnit induksiya B_{δ} ning qo'sh qutb bo'linmasi (2τ)dagi taqsimlanishini takrorlaydi. Umumiy holda induksiyaning taqsimlanish shakli nosinusoidal xarakterda bo'ladi. Induksiyaning egri chizig'i abstsissalar o'qiga va qutblar o'qiga nisbatan simmetrik bo'lganligi tufayli, bu egri chiziqni Fure qatoriga yoyganda, unda faqat toq garmonikalar bo'ladi (10.12-rasm). Ularni fazoviy garmonikalar deyiladi, chunki bu garmonikalar induksiyasining 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 EYuK ning 1-garmonikasi ($e_{o'tk1}$), uning amplitudasi ($E_{o'tk,max1}$) va ta'sir etuvchi ($E_{o'tk1}$) qiymatlari quyidagilarga teng bo'ladi:

10.12-rasm. Ayon qutbli sinxron generatorda qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan magnit maydon induksiyasi garmonikalarining mashina havo oralig'idagi stator yuzasi buylab taqsimlanishi; b_q – qutb uchligi kengligi



$$e_{o'tk,1} = E_{o'tk,max1} \sin \omega t; \quad (10.8)$$

$$E_{o'tk,max1} = B_{\delta,max1} \cdot l_{\delta} \cdot v ; \quad (10.9)$$

$$E_{o'tk,1} = E_{o'tk,max1} / \sqrt{2} = (B_{\delta,max1} / \sqrt{2}) \cdot l_{\delta} \cdot v, \quad (10.10)$$

bu yerda: $B_{\delta,max1}$ – mashina havo oralig'idagi magnit maydon induksiya sinigining 1-garmonikasi, T; l_{δ} – o'tkazgichning aktiv magnit maydon ta'siridagi uzunligi, m; v – aylanma magnit maydonning burchak tezligi, m/s.

EYuK ni hisoblashda qutb bo'linmasidagi magnit oqim Φ_{δ} dan foydalanish ma'qul hisoblanadi. Uning 1-garmonikasi quyidagiga teng:

$$\Phi_{\delta 1} = B_{\delta(o'rt),1} \cdot \tau \cdot l_{\delta}, \quad (10.11)$$

bu yerda: $B_{\delta(o'rt),1}$ – magnit induksiyaning o'rtacha qiymati; $\tau = \pi D_1 / (2p)$ – qutb bo'linmasi; D_1 – statorning ichki diametri.

Sinusoida uchun $B_{\delta(o'rt),1} = (2/\pi) \cdot B_{\delta,max1}$ bo'lganligi tufayli (10.11) formuladan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$V_{\delta,max1} = \pi F_{\delta 1} / (2\tau \cdot l_{\delta}). \quad (10.12)$$

$V_{\delta,max1}$ ning bu qiymatini (10.10) ga qo'yib va

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

tenglikni hisobga olgan holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$E_{o'tk,1} = 2 [\pi / (2\sqrt{2})] \cdot f \cdot \Phi_{\delta 1} = 2,22 f \Phi_{\delta 1}. \quad (10.13)$$

Magnit maydon shakli nosinusoidal bo'lganda o'tkazgichdagi EYuK quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$E_{o'tk} = 2 k_B f \Phi_{\delta}; \quad (10.14)$$

bu yerda: $k_B = B_{\delta,max1} / B_{o'rt}$ – 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 EYuK lari faza jihatdan mos tushmaydi. Qo'shni pazlardagi o'tkazgichlar EYuK larining vektorlari bir-biridan o'zaro elektr burchakka siljigan bo'ladi.

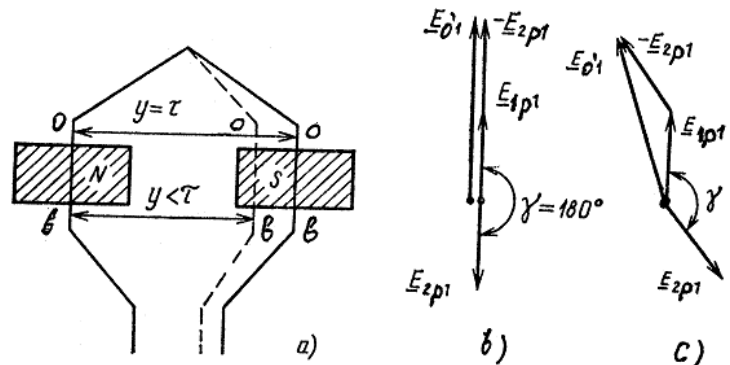
$$\alpha_e = 360 p / Z = \alpha p$$

G'altak o'ramining EYuK. Agar g'altak o'ramlari bir-biridan qutb bo'linmasiga teng ($y = \tau$) bo'lgan masofadagi pazlarda joylashgan o'tkazgichlardan yasalgan bo'lsa, ulardagi EYuK lar o'zaro 180° ga siljigan bo'ladi, chunki o'ramning aktiv tomonlari (o'tkazgichlari) qarshi ulangan, ya'ni chap tomondagi o'tkazgichning oxiri o'ng tomondagi o'tkazgich oxiri bilan birlashtirilgan (10.13,a-rasm).

Shu sababli o'ramning EYuK ($E_{o'r.1}$) o'tkazgichlardagi EYuKlarning geometrik (vektor) ayirmasiga teng bo'ladi (10.13,b-rasm). Bu vektor diagrammadan ko'rinishicha, chulg'am qadami diametral ($y = \tau$) bo'lganda o'tkazgichlar EYuK larining geometrik ayirmasi ($E_{o'r.1(d)} - \text{o'ram EYuK}$) ularning arifmetik yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$E_{o'r.1(d)} = 2 E_{o'tk.1} = 4,44 f \Phi_{\delta 1}. \quad (10.15)$$

10.13-rasm. Bitta o'ramning EYUKni aniqlashga oid chizma (a) (bunda: « θ » – boshi, « o » – oxiri) chulg'am qadami diametral ($y = \tau$) (b) va qisqartirilgan ($y < \tau$) (c) bo'lgandagi EYUK larning vector diagrammalari



Chulg'am qadami qisqartirilgan ($y < \tau$) bo'lganda o'tkazgichlar EYuK larining geometrik ayirmasi ($E_{o'r.1(qis)} - \text{o'ram EYuK}$), chulg'am qadami diametral bo'lgandagi ularning arifmetik yig'indisidan kichik ($E_{o'r.1(qis)} < E_{o'r.1(d)}$) bo'ladi:

$$E_{o'r.1(qis)} = 2 E_{o'tk.1} \cdot \sin(\beta\pi/2) = 4,44 f \Phi_{\delta 1} k_{qis.1}, \quad (10.16)$$

$$\text{bu yerda} \quad k_{qis.1} = \sin(\beta\pi / 2) \quad (10.17)$$

– chulg'am qisqartirish koefitsientining 1-garmonikasi;

$\beta = (y / \tau)$ – chulg'amning nisbiy qadami.

Qisqartirish koefitsienti v -garmonika uchun quyidagicha yoziladi:

$$k_{qis.v} = \sin(v\beta\pi / 2). \quad (10.18)$$

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

$$E_{s,1(qis)} = w_s \cdot E_{o'r,1(qis)} = 4,44 f \Phi_{\delta 1} w_s \cdot k_{qis,1} \quad (10.19)$$

G‘altaklar guruhining EYuK. Agar g‘altaklar guruhidagi barcha seksiyalar bir-biridan chulg‘am qadami $y = \tau$ masofada joylashgan ikkita pazga to‘plansa, u holda EYuK lar faza jihatdan mos tushar, barcha seksiyalar guruhining EYuK esa, shu guruhni hosil qiluvchi seksiyalar EYuK larining arifmetik yig‘indisiga teng bo‘lar edi (10.13,a-rasm). Lekin, amalda statorlarning taqsimlangan holdagi, ya’ni g‘altaklar guruhi qo‘shni pazlarda joylashgan q ta bir xil g‘altak (seksiya)laridan (10.14,a-rasm) 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 EYuK lar faza jihatdan bir-biriga nisbatan qo‘shni pazlar orasidagi α_e burchakka siljigan bo‘ladi (10.14,b-rasm).

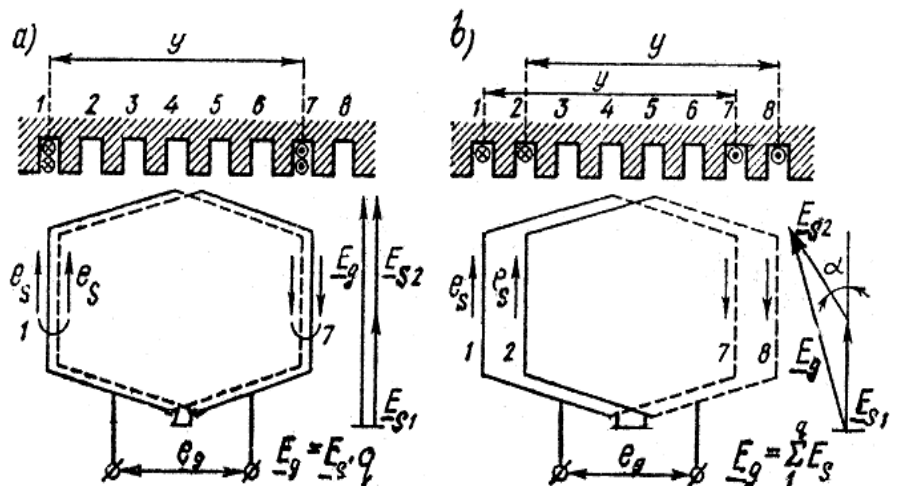
Seksiyalar guruhining hamma seksiyalari o‘zaro ketma-ket ulanganligi sababli seksiyalar guruhining EYuK lari yig‘indisi E_{g1} alohida seksiyalar EYuK

larining geometrik yig‘indisi ($E_{g,1} = \sum_1^q E_{s,1(qis)}$)ga teng bo‘ladi (10.14,b-rasm). 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 EYuK larning nisbati:

$$k_{t1} = E_{g1} / E_{g1(d)} = \sin(q\alpha_e / 2) / [q \sin(\alpha_e / 2)], \quad (10.20)$$

– chulg‘am taqsimlanish koeffitsientining 1-garmonikasi deyiladi.

10.14-rasm.
CHulg‘am seksiyalari ($q=2$) to‘plangan (a) va pazlarda taqsimlangan (b) hol uchun seksiyalar guruhining EYUK E_g va taqsimlanish tushunchasig oid chizmalar ($E_{1g'1}=E_{2g'1}=E_{3q1}=E_{4q1}$) (b) g‘altaklar guruhi EYUK E_{q1} ni aniqlash uchun vector diagramma (c)



Taqsimlanish koeffitsienti v -garmonika uchun quyidagicha yoziladi:

$$k_{tv} = \sin(qv\alpha_e / 2) / [q \sin(v\alpha_e / 2)] . \quad (10.21)$$

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

$$E_{g1} = q E_{s,1} k_{t,1} = 4,44 f \Phi_1 w_s \cdot q k_{qis,1} k_{t,1}. \quad (10.22)$$

Chulg'am fazasining EYuK. Hozirgi kunda o'zgaruvchan tok mashinasi stator chulg'ami uchun ikki qatlamli qisqartirilgan qadamli taqsimlangan chulg'am turi keng qo'llanilmoqda. Avval ta'kidlab o'tilganidek, 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 EYuK shu fazaning tarkibidagi barcha g'altaklar (seksiyalar) EYuK larining yig'indisiga teng bo'ladi. Fazaning ikki qatlamli chulg'ami $2p$ ta g'altaklar guruhidan, bir qatlamli esa p ta guruhdan iborat bo'ladi. G'altaklar guruhleri o'zaro ketma-ket, parallel yoki aralash (ketma-ket va parallel birgalikda) ulanishi mumkin (10.10-rasm). Agar seksiya (g'altak) guruhleri, 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 EYuK ta'sir etuvchi qiymatining 1-garmonikasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \cdot k_{qis,1} \cdot k_{t,1} \cdot \Phi_1 = 4,44 f w_1 \cdot k_{ch,1} \cdot \Phi_1, \quad (10.23)$$

$$\text{bunda} \quad k_{ch,1} = k_{qis,1} \cdot k_{t,1} \quad (10.24)$$

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

10.4§. O'zgaruvchan tok mashinalari chulg'amlarining 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 kuchi (MYuK) havo oralig'ida aylanma magnit maydonini hosil qilishi lozim. Shuning uchun sinusoidal kuchlanish berilayotgan har bir chulg'am, fazoda sinusoidal taqsimlangan MYuK ga ega bo'lishi kerak. Agar bu shartlar bajarilmasa (berilayotgan kuchlanish nosinusoidal yoki MYuK nosinusoidal taqsimlangan bo'lsa), u holda magnit maydoni tarkibida yuqori garmonikalar bo'lib, ular mashinaning energetik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi.

O'zgaruvchan tok mashinasi stator chulg'amlari MYuK larini tahlil qilishda quyidagilar asos qilib olinadi:

- 1) o'zgaruvchan tok chulg'ami MYuK vaqt bo'yicha o'zgaradi va bu bilan birga fazoda (stator aylanasi bo'ylab) taqsimlangan, deb faraz qilinadi;
- 2) stator chulg'amidagi tokning vaqt bo'yicha o'zgarishi sinusoidal shaklda, demak, chulg'am MYuK ham sinusoidal shaklda o'zgaradi;
- 3) mashina havo oralig'i stator perimetri bo'yicha o'zgarmas, ya'ni rotor o'zagi silindrik shaklda, deb hisoblanadi;
- 4) rotor chulg'amida tok yo'q, demak, rotor magnit maydonni hosil qilmaydi, deb faraz qilinadi.

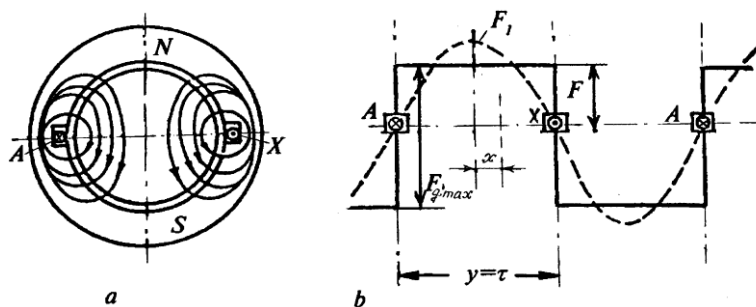
Yig'ilgan chulg'amning MYuK. MYuK ning taqsimlanishini yig'ilgan chulg'amli (10.15-rasm) ikki qutbli mashina misolida ko'rib chiqamiz. Bunda AX faza chulg'amining hamma o'ramlari diametral yuzada joylashgan ikkita pazda joylashgan. Agar tok faza chulg'amining boshi A dan oxiri X ga yo'nalgan bo'lsa, kuch chiziqlari 10.15-rasmida ko'rsatilgandek yo'nalgan ikki qutbli magnit oqimi hosil bo'ladi. Bu oqimning har bitta kuch chizig'i faza g'altagining hamma o'ramlari ($w = w'_g$) bilan qurshaladi, shu sababli g'altak hosil qilgan MYuK $F'_g = I \cdot w$ ga teng bo'ladi. Tok maksimal qiymatga ega bo'lganda MYuK ham maksimal qiymatga erishadi.

$$F'_{g,\max} = I_{\max} \cdot w = \sqrt{2} I w, \quad (10.25)$$

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

Agar magnit zanjiri ferromagnit qismlarining magnit qarshiligini nolga teng deb qabul qilinsa, u holda MYuK ning taqsimlanishi stator aylanasi bo'ylab to'g'ri burchakli to'rtburchak shaklida bo'ladi (10.15,b-rasm).

10.15-rasm. Ikki qutbli yig'ilgan chulg'amli mashinaning sxemasi (a) va yig'ilgan chulg'am MYuKning taqsimlanish diagrammasi (b)



Statorning yig'ilgan chulg'ami ikkita pazda joylashganligi tufayli, uning MYuK 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 MYuK ga mos keladi, ya'ni:

$$F = F_{g,\max} / 2 = (\sqrt{2} \cdot I \cdot w) / 2 = (\sqrt{2} / 2) \cdot I \cdot w, \quad (10.26)$$

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

$$F_x = (\sqrt{2} / 2) \cdot I \cdot w \cdot (4 / \pi) \cdot [\cos(\pi x / \tau) + (1 / 3) \cdot \cos(3\pi x / \tau) + (1 / 5) \cdot \cos(5\pi x / \tau) + \dots + (1 / n) \cdot \cos(n\pi x / \tau)], \quad (10.27)$$

bu yerda: «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 oralig'idan magnit oqimini o'tkazish uchun zarur bo'lgan MYuK. Tok maksimal qiymatga ega bo'lganda, yig'ilgan chulg'am MYuK ning birinchi garmonikasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_1 = (2\sqrt{2} / \pi) \cdot I \cdot w = 0,9 \cdot I \cdot w. \quad (10.28)$$

Demak, yig'ilgan chulg'amning MYuK sinusoida shakldan ancha farq qilar ekan, shu sababli bunday chulg'amlar amalda kam ishlatiladi.

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

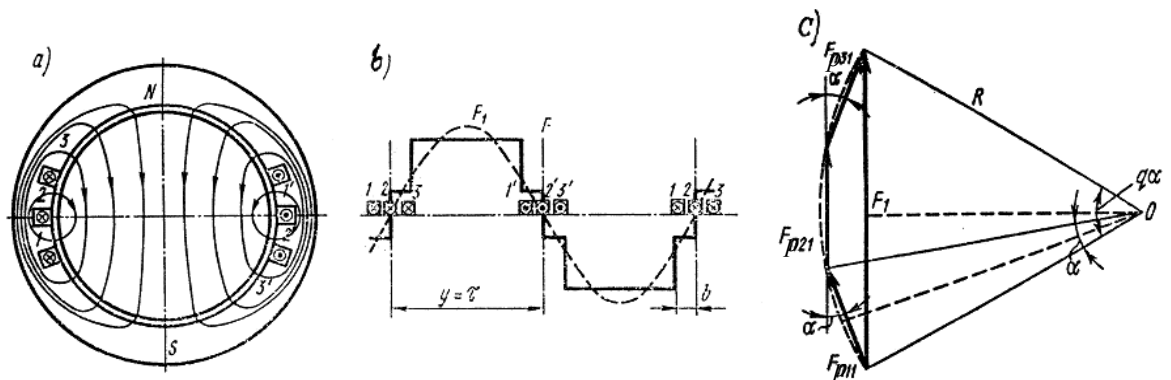
10.16-rasmda 6 ta pazga ($q = 3$) joylashtirilgan ikki qutbli mashina chulg'ami ko'rsatilgan. Bunday chulg'am MYuK ning taqsimlanish shakli pog'onasimon bo'ladi. Taqsimlangan chulg'amning MYuK o'ramlar soni $w = w'/3$ bo'lgan va fazoda $\alpha = \pi\beta/\tau$ burchakka (bunda β – qo'shni pazlar o'qlari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

Taqsimlangan chulg'am MYuK 1-garmonikasi quyidagicha ifodalanadi:

$$F_{t,1} = 0,9 \cdot I \cdot w \cdot k_{t,1}, \quad (10.29)$$

$$\text{bunda } k_{t,1} = \sin(q\alpha/2) / [q \sin(\alpha/2)] \quad (10.30)$$

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



10.16-rasm. Ikki qutbli mashinaga oid ikki qatlamli taqsimlangan stator chulg'amining ko'ndalang qirqimi (a), chulg'am MYuK ning taqsimlanish diagrammasi (b) va stator pazlarida taqsimlangan g'altaklar MYuK larining 1-garmonika vektorlarini qo'shish diagrammasi (c)

[F_{p11} , F_{p21} , F_{p31} – tegishli 1, 2 va 3-paz («p»)lardagi o'tkazgichlar MYuK lari).

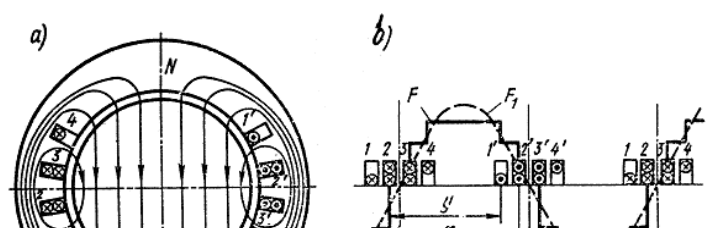
Umumiy holda v -garmonika uchun chulg'amning taqsimlanish koeffitsienti quyidagicha topiladi:

$$k_{t,v} = \sin(qv\alpha/2) / [q \sin(v\alpha/2)], \quad (10.31)$$

bunda $v\alpha$ – alohida g'altaklar MYuK larining v -garmonika tashkil etuvchilari orasidagi siljish burchagi.

Chulg'am g'altaklarini pazlar bo'yicha taqsimlab joylashtirish, uning natijaviy MYuK egri chizig'idagi yuqori garmonikalar amplitudalarini ancha kamaytiradi va mashina havo oralig'idagi maydon shaklini sinusoidaga yaqinlashtiradi.

10.17-rasm. Ikki qutbli mashinaga oid ikki qatlamli qisqartirigan qadamli atator chulg'amining qirqimi (a), va



Qadami qisqartirilgan chulg'amning MYuK. Taqsimlangan chulg'amda MYuK ning 5, 7-garmonikalarning 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.

10.17-rasmda ikki qutbli mashinaning stator pazlarida $q = 3$ bo'lganda joylashtirilgan ikki qatlamli qadami qisqartirilgan chulg'am ko'rsatilgan. Berilgan holda har bitta 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 ol-tinchi g'altak tomonlari esa – 2, 3, 4 pazlarning ustki qatlamlarida va 1', 2', 3' pazlarning pastki qatlamlarida yotadi. Bu chulg'am uchun MYuK ning stator aylanasi bo'ylab taqsimlanishi 10.17-rasmda keltirilgan.

Qadami qisqartirilgan taqsimlangan chulg'amning MYuK F_x ni 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 MYuK (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 MYuK 1-garmonikasining amplitudasi ko'rsatilgan chulg'amlarning F'_1 va F''_1 MYuK lari birinchi garmonika amplitudalarini vektor qo'shish yo'li bilan aniqlanadi. Faza tokining qiymati maksimal bo'lganda bu MYuK lar

$$F'_1 = F''_1 = 0,45 I w k_{t,1} \text{ bo'ladi.}$$

Demak, pazlarda taqsimlangan qadami qisqartirilgan chulg'am MYuK 1-garmonikasining qiymati quyidagicha topiladi:

$$F_1 = 2 F'_1 \cos(\pi\beta/2) = 0,9 \cdot I w \cdot k_{t1} \cdot k_{qis1}, \quad (10.32)$$

$$\text{bu yerda} \quad k_{qis,1} = \cos(\pi\beta/2) \quad (10.33)$$

– birinchi garmonika uchun chulg'amning qisqartirish koeffitsienti.

Yuqori (v) garmonika uchun qisqartirish koeffitsienti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$k_{qis,v} = \cos(v\beta / 2). \quad (10.34)$$

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

Kam quvvatli mashinalarda pazlar qiyshiligidan MYuK ga ta'sirini, ya'ni pazlarning qiyshiligi tufayli mashina havo oralig'idagi magnit maydon tarkibidagi tish garmonikalari ta'sirini kamaytirishda chulg'am g'altaklaridagi EYuK ga va chulg'amning MYuK ga ta'sirini, pastda (10.5-bandda) ko'rsatilganidek, 1-garmonika uchun (10.46) va v-garmonika uchun esa (10.47) lardagi qiyshilik koeffitsientlari orqali hisobga olinadi.

Qiyshilik koeffitsienti yuqori garmonikalarda birinchi garmonikasiga nisbatan ancha kichik bo'ladi. Pazlarning va ularda joylashgan g'altaklarning qiyshiligi tufayli MYuK ning tarqalish shakli sinusoidaga yaqinlashtiriladi.

10.1-jadvalda berilganlari: $q = 3$, $\alpha = 20^\circ$, $y/\tau = 7/9$ bo'lgan chul-g'am uchun k_t , k_{qis} va k_{ch} koeffitsientlarning qiymatlari keltirilgan.

10.1-

jadval

Garmonika raqami	tartib 1	3	5	7	9	11	13
k_t	0,96	0,667	0,217	0,177	0,333	0,177	0,217
k_{qis}	0,94	0,5	0,174	0,766	1,0	0,766	0,174
k_{ch}	0,902	0,333	0,038	0,135	0,333	0,135	0,038

Bu jadvaldan ko‘rinishicha, chulg‘am MYuK yuqori garmonikalarining amplituda qiymatlari uning 1-garmonikaciga nisbatan ancha kam. Ularning 5, 7 va 9-garmonikalarining 1-garmonika MYuK ga nisbati quyidagicha:

$$F_3 / F_1 = (1/3) k_{ch.3} / k_{ch.1} = 0,123; \quad F_5 / F_1 = (1/5) k_{ch.5} / k_{ch.1} = 0,0084;$$

$$F_7 / F_1 = (1/7) k_{ch.7} / k_{ch.1} = 0,025; \quad F_9 / F_1 = (1/9) k_{ch.9} / k_{ch.1} = 0,041.$$

Nazorat savollari

- 1) O‘zgaruvchan tok chulg‘amlarining turlariga oid ma’lumot bering.
- 2) Chulg‘am koefitsientlariga nimalar kiradi?
- 3) MYuK va EYuK larning o‘zgarish shakllari qanday usullar bilan yaxshilanadi?

Uchinchi bo‘lim. ASINXRON MASHINALAR

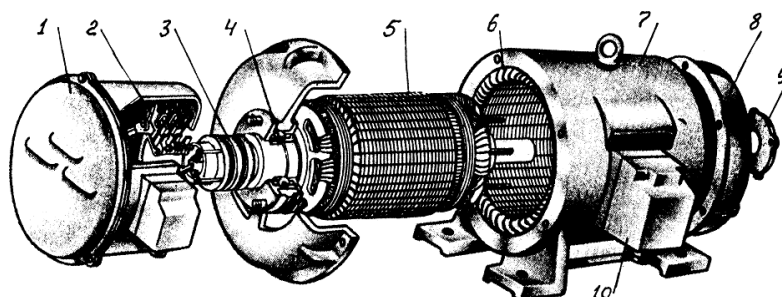
Kollektorsiz asinxron motorlar zamonaviy elektr yuritmaning asosini tashkil etib, sanoat turlarining barcha sohalaridagi avtomatik boshqarish jarayonlarida, qishloq xo‘jaligida, kon ishlaridagi yirik elektr jihozlari yuritmalarida va boshqa sohalarda keng qo‘llaniladi.

11-Bob. Asinxron mashinalarda fizik jarayonlar

11.1§. Asinxron mashinaning tuzilishi, ishlash prinsipi va ish rejimlari

Asinxron motorning rotorini stator ichiga o‘rnatiladi. Rotor – val, po‘lat o‘zak va uning pazlariga joylashtirilgan qisqa tutashgan chulg‘am yoki uchta fazaviy chulg‘amdan iborat. Stator – tana, po‘lat o‘zak va uning pazlarida joylashgan bir, ikki yoki uch fazali chulg‘amdan 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:

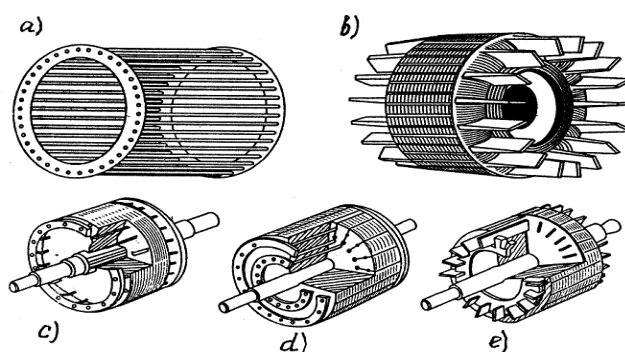
- 1) qisqa tutashgan rotorli asinxron motor (rotor chulg‘ami qisqa tutashgan);
- 2) faza rotorli asinxron motor (rotor chulg‘ami uch fazali) (11.1-rasm).



11.1-rasm. Faza rotorli asinxron motorning qismlarga ajralgan holda ko‘rinishi: 1 – kontakt halqalari va cho‘tkalar joylashgan tomondagi qopqoq; 2 – cho‘tka tutqich va cho‘tkalar; 3 – kontakt halqalar; 4 – podshipnik; 5 – rotorning po‘lat o‘zagi (uning pazlarida uch fazali chulg‘am); 6 – stator chulg‘ami; 7 – korpus; 8 – podshipnik qalqoni; 9 – valning mexanizmga ulanadigan tomonidagi podshipnik qalqoni qopqog‘i; 10 – stator chulg‘ami chiqish uchlari jamlangan quticha

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor – rotorining po‘lat o‘zagi pazlariga eritilgan alyuminiy quyilib chulg‘am o‘tkazgichlari (sterjenlar) hosil qilinadi va ularning pazlardan tashqari uchlari ikki tomondan quyma alyu-miniy halqalar orqali qisqa tutashgan bo‘ladi. Natijada, yaxlit "olmaxon katagi" ko‘rinishidagi qisqa tutashgan chulg‘am hosil qilinadi (11.2,a-rasm).

Faza rotorli asinxron motori ham val, valga o‘rnatilgan po‘lat o‘zak, uning pazlariga bir-biriga nisbatan 120^0 ga siljigan uch fazali chulg‘am joylashtiriladi (11.1-rasm). 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.



11.2-rasm. Chulg‘ami qisqa tutashgan rotorning konstruksiyalari: *a* – «olmaxon katagi» sterjenlari; *b* – quyma alumeniy chulg‘amli; *c* – odatdagi katakli; *d* – qosh katakli; *e* – chuqur katakli

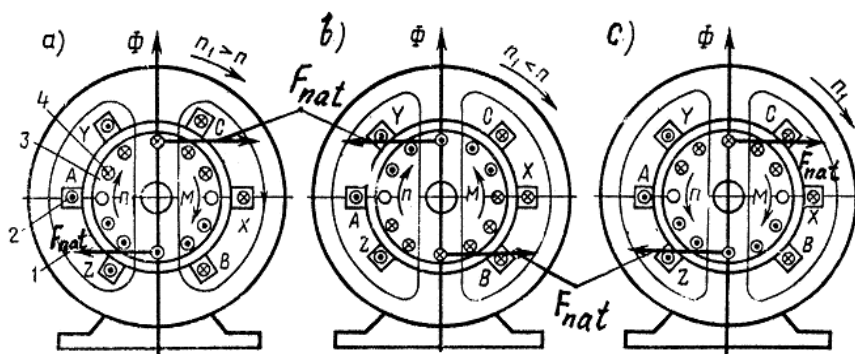
Ishlash prinsipi. Uch fazali asinxron motorning stator chulg‘amiga uch fazali tok berilganda vujudga kelgan magnit yurituvchi kuch (MYuK) statorda aylanish chastotasi $n_1 = 60 f / p$ bo‘lgan aylanma magnit maydonni hosil qiladi. Bu maydon kuch chiziqlari stator chulg‘ami o‘ramlarini va rotorning qisqa tutashgan chulg‘am sterjenlarini yoki uch fazali chulg‘ami o‘ramlarini kesib o‘tib, ularda EYuK lar

hosil qiladi. Agar rotor chulgʻami qisqa tutashgan boʻlsa, undagi EYuK taʼsirida qisqa tutashgan rotor chulgʻamlari oʻtkazgichlaridan tok oʻtib, bu tokning stator hosil qilgan aylanma magnet maydoni bilan oʻzaro taʼsiri natijasida rotor chulgʻami oʻramlariga elektromagnet kuch taʼsir qiladi. Bu kuch hosil qilgan aylantiruvchi (elektromagnet) moment tormozlovchi momentdan katta boʻlsa, rotorni aylanma magnet maydon yoʻnalishida aylantiradi. Aylanma magnet maydonning aylanish chastotasi n_1 bilan rotorning aylanish chastotasi n orasidagi nisbiy farqqa sirpanish (s) deyiladi va u quyidagicha aniqlanadi (n.b. – nisbiy birlik):

$$a) s_{(n.b.)} = (n_1 - n) / n_1; \quad b) s_{(\%)} = (n_1 - n) / n_1 \cdot 100 \quad (11.1)$$

Ish rejimlari. Stator magnet maydonining aylanish chastotasi n_1 va rotorning aylanish chastotasi n larning qiymatlariga bogʻliq holda asinxron mashina motor, generator va elektromagnet tormoz rejimlarida ishlashi mumkin. Bulardan tashqari qisqa tutashuv va salt ishlash rejimlari ham mavjuddir.

11.3-rasm. Asinxron mashinaning (a), generator (b) va elektromagnet tormoz (c) ish rejimlarida elektromagnet kuch va momentning yunalishi va elektromagnet momentning yoʻnalishi va elektromagnet sxemasi



Asinxron mashina motor rejimida (11.3,a-rasm) ishlaganida rotorning aylanish chastotasi stator aylanma magnet 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 qandaydir mexanizmga mexanik momentni beradi. Mashinada elektr energiya mexanik energiyaga aylantiriladi.

Asinxron mashinaning rotori tormozlanib ($n = 0$), stator chulgʻami tarmoqqa ulangan holatni qisqa tutashuv rejimi deyiladi (bunda sirpanish $s = 1$ boʻladi). Agar rotorning aylanish chastotasini stator chulgʻami aylanma magnet

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'zgartiradilar. Bunda elektromagnit moment M ham o'z yo'nalishini o'zgartirib tormozlovchi bo'ladi (11.3,b-rasm), ya'ni asinxron mashina generator rejimiga o'tadi. Asinxron mashina generator rejimda birlamchi motordan mexanik energiya olib, uni elektr energiyaga aylantirib tarmoqqa beradi. Bunda sirpanish $0 < s < \infty$ oraliqda o'zgaradi (« $-\infty$ » – nazariy nuqtai 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 (11.3, c-rasm). 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 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 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 ulaydilar. 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.

11.2§. Rotori tormozlangan asinxron mashinada elektromagnit jarayon va rotor chulg'ami parametrlarini stator chulg'amiga keltirish

Rotori tormozlangan faza rotorli asinxron mashinada elektromagnit jarayon. Rotori qo'zg'almas bo'lgan asinxron mashina xuddi transformator kabi ishlaydi. Rotori qo'zg'almas bo'lganda (bunda, $s = 1$) mashinaning stator va rotor chulg'amlarida bir xil ($f_2 = f_1$) chastotali EYuK lar hosil bo'ladi va ular quyidagicha aniqlanadi:

$$E_1 = 4,44 f_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot \Phi_{max} ; \quad (11.2)$$

$$E_2 = 4,44 f_1 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot \Phi_{max} , \quad (11.3)$$

bu yerda: $k_{ch.1}, k_{ch.2}$ – stator va rotorning chulg'am koefitsientlari; w_1, w_2 – stator va rotor chulg'ami bitta fazasining o'ramlar soni; Φ_{max} – magnit oqimning maksimal qiymati.

(11.2) ning (11.3) ga nisbati:

$$E_1 / E_2 = w_1 \cdot k_{ch.1} / (w_2 \cdot k_{ch.2}) = k_E \quad (11.4)$$

k_E – rotor qo'zg'almas asinxron mashinada kuchlanishni transformatsiyalash koefitsienti deyiladi.

Agar faza rotorli asinxron mashinaning rotor chulg'ami ochiq bo'lsa undan tok o'tmaydi va bu holatni salt ishlash rejimi deyiladi. Bunday rejim statorda bo'ladigan elektromagnit jarayonga ta'sir qilmaydi. Salt ishlayotgan asinxron mashina statorining fazaviy chulg'amlari uchun EYuK lar muvozanat tenglamasi transformatoridagi kabi quyidagicha yoziladi:

$$U_1 + E_1 + E_{\sigma 1} = I_0 \cdot r_1 , \quad (11.5)$$

$$\text{bu yerda: } E_{\sigma 1} = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot \Phi_{\sigma 1} \quad (11.6)$$

– tarqoq magnit oqimi $\Phi_{\sigma 1}$ stator chulg‘amida hosil qilgan tarqoq EYuK; I_{0r1} – stator chulg‘ami aktiv qarshiligida kuchlanish pasayishi.

(11.5) formula asosida va salt ishlashda stator chulg‘amidagi tok $I_0 = I_{0,r} + I_{0,a}$ ekanligini hisobga olgan holda, asinxron mashinaning vektor diagrammasini qurish mumkin. Bu diagramma salt ishlayotgan transformator diagrammasidan (3.2,b-rasm) vektorlar uchun tanlangan masshtab bilan farq qiladi, xolos. Bunga sabab, asinxron mashinada havo oralig‘i mavjudligidan salt ishlash toki I_0 transformatornikidan miqdor jihatdan taxminan $10 \div 12$ marta katta, ya’ni umumiy maqsadli asinxron motorlarda nominal toki I_N ning $20 \div 40\%$ ni tashkil qiladi.

Asinxron mashinalarda salt ishlash toki I_0 ning katta bo‘lishi ulardagi eng asosiy kamchilik bo‘lib, u stator chulg‘amidagi elektr isrofni oshiradi va mashinaning quvvat koeffitsienti $\cos\phi$ ni kamaytiradi. Salt ishlash toki I_0 ni kamaytirish uchun asinxron mashinalardagi havo oralig‘i zavod tomonidan iloji boricha (konstruktiv va texnologik nuqtai nazardan) kichik qilib tayyorlanadi. Masalan, quvvati 5 kVt gacha bo‘lgan asinxron motorlarda stator va rotor orasidagi havo oralig‘i $0,1 \div 0,3$ 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 tufayli ulardagi elektromagnit jarayonni o‘rganishda qiyinchilik tug‘iladi. Buni bartaraf etish maqsadida hisobiy usuldan foydalaniladi, ya’ni rotor chulg‘amining 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 MYuK lari to‘lqinlarining aylanish chastotalari o‘zaro teng bo‘lgandagina asinxron mashina ishlay oladi. Demak, stator va rotor bir xil juft qutblari soni ($p_1 = p_2 = p$)ga ega bo‘lishi kerak. Bu shart bajarilganda rotor MYuK to‘lqini stator MYuK to‘lqiniga nisbatan qo‘zg‘almas bo‘lib o‘zaro ta’sirlashadilar. Natijada asinxron motorda statordan rotorga elektromagnit quvvat uzatiladi. Asinxron motorning ishlash jarayonida stator va rotor chulg‘amlaridagi toklar mashinada tegishlicha F_1 va F_2 MYuK larni

hosil qiladi. Bu MYuK larning birgalikda ta'sir etishidan statorga nisbatan sinxron chastota n_1 bilan aylanadigan umumiy magnit oqim vujudga keladi. Uning qiymati quyidagiga teng:

$$\underline{\Phi} = (\underline{F}_1 + \underline{F}_2) / R_m = \underline{F}_0 / R_m, \quad (11.7)$$

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

$$F_0 = 0,45 m_1 I_0 w_1 k_{ch.1} / p; \quad (11.8)$$

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

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

$$F_1 = 0,45 m_1 I_1 w_1 k_{ch.1} / p; \quad (11.9)$$

$$F_2 = 0,45 m_2 I_2 w_2 k_{ch.2} / p; \quad (11.10)$$

bunda: m_2 – rotor chulg'amida fazalar soni; $k_{ch.2}$ – rotor chulg'aming chulg'am koeffitsienti; p – 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 MYuK lar (F_1 , F_2)ning tegishlicha 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 EYuK E_1 bilan deyarli to'la muvozanatlashadi:

$$U_1 \approx (-E_1). \quad (11.11)$$

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

Keltirilgan chulg'am va haqiqiy chulg'am o'ramlar sonida mashinaning magnit oqimi $\Phi_{\max}$ o'zgarmay qolishi kerak, ya'ni:

$$\Phi_{\max} = E_2 / (4,44 \cdot w_2 \cdot k_{ch.2} \cdot f_1) = E'_2 / (4,44 \cdot w_1 \cdot k_{ch.1} \cdot f_1) = \text{const}, \quad (11.12)$$

bunda rotor tormozlangan holatda ($s = 1$) uning chulg'amidagi EYuK chastotasi $f_2 = f_1$ bo'lishligi hisobga olingan. (11.12) shartidan rotor chulg'amining keltirilgan EYuK E' quyidagiga teng bo'ladi:

$$E'_2 = E_2 [w_1 k_{ch.1} / (w_2 k_{ch.2})] = k_E E_2 = E_1, \quad (11.13)$$

$$\text{bu yerda:} \quad k_E = (w_1 k_{ch.1}) / (w_2 k_{ch.2}) \quad (11.14)$$

– rotor tormozlangan asinxron mashina EYuK lari va kuchlanishlari uchun keltirish koefitsienti.

Transformatoridagi singari keltirilgan va haqiqiy chulg'am MYuK 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'amining keltirilgan toki I'_2 ni aniqlaymiz:

$$I'_2 = [(m_2 w_2 k_{ch.2}) / (m_1 w_1 k_{ch.1})] \cdot I_2 = I_2 / k_I = I_1, \quad (11.15)$$

$$\text{bu yerda} \quad k_I = (m_1 w_1 k_{ch.1}) / (m_2 w_2 k_{ch.2}) = (m_1 / m_2) \cdot k_E \quad (11.16)$$

– 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 (11.15) dan I'_2 ning qiymatini qo'yib topamiz, ya'ni:

$$r'_2 = (m_2 / m_1) \cdot (I_2 / I'_2)^2 \cdot r_2 = k_E k_I r_2 = k_z \cdot r_2. \quad (11.17)$$

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:

$$x'_2 = (E'_2 / E_2) \cdot (I_2 / I'_2) x_2 = k_E k_I x_2 = k_z \cdot x_2. \quad (11.18)$$

(11.17) va (11.18) formulalardagi $k_E \cdot k_I = k_z$ – rotor chulg'ami qarshiliklarini keltirish koefitsienti deyiladi.

«Olmaxon katagi» tipidagi qisqa tutashgan chulg'am uchun k_E , k_I va k_Z koeffitsientlarni aniqlashda $w_2 = 0,5$; $m_2 = Z_2$ va $k_{ch,2} = 1$ deb qabul qilinadi. Unda $k_E = 2w_1k_{ch,1}$; $k_I = 2 m_1 \cdot w_1 k_{ch,1} / Z_2$; $k_Z = 4 m_1 \cdot (w_1 k_{ch,1})^2 / Z_2$. 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 p_2 esa hamma vaqt aylanma magnit maydon juft qutblari soni p_1 ga teng ($p_2 = p_1$) bo'ladi.

Chulg'am parametrlari stator chulg'amiga keltirilgan rotor qo'zg'almas bo'lganda asinxron mashinaning EYuK lari hamda toklari muvozanat tenglamalari transformatornikiga o'xshagan holda quyidagicha yoziladi:

Shunday qilib, rotori qo'zg'almas bo'lgan asinxron mashinalarning nazariyasi transformatorlarniki kabi bo'lar ekan. Rotori qo'zg'almas bo'lgan asinxron mashinalar asosan induksion regulyator va fazoregulyator sifatida ishlatiladi.

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_1(r_1 + jx_1), \\ \underline{E}'_2 &= \underline{I}'_2(r'_2/s + jx'_2); \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_0 + (-\underline{I}'_2). \end{aligned} \right\} \quad (11.19)$$

11.3§. Rotori aylanayotgan asinxron mashinada elektromagnit jarayon, vektor diagrammasi va almashtirish sxemalari

Elektromagnit jarayon. Asinxron mashina normal sharoitda ishlayotganda uning rotori stator chulg'ami hosil qilgan aylanma magnit maydon yo'nalishida $n < n_1$ aylanish chastota bilan aylanadi. Shuning uchun stator aylanma maydonining rotorga nisbatan aylanish chastotasini $n_1 - n$ ayirma bilan aniqlanadi. Bu holda stator chulg'amining asosiy magnit oqimi Φ rotorni $n_s = n_1 - n$ aylanish chastotada kesib o'tib uning chulg'amida EYuK E_{2s} ni hosil qiladi («s» indeksi – sirpanishdagi degan ma'noni beradi):

$$E_{2s} = 4,44 \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot k_{ch,2} \cdot \Phi_{\max}. \quad (11.20)$$

Bundagi rotor chulg'ami EYuK E_{2s} ning chastotasi f_2 quyidagicha topiladi:

$$f_2 = p n_s / 60 = p(n_1 - n) / 60. \quad (11.21)$$

Bu tenglamaning o'ng tomonini n_1/n_1 ga ko'paytirub, $p n_1 / 60 = f_1$ va $(n_1 - n)/n_1 = s$ larni hisobga olgan holda (11.21) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$f_2 = f_1 \cdot s, \quad (11.22)$$

ya'ni rotor chulg'amidagi EYuK chastotasi sirpanishga mutanosib bo'lar ekan.

Aylanuvchi rotor chulg'aming EYuK E_{2s} ni quyidagicha topish mumkin:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{ch.2} \Phi_{max} = 4,44 f_1 \cdot s \cdot w_2 k_{ch.2} \cdot \Phi_{max} = E_2 \cdot s. \quad (11.23)$$

bu yerda $E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_2 k_{ch.2} \cdot \Phi_{max}$ – rotor tormozlangan asinxron mashina EYuK.

Vektor diagramma. Asinxron mashinaning vektor diagrammasi (11.19) tenglamalar tizimi asosida qurilib transformator diagrammasini qurish tartibiga o'xshash bo'ladi. (4-bobning 4.2-bandiga qarang). Lekin asinxron mashinada aylanma 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 siljiganligidan ular rotorda MYuK F_2 ning yuguruvchi to'lqinini yaratadi. Uning aylanish chastotasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$n_{F_2} = 60 f_2 / p_2 = 60 f_1 / p_1, \quad (11.24)$$

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

Asinxron mashina ishlashi uchun stator va rotor yuguruvchi F_1 va F_2 MYuK to'lqinlarining aylanish chastotalari teng bo'lishi zarur. Demak, rotorning fazalar sonidan qat'iy nazar, uning juft qutblari soni bir xil (ya'ni $p_2 = p_1 = p$) bo'lishi shart.

Vektor diagrammaning rotor zanjiri uchun qurishda EYuK E'_2 va tok I'_2 vektorlari orasidagi siljish burchagi quyidagicha hisoblanadi:

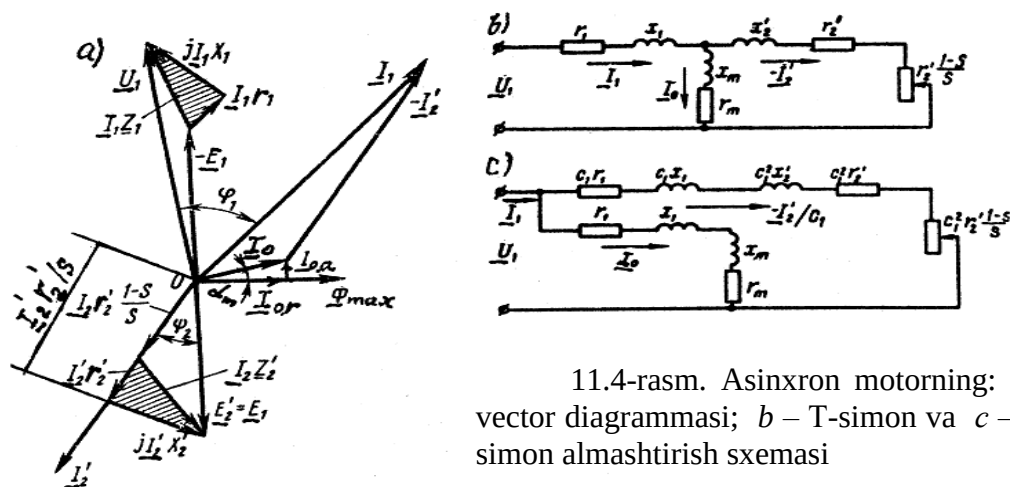
$$\psi_2 = \arctg(x'_{2s} / r'_2). \quad (11.25)$$

11.4,a-rasmda asinxron motorning vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Bu diagramma transformatorning vektor diagrammasidan faqat shu bilan farq qiladiki, rotor chulg'amida (ikkilamchi chulg'amda) kuchlanish pasayishlarining yig'indisi $n = 0$ da rotor chulg'aming EYuK E'_2 bilan muvozanatlashadi. Bunga sabab

shuki, rotor chulg'ami transformatorning ikkilamchi chulg'ami singari yuklamaga ulangan emas, balki qisqa tutashtirilgan. Lekin, agar kuchlanish pasayishi

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

Asinxron motorda magnitlovchi tokning transformatornikiga nisbatan miqdor jihatdan ancha kattaligi sababli ularning almashtirish sxemalari bir-biridan farq qilishiga olib keladi. Agar transformator nazariyasida magnitlovchi konturni ayrim hollarda amaliy hisoblarda e'tiborga olinma-sa, asinxron motor ishini tahlil qilganda bunday yondashib bo'lmaydi, chunki bu holda ancha xatolikka yo'l qo'yilgan bo'ladi.



11.4-rasm. Asinxron motorning: a – vector diagrammasi; b – T-simon va c – G-simon almashtirish sxemasi

Almashtirish sxemalari. Asinxron mashinalarining toki, quvvati va kuchlanish pasayishini aniqlash uchun almashtirish sxemasidan foydalaniladi. Mashinaning almashtirish sxemasi uning asosiy (11.19) tenglamalari asosida quriladi. Almashtirish sxema bir-biriga elektromagnit vositasida bog'langan stator va rotor zanjirlari parametrlarining qarshiliklari orqali ko'rsatiladi.

T-simon almashtirish sxemasi. 11.3,b-rasmda asinxron mashinaning T-simon almashtirish sxemasi ko'rsatilgan. Bu sxema asosiy uchta shoxobchadan:

- 1) qarshiliklari r_1, x_1 va toki I_1 bo'lgan stator zanjiri;
- 2) qarshiliklari r_0, x_0 va toki I_0 bo'lgan magnit zanjiri;
- 3) qarshiliklari $r'_2 + r'_2 \cdot (1-s)/s = r'_2/s$, x'_2 , va toki $(-I'_2)$ bo'lgan rotor zanjiridan iborat.

Asinxron motorning magnit jihatdan bog'langan stator va rotor chulg'amlari T-simon almashtirish sxemasida (11.4,b-rasm) stator va rotor elektr zanjirlari bilan almashtirilgan. Bunday aktiv qarshilik $r'_2 \cdot (1-s)/s$ ni qo'zg'almas rotor chulg'amiga ulangan tashqi qarshilik sifatida qarash mumkin bo'ladi. 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'yiladigan 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 salt ishlash rejimiga mos keladi. Agar valdagi yuk momenti aylantiruvchi momentdan katta bo'lsa, u holda motorning rotorini to'xtaydi, demak, $s = 1$ bo'ladi. Bunda $r'_2 \cdot (1-s)/s = 0$ bo'lib, bu hol asinxron motorning qisqa tutashuv rejimiga mos keladi.

T-simon almashtirish sxema ish jarayonini to'la aks ettiradi, lekin unda bir-biriga ta'sirlashadigan konturlar mavjud bo'lib, ularni hisobga olish ancha murakkabligi uning kamchiligi hisoblanadi. Shuning uchun amaliyotda soddalashtirilgan G-simon almashtirish sxema ishlatiladi (11.4, c-rasm). Bunda soddalashtirish magnitlovchi kontur ($Z_0 = r_0 + jx_0$)ni umumiy klemmalariga chiqarish bilan amalga oshiriladi. Bunda magnitlovchi tokning qiymati o'zgarmay qolishi uchun bu konturga r_1 va x_1 qarshiliklar ketma-ket ulanadi. Almashtirishning hosil qilingan sxemasida 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-biri bilan ta'sirlashmaydi. G-simon almashtirish sxemasi ish konturining parametrlarini

hisoblashda aniqlik qilishni talab etadi, ya'ni ideal salt ishlashda ($s=0$) tarmoq kuchlanishi U_1 ning stator chulg'ami EYuK E_1 ga nisbati bilan aniqlanadigan $s_1 = U_1 / E_1$ kompleks koeffitsientini hisoblash formulalariga kiritish bilan amalga oshiriladi.

G-simon almashtirish sxema uchun quyidagilarni yozish mumkin:

$$I'_1 = I''_0 + (-I''_2); \quad I''_2 = I'_2 / s_1 \quad (11.26)$$

bu yerda: I'_1 va I'_2 – tegishli T-simon va G-simon almashtirish sxemasining ish konturi toklari; hisoblarda $I''_0 \approx I_0$ deb olganda xatolik kam bo'ladi;

$$c_1 = 1 + (r_1 + jx_1) / (r_0 + jx_0) \quad (11.27)$$

– G-simon almashtirish sxemaga kiritilgan kompleks son.

Bu sxemada kompleks c_1 ni uning moduli bilan almashtirish mumkin. Quvvati 10 kVt dan katta bo'lgan asinxron mashinalar uchun $c_1 = 1,02 \div 1,05$. Asinxron mashinalardagi elektromagnit jarayonlarni tahlil qilish uchun ko'pincha $s_1 = 1$ deb olinadi va hisob ishlarini yengillashtirib olingan natijalarning aniqligiga uncha ta'sir qilmaydi. G-simon almashtirish sxemasi magnitlovchi konturi ko'chirilgan soddalashtirilgan almashtirish sxemasi deyiladi. Aylanayotgan rotor zanjirining toki sirpanish s da (11.22) va (11.23) larni hisobga olgan holda quyidagicha bo'ladi:

$$I_{2s} = E_{2s} / \sqrt{r_2^2 + (x_2 \cdot s)^2} \quad (11.28)$$

G-simon almashtirish sxemadan ish konturidagi tok qiymati quyidagicha hisoblanadi:

$$I'_2 = U_1 / \sqrt{(r_1 + c_1 r'_2 / s)^2 + (x_1 + c_1 x'_2)^2} \quad (11.29)$$

11.4§. Uch fazali asinxron motorning energetik diagrammasi

Asinxron mashina motor rejimida ishlayotganda (11.5-rasm) u tarmoqdan elektr energiyani oladi va uni mexanik energiyaga aylantirib beradi. Bu jarayonda motorda energiya isroflari bo'ladi. Asinxron motor tarmoqdan

$$P_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (11.30)$$

aktiv quvvatni oladi. Bu quvvatning bir qismi stator chulgʻamidagi elektr isroflari P'_{e1} ni va stator poʻlat oʻzagidagi magnet isroflari P'_{m1} ni qoplashga sarf boʻladi:

$$P'_{e1} = m_1 \cdot I_1^2 r_1 \quad (11.31)$$

Aylanma magnet maydon vositasida rotorga elektromagnet quvvat P_{em} uzatiladi:

$$P_{em} = P_1 - P'_{e1} - P'_{m1} \quad (11.32)$$

Elektromagnet quvvatning bir qismi rotor zanjiridagi elektr isrofi (P_{e2})ni qoplash uchun sarflanadi:

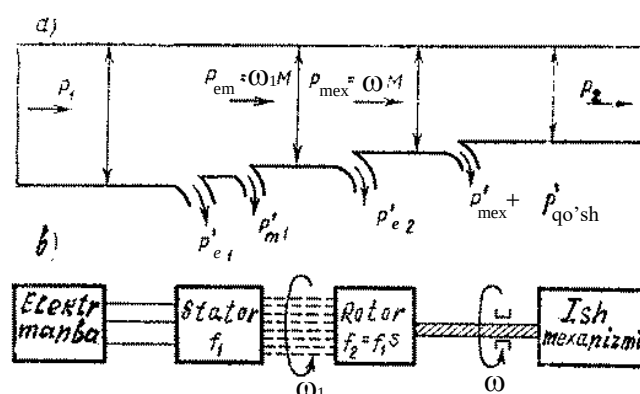
$$P'_{e2} = m_2 \cdot I_2^2 r_2 = m_1 \cdot (I_2')^2 r_2' \quad (11.33)$$

Elektromagnet quvvat P_{em} ning qolgan qismi esa toʻla mexanik quvvat $P_{2(mex)}$ ga aylanadi:

$$P_{2(mex)} = P_{em} - P'_{e2} \quad (11.34)$$

Motor ishlaganda podshipniklarning ishqalanishi va aylanuvchi qismlarining havoda ishqalanishi oqibatida ham quvvat isrofi boʻladi. Bundan tashqari tarqoq magnet oqimlari, stator va rotor poʻlat oʻzagi tishlarida hamda yaxlit poʻlat qismlarida magnet maydonning oʻzgarib turishi natijasida ham qoʻshimcha quvvat isroflari boʻladi. Asinxron motorning toʻla mexanik quvvati P_2 mexanik isrof P'_{mex} va qoʻshimcha $P'_{qo'sh}$ isroflarni ayirib, motor orqali ishchi mexanizmga uzatilayotgan foydali quvvat P_2 aniqlanadi.

$$P_2 = P_{mex} - (P'_{mex} + P'_{qo'sh}) \quad (11.35)$$



11.5-rasm. Asinxron motorning energetik diagrammasi

Nazorat savollari

1. Asinxron motorning ishlash prinsipini soʻzlab bering.
2. Asinxron mashinaning qanday ish rejimlarini bilasiz?
4. Asinxron motorning T va G-simon almashtirish sxemalarini tahlil qiling.

* * *

12-Bob. Asinxron mashinalarning elektromagnit momenti va mexanik xarakteristikalari

12.1§. Asinxron mashinaning elektromagnit momenti

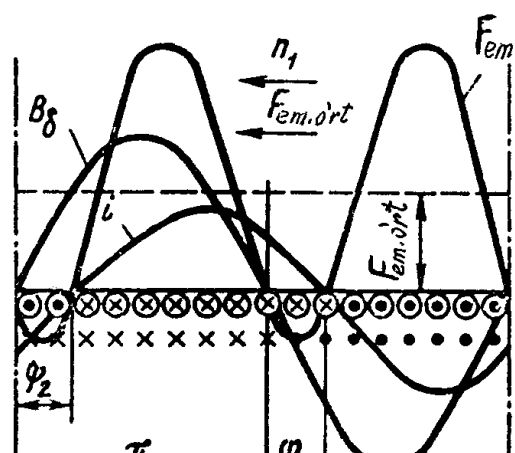
Elektromagnit momentni ikki xil yoʻl bilan, yaʼni: a) elektromagnit kuchlar va b) elektromagnit quvvat orqali aniqlash mumkin.

Elektromagnit momentni elektromagnit kuchlar orqali aniqlash. Asinxron mashinaning elektromagnit momenti rotor chulgʻami oʻtkazgichlaridan oʻtadigan tok aktiv tashkil etuvchisi ($I_2 \cos \psi_2$) ning stator chulgʻami hosil qilgan aylanma maydon, yaʼni magnit oqim $\Phi_{\max}$ bilan taʼsirlashib Amper qonuniga asosan elektromagnit kuch $F_{em} = B_\delta l i$ li vujudga keladi (12.1-rasm). Bu kuch hosil qilgan elektromagnit moment quyidagicha aniqlanadi:

$$M = C_M \Phi_{\max} I_2 \cos \psi_2, \quad (12.1)$$

bunda: $C_M = r \cdot m_2 \cdot k_{ch,2} / \sqrt{2}$ – oʻzgarmas kattalik; $\Phi_{\max}$ – magnit oqimning maksimal qiymati.

12.1-rasm. Mashina havo oraligʻining magnit induksiyasi (B_δ), rotor chulgʻami toki (i) va asinxron mashina chulgʻamlari oʻtkazgichlariga taʼsir qiladigan elektromagnit kuch (F_{em}) larning taqsimlanish egri chiziqlari



(12.1) formula faqatgina asinxron mashinalar uchungina to‘g‘ri bo‘lib qolmay, balki elektr mashinalarining barcha turlari uchun ham to‘g‘ridir. Bu formula 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. Lekin bu formulaga kirgan ($\Phi_{\max}$, 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 (aylantiruvchi) momentning qiymatini eng oddiy aniqlash, unga mashinaning har xil parametrlari va ekspluatatsion rejimlarining ta‘sirini hisobga olish imkonini beradigan boshqa formulasi keltirib chiqarilgan.

Elektromagnit momentni elektromagnit quvvat orqali aniqlash. Energetik diagrammadan (11.5-rasm) aniqlangan elektromagnit (P_{em}) va mexanik quvvat (P_{mex})larni elektromagnit moment orqali ifodalaymiz:

$$P_{em} = M \omega_1; \quad P_{mex} = M \omega, \quad (12.2)$$

bu yerda: $\omega_1 = (2\pi \cdot n_1 / 60) \cdot (p/p) = (2\pi/p) \cdot (p \cdot n_1 / 60) = 2\pi \cdot f/p$ va $\omega = 2\pi \cdot n / 60$ tegishli statordagi aylanma magnit maydonning va rotorning burchak tezliklari. (12.2) ga asosan elektromagnit moment quyidagiga teng bo‘ladi:

$$M = P_{em} / \omega_1. \quad (12.3)$$

Demak, asinxron motorning elektromagnit momenti, uning elektromagnit quvvatiga mutanosib bo‘lar ekan. Energetik diagrammadan foydalanib rotor chulg‘amidagi isroflarni aniqlashning quyidagi ifodalarini yozish mumkin:

$$P'_{e2} = P_{em} - P_{mex} \quad (12.4)$$

yoki

$$P'_{e2} = M\omega_1 - M\omega = M(\omega_1 - \omega) \quad (12.5)$$

(12.5) formulaning o'ng tomonini (ω_1 / ω) nisbatga ko'paytirib quyidagini olamiz:

$$P'_{e2} = M\omega_1 \cdot s. \quad (12.6)$$

(12.6) formuladan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$M = P'_{e2} / (\omega_1 \cdot s) = m_1 (I'_2)^2 \cdot r'_2 / (\omega_{1s}), \quad (12.7)$$

ya'ni asinxron motorning elektromagnit momenti rotor chulg'amida elektr isroflari quvvatiga mutanosib bo'lar ekan.

Agar G-simon almashtirish sxemasidan foydalanib (11.29) bo'yicha aniqlangan rotor toki I'_2 ning qiymatini (12.7) ga qo'yib, $(\omega_1 = 2\pi \cdot f_1 / p)$ ni ham hisobga olgan holda asinxron mashinaning elektromagnit momentini aniqlash formulasining umumiy ko'rinishiga ega bo'lamiz:

$$M = (m_1 p U_1^2 r'_2) / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + r'_2 / s)^2 + (x_1 + x'_2)^2] \}. \quad (12.8)$$

(12.8) formuladan quvvati $P > 10$ kW bo'lgan asinxron motorlar uchun moment M ni hisoblashda almashtirish sxemadagi kompleks son $s_1 \approx 1$ deb qabul qilingan. Elektromagnit momentni hisoblashda ko'proq aniqlik talab qilinganda kompleks son s_1 hisobga olingan (12.8) ifoda quyidagicha yoziladi:

$$M = (m_1 p U_1^2 r'_2) / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + s_1 r'_2 / s)^2 + (x_1 + s_1 x'_2)^2] \}, \quad (12.8,a)$$

bu yerda $s_1 \approx 1,02 \div 1,05$ – quvvati $P \leq 10$ kW bo'lgan asinxron motor uchun.

(12.8) va (12.8,a) larda sirpanish s dan boshqa hamma kattaliklar o'zgarmas hisoblanib, u valdagi mexanik yukka mutanosib ravishda o'zgaradi.

12.2§. Asinxron mashinaning mexanik xarakteristikalar va asinxron motorning turg'un ishlash shartlari

Ko'rilayotgan asinxron mashinani ideal mashina deb hisoblab, undagi mexanik isroflar (qiymati kichikligidan) e'tiborga olinmasa, elektromagnit moment M valdagi moment M_{yu} ga teng deb hisoblagan holda, quyidagi tahlillarda

«elektromagnit moment M » tushunchasi oʻrniga asosan «aylantiruvchi moment M » tushunchasi ishlatiladi.

Stator chulgʻamiga beriladigan kuchlanish $U_1 = U_{1N}$ boʻlgandagi $M = f(n)$ yoki $M = f(s)$ koʻrinishdagi bogʻlanishga asinxron motorning mexanik xarakteristikasi (12.2,a-rasm) deyiladi.

Aylantiruvchi momentning sirpanishga bogʻliqligi (yoki mexanik xarakteristika) – $M = f(s)$. Mexanik xarakteristikani qurish uchun (12.8,a)

$M = (m_1 p U_1^2 r_2') / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2] \}$ formuladan foydalanish mumkin.

Sirpanish s ga qiymatlar berib, parametrlari maʼlum boʻlgan asinxron motor uchun izlangan mexanik xarakteristikani qurish mumkin (12.2,a-rasm). Maksimal momentga toʻgʻri keladigan sirpanishni kritik sirpanish s_{kr} deyiladi. Uning qiymatini aniqlash uchun (parametrlari oʻzgarmas deb hisoblagan holda) momentdan sirpanish boʻyicha birinchi hosila olib, uni nolga tenglaymiz (yaʼni $dM/ds = 0$), bunda umumiy hol uchun quyidagi natijaga ega boʻlamiz:

$$s_{kr} = \pm c_1 r_2' / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2} \quad (12.9)$$

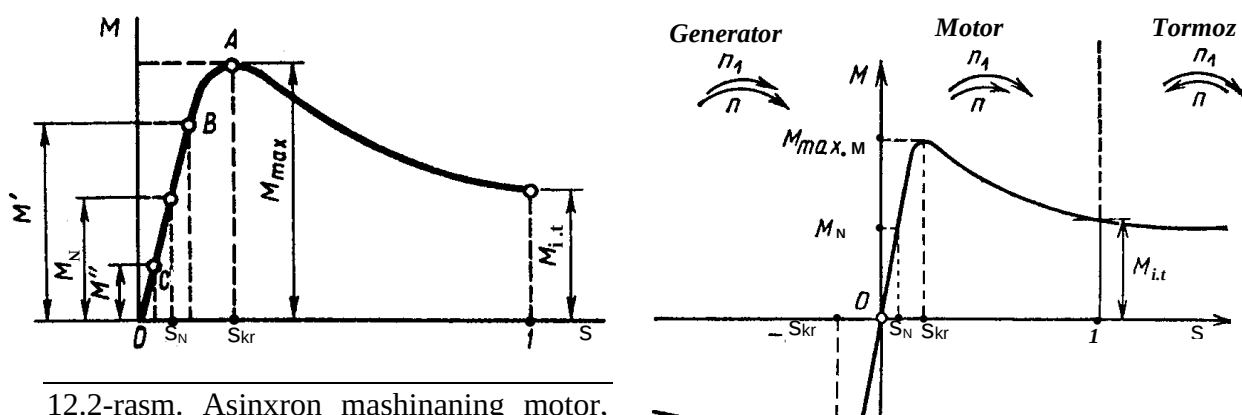
Agarda $c_1 \approx 1$ va qiymati ancha kichikligidan $r_1 \approx 0$ deb olinsa, u holda kritik sirpanish s_{kr} ni aniqlash formulasi quyidagi koʻrinishga ega boʻladi:

$$s_{kr} = \pm r_2' / (x_1 + x_2') = \pm r_2' / x_{qt}, \quad (12.9,a)$$

Maksimal (kritik) moment M_{max} ning qiymatini aniqlash uchun (12.9) dan s_{kr} ning qiymatini (12.8,a) ga qoʻyib hisoblanadi:

$$M_{max} \approx \pm (1/2) m_1 \cdot p \cdot U_1^2 / \{ 2\pi f_1 \cdot c_1 \cdot [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}] \}, \quad (12.10)$$

(12.9), (12.9,a) va (12.10)larda musbat (+) ishora motor rejimiga, manfiy (–) ishora esa generator rejimiga tegishli (12.2,b-rasm).



12.2-rasm. Asinxron mashinaning motor.

Umumiy maqsadli asinxron mashinalar uchun stator chulgʻa-mining aktiv qarshiligi induktiv qarshiliklar yigʻindisidan ancha kichik [$r_1 \ll (x_1 + x_2)$], yaʼni taxminan 10÷12 foizini tashkil qiladi xolos] boʻlganligidan $r_1 \approx 0$ deb hamda $s_1 \approx 1$ ekanligini eʼtiborga olgan holda $M_{\max}$ ni aniqlashning soddalashtirilgan ifodasiga ega boʻlamiz:

$$M_{\max} \approx \pm(1/2) m_1 \cdot p \cdot U_1^2 / [2\pi f_1 \cdot (x_1 + x_2)], \quad (12.10,a)$$

(12.10) ifodaning tahlili shuni koʻrsatadiki, asinxron mashina generator rejimda ishlaganida uning maksimal momenti $M_{\max \cdot G}$ motor rejimdagi maksimal momenti $M_{\max \cdot M}$ ga nisbatan kattaroq boʻladi. Bunga sabab, generator rejimda (12.10) ning maxrajidagi r_1 ning ishorasi minus « – » olinib kasrning maxrajidagi son motor rejimdagiga nisbatan kichikroq boʻlganligidandir. Asinxron motorning maksimal momenti tarmoq kuchlanishi kvadratiga mutanosib ekan, yaʼni $M \propto U_1^2$. Bu esa uning kamchiligi hisoblanadi, chunki kuchlanish, masalan, 10% ga kamaysa elektromagnit moment $M' = 0,92 \cdot M = 0,81 \cdot M_N$ ga, yaʼni 19% ga kamayadi. Asinxron motor maksimal momentining karraligi $k_M = M_{\max} / M_N$ standart tomonidan qatʼiy belgilangan boʻladi, yaʼni $k_M \geq 1,8$. Ayrim maxsus asinxron motorlarda k_M ning qiymati 3,0 gacha yetadi. Bu koeffitsient asinxron motorning oʻta yuklanish qobiliyatini xarakterlaydi.

(12.9) va (12.10) formulalarning tahlilidan quyidagi muhim xulosalar qilish mumkin:

1) kritik sirpanish s_{kr} rotor zanjirining aktiv qarshiligi r_2' ga mutanosib ravishda oʻzgaradi;

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 qobiliyati k_M asosan stator va rotor chulg'amlari tarqoq induktiv qarshiliklari (tegishlicha x_1 va x'_2)ga teskari mutanosibda bo'ladi;

4) maksimal moment $M_{\max}$ har qanday sirpanishdagi moment singari U_1^2 ga mutanosibdir, ya'ni berilayotgan kuchlanish kamayganda motorning o'ta yuklanish qobiliyati pasayadi.

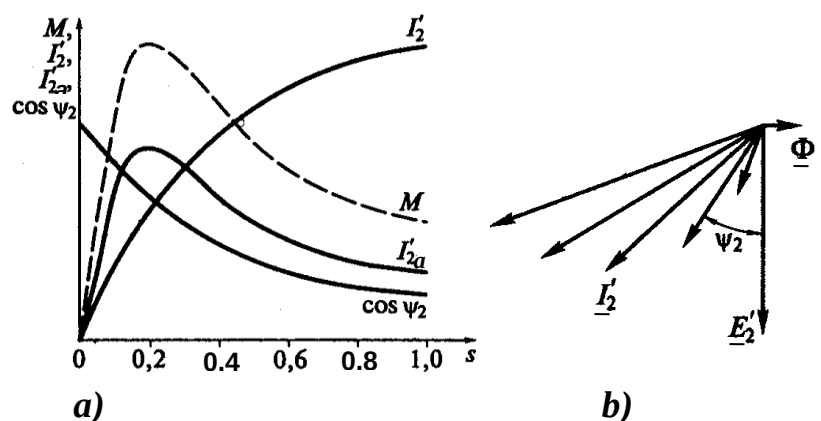
$M = f(s)$ – mexanik xarakterstikaning motor rejimda o'zgarish xarakteri quyidagicha tushuntiriladi. Yuk momenti salt ishlash rejimidan oshirilsa, sirpanish s oshadi. Bunda aktiv-induktiv xarakterli rotor zanjiri qarshiligidan o'tadigan tok I'_2 ni va uning shu zanjirdagi EYuK E'_2 dan orqada qoluvchi ψ_2 burchakni hisoblash formulalariga:

$$I_2 = s \cdot E_2 / (r_2 + jsx_2) = E_2 / (r_2/s + jx_2), \quad (12.11)$$

$$\psi_2 = \arctg(x_2s / r_2) = \arctg(s \cdot x_2 / r_2) = \arctg(x_2 / (r_2/s)) \quad (12.12)$$

asosan rotor toki I_2 va faza siljish burchagi ψ_2 oshadi, $\cos\psi_2$ esa kamayadi.

12.3-rasm. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi o'zgarish shaklini yushintirishga oid chizma (a) va uning validagi yuk o'zgarganda rotor tokening vector diagrammasi (b)



Sirpanish osha borgan sari rotor tokining induktiv xarakteri tobora osha boradi, uning aktiv tashkil etuvchisi esa avval (ψ_2 kichik paytda) oshib, so'ngra (umumiy tok ning oshishidan qat'iy nazar) kamaya boradi (12.3,b-rasm), chunki EYuK E_2 va tok I_2 orasidagi siljish burchak ψ_2 oshadi. $M = f(s)$ bog'lanishning o'zgarish xarakterini asinxron motorning ishlash

prinsipidan kelib chiqqan holda analitik yo‘l bilan ham isbotlash mumkin, ya’ni (12.1) ga asosan uning elektromagnit momenti ishchi oqim Φ va rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi I'_{2a} larning ko‘paytmasiga mutanosibdir. Bundan, $\Phi = \text{const}$ bo‘lganda mexanik xarakteristikaning o‘zgarish xarakteri $I'_{2a} = f(s)$ grafigi bilan aniqlanar ekan.

Ishga tushirish momenti. Asinxron motorning stator chulg‘amini elektr tarmog‘iga ulab ishga tushirish paytdagi momenti $M_{i,t}$ ni aniqlash uchun (12.8,a) formulaga sirpanish $s = 1$ qo‘yiladi, natijada quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$M_{i,t} = (p m_1 U_1^2 r_2') / [(r_1 + s_1 r_2')^2 + (x_1 + s_1 x_2')^2] . \quad (12.13)$$

Bundagi o‘rta qavs ichidagi qarshiliklar $r_{2qt} + x_{2qt} = z_{2qt}$ ekanligini hisobga olib ishga tushirish momentining kuyidagi ifodasini olamiz:

$$M_{i,t} = (p m_1 U_1^2 r_2') / (2\pi f_1 \cdot z_{2qt}) = p m_1 / (2\pi f_1) \cdot I_{i,t}^2 \cdot r_2' , \quad (12.14)$$

bunda $I_{i,t}$ – sirpanish $s = 1$ bo‘lgandagi ishga tushirish toki.

(12.14) dan ko‘rinishicha, motorning ishga tushirish momenti asosan ishga tushirish tokining kvadrati $I_{i,t}^2$ ga mutanosib bo‘lar ekan. Undan tashqari zarurat tug‘ilganda qisqa tutashgan rotorlida «olmaxon katagi» tipidagi chulg‘amni qarshiligi oshirilishi mumkin bo‘lgan maxsus konstruksiyada ishlab chiqarish, faza rotorlida esa rotor chulg‘amiga qo‘shimcha aktiv qarshilik ulash yo‘li bilan ishga tushirish momentini oshirish mumkin ekan. Standartning talabi bo‘yicha asinxron motor nominal yukda ishga tushishi uchun quyidagi shart bajarilishi, ya’ni ishga tushirish momentining karraligi $k_{i,t} = M_{i,t} / M_{\max} \geq 1$ bo‘lishi kerak. Mexanik xarakteristikani katalog qiymatlari yordamida qurish. (12.7) va (11.28) formulalarga asosan asinxron motorning elektromagnit momenti quyidagiga teng:

$$M = P_{e2}' / (\omega_1 s) = m_2 \cdot I_2'^2 \cdot r_2 / (\omega_1 s) = m_2 \cdot s E_2'^2 \cdot r_2 / [\omega_1 (r_2^2 + s^2 x_2'^2)] . \quad (12.15)$$

Motor validagi mexanik yukning o‘zgarishi bilan magnit oqim o‘zgarmaydi, shu sababli $E_2 \approx \text{const}$ deb hisoblash mumkin. (12.8) formuladan topilgan momentdan sirpanish bo‘yicha birinchi hosila olgandan keyin, uni 0 ga tengab

($dM/ds = 0$), kritik sirpanish s_{kr} ni topish mumkin, ya'ni $s_{kr} = \pm r_2 / x_2$. U holda maksimal moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_{max} = \pm m_2 E_2^2 / (2\omega_1 x_2). \quad (12.16)$$

(12.15) ni (12.16) ga bo'lib ixchamlashtirishdan keyin nisbiy birliklarda hisoblashga qulay bo'lgan quyidagi soddalashtirilgan formulaga ega bo'lamiz:

$$M/M_{max} \approx 2 / (s_{kr} / s + s / s_{kr}). \quad (12.17)$$

Bu formulani Kloss formulasi deyiladi va u ba'zan amaliyotda taxminiy hisoblar uchun qo'llaniladi.

(12.17) formula bo'yicha hisoblashda aniqlik past bo'ladi, chunki stator chulg'amidagi kuchlanish pasayishini hisobga olmaydi. Ammo asinxron motorning bitta rejimini tekshirishda, ya'ni sirpanishning kichik qiymatlarida ($s = 0$ dan s_{kr} gacha) magnit oqim juda kam o'zgaradi va bu formula amaliyotda dastlabki tahlil uchun tezkor natijani beradi.

Asinxron motorning turg'un ishlash shartlari. Motor ishining turg'unligi deb validagi mexanik yukning qisqa muddat ichida keskin oshishi va stator chulg'amiga berilayotgan tarmoq kuchlanishi qiymatining kamayishida barqaror aylanish chastotasini tiklay olish qobiliyatiga aytiladi.

Mexanikadan ma'lumki, motor rotoriga qo'yilgan momentlarning muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$M = M_{st} - J \cdot d\omega / dt, \quad (12.18)$$

bu yerda: M – motorning elektromagnit momenti; $M_{st} = M_0 + M_2$ – valdagi teskari ta'sir etuvchi statik moment; $J \cdot d\omega / dt$ – aylanuvchi massalar inersiyasi J va rotorning tezlanishi $d\omega/dt$ larga bog'liq bo'lgan dinamik moment.

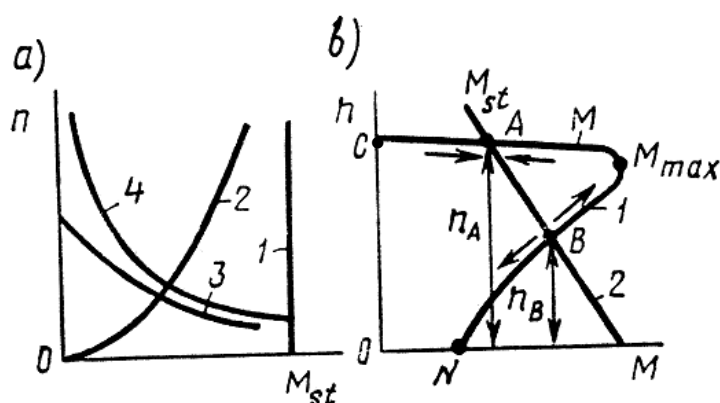
$M = M_{st}$ bo'lganda rotor tezlanishi 0 ga teng:

$$d\omega/dt = (M - M_{st}) / J = 0, \quad (12.19)$$

ya'ni rotor barqaror chastotada aylanadi. Agar $M > M_{st}$ bo'lsa, rotorning aylanish chastotasi tezlashadi, $M < M_{st}$ bo'lganda esa – sekinlashadi. Turg'unlik asinxron motor ishlayotgan konkret shartlarga bog'liq bo'ladi, xususan, motorning va u yuritayotgan ishlab chiqarish mexanizmlari mexanik

xarakteristikalarining o'zgarish shakliga bog'liq bo'ladi. Aylanish chastotaning oshishi bilan yuk momenti M_{st} kamayadigan (12.4,b-rasmda, 2 mexanik xarakteristika) ishlab chiqarish mexanizmini yuritayotgan asinxron motorning ishini ko'rib chiqamiz. Bu holda $M = M_{st}$ sharti A va B nuqtalarda aylanish chastotalari mos ravishda n_A va n_B bo'lganda bajariladi.

12.4-rasm. Ba'zi bur ishlab chiqarish mexanizmlarining mexanik xarakteristikalari (a): 1 – yuk kutarish mexanizmlari (kran, lift); 2 – ventilyatorlar, markazdan qochma nasoslar; 3 – beton qorgichlar, shrli tegirmonlar; 4 – tortish elektr yuritmasi, b-asinxron motor static turg'unligini aniqlash uchun grafiklar



Ammo B nuqtada motor turg'un ishlay olmaydi, chunki yuk momenti M_{st} ozgina o'zgarganda aylanish chastotasi barqaror qiymatidan og'ishi natijasida bu farqni oshiradigan ortiqcha sekinlashtiruvchi yoki tezlashtiruvchi moment $\pm (M - M_{st})$ vujudga keladi. Masalan, tasodifan statik moment M_{st} oshganda motor rotorining aylanish chastotasi n kamayadi. Mashina 1 mexanik xarakteristika ($M_{max} - n_0$ qismi)ning «B» nuqtasida ishlaganida elektromagnit moment M ning kamayishiga, demak, $M - M_{st}$ ayirmaning oshishiga olib keladi va, natijada rotorning sekinlashishi uning to'la to'xtagunicha davom qiladi. Agar statik moment M_{st} tasodifan kamaysa, rotorning aylanishi tezlashadi va elektromagnit moment yana oshadi. Bu jarayon mexanik xarakteristikasi (1)ning «A» nuqtasida $M = M_{st}$ muvozanat hosil bo'lguna qadar shunday davom qiladi. Bu nuqtada rejim turg'un bo'ladi, chunki bu holda tasodifan M_{st} oshsa va rotorning aylanish chastotasi n kamaysa motorning elektromagnit momenti M oshib, yuk momenti M_{st} ning yangi qiymatiga teng bo'lganda yana barqaror ishlaydi, lekin bunda aylanish chastota bir oz kam bo'ladi. Shunday qilib, asinxron motor mexanik xarakteristikaning $C - M_{max}$ qismida ishlaganida ichki o'z-o'zini rostdlash xossasiga ega bo'lib, uning aylantiruvchi

momenti $M=M_{st}$ qonuni bo'yicha avtomatik rostlanadi (bunday rostlash statik rostlash tizimga xos).

Asinxron motorning turg'un ishlash shartlari quyidagilardan iborat:

1. Agar rotorning aylanish chastotasi n ning oshishida statik moment M_{st} , momentning aylantiruvchi momenti M ga nisbatan sekin kamaysa, motorning ishi turg'un bo'ladi. Bu shart quyidagi tengsizlik ko'rinishida ifodalanadi:

$$dM/dn < dM_{st}/dn . \quad (12.20)$$

Bu shart $M_{st} = f(n)$ xarakteristikasi kamayuvchi bo'lgan barcha mexanizmlar uchun bajariladi, demak, sirpanish $0 < s < s_{kr}$ oraliqda o'zgarganda asinxron motor turg'un ishlaydi. Lekin, shuni ta'kidlash lozimki, rotor chulg'amidagi isroflar sirpanishga mutanosib bo'ladi, shu tufayli asinxron motorning iqtisod nuqtai nazaridan normal ishi sirpanishning kam qiymatlarida bo'lishligidir.

2. Amaliy jihatdan (12.20) shart zaruriy hisoblanib, lekin yetarli emas. Asinxron motorni ekspluatatsiya qilish jarayonida qisqa muddatli yuk momentining o'zgarishi faqat kichik bo'lmasdan, uning ish rejimida keskin o'zgaradigan katta qiymatli yuk momenti ham sodir bo'lib turadi. Bunday holda motorning sirpanishi s_{kr} dan kam bo'lib, lekin unga yaqin sirpanishda ishlayotganda tasodifan katta yuk qo'yilsa, unda $M_{st} > M_{em}$ bo'lib uning to'xtashiga olib keladi. Shuning uchun asinxron motorning maksimal momentini ayrim hollarda barbod qiluvchi (to'ntaruvchi) moment deyiladi.

Katta ortiqcha yuklanishlarda motor ishining turg'unligini nominal momentni $M_N < M_{max}$ qilib tanlash bilan ta'minlanadi. Maksimal momentning karraligi yoki o'ta yuklanish bilan ishlash qobiliyati $k_M = M_{max}/M_N$ standart tomonidan belgilanadi. Umumiy maqsadli asinxron motorlar uchun

$$k_M = 1,7 \div 2,5 \text{ oraliqda bo'ladi.}$$

3. Asinxron motorlarning turg'un ishlashini ta'minlash uchun elektr ta'minotining sifati katta ahamiyatga egadir. Asinxron motorning aylantiruvchi momentini unga berilayotgan kuchlanishning kvadratiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun, hatto kuchlanishning ozgina kamayishi ham maksimal momentga ta'sir qiladi, kuchlanish nisbatan ko'proq kamayganda (masalan, $U_1 = 0,7 \cdot U_N$ bo'lganda) esa

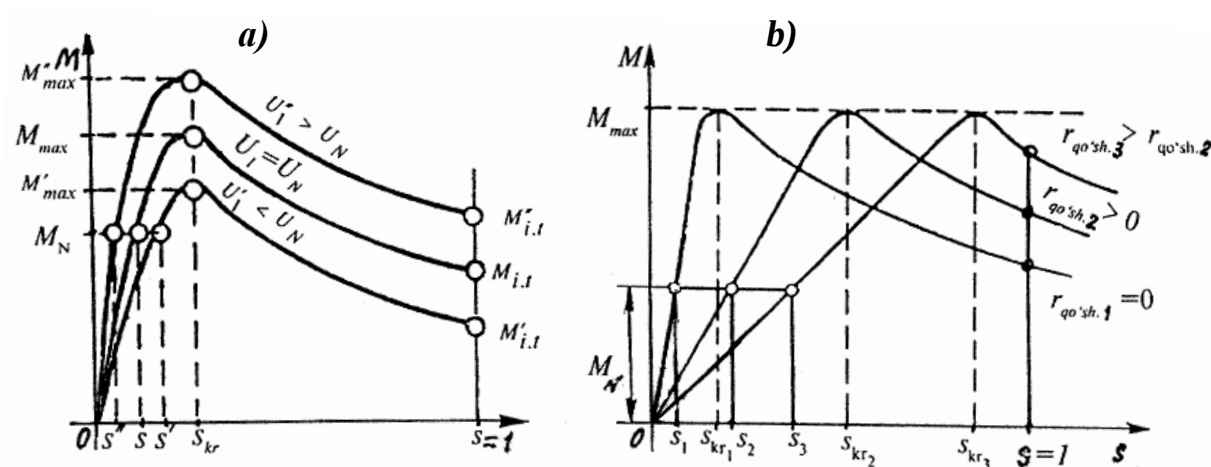
motorning nominal yuk bilan ishlashi mumkin bo'lmay qoladi, chunki bu holda aylantiruvchi moment $M \equiv U_1^2 = 0,49$, ya'ni elektromagnit moment taxminan 2 marta kamayadi va motor nominal yukda ishlashi mumkin bo'lmay qoladi.

12.3§. Stator chulg'amiga berilgan kuchlanish $U_1 \neq U_{1N}$ bo'lganda va faza rotorli asinxron motorning rotor chulg'amiga qo'shimcha aktiv qarshiliklar ulangandagi mexanik xarakteristikalar

Stator chulg'amiga berilgan kuchlanish nominaldan farqli bo'lganda mexanik xarakteristika. Asinxron motorlarni ishlatish jarayonida tarmoq kuchlanishi ($f_1 = \text{const}$ bo'lganda) nominal kuchlanishga nisbatan o'zgarishi mumkin. Shu sababli kuchlanishning bunday o'zgarishi asinxron motorning mexanik xarakteristikalariga qanday ta'sir etishi amaliy jihatdan muhim hisoblanadi. Bunda tormozlovchi moment o'zgarmas va qiymat jihatidan elektromagnit momentga teng $M_t = M = \text{const}$ deb hisoblaymiz.

Agarda kuchlanish $U_1 < U_{1N}$ bo'lsa, sirpanish oshadi, moment kuchlanishning kvadrati (U_1^2)ga mutanosib ravishda kamayadi, Natijada motorning o'ta yuklanish qobiliyati kamayib ketadi 12.5,a-rasm. Kuchlanish kamayganligi sababli magnit oqim F ham kamayadi, natijada rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi $I_{2,a}$ oshadi. Sirpanish s va rotor chastotasi f_2 oshganligi uchun rotor tokining reaktiv tashkil etuvchisi $I_{2,r}$ ham ortadi. Demak, rotor toki kvadratiga mutanosib ravishda rotor chulg'amidagi elektr isroflar ham ortadi. Motor validagi yuk katta bo'lsa, stator toki I_1 ham ortadi, kichik yukda esa u kamayadi. Shu sababli katta yukda stator chulg'amidagi elektr isroflari ortib, motorning FIK va quvvat koefitsienti $\cos\phi$ kamayadi. Standart talablariga binoan motorni kuchlanishi nominal kuchlanishga nisbatan 5 % gacha kamayganga qadar ishlatish mumkin. Agarda kuchlanish $U_1 > U_{1N}$ bo'lsa, yuqoridagi ketma-ketlik asosida tushuntirish mumkin. Ammo bunda motorning magnit tizimi o'ta magnitlangan bo'lsa, magnit oqimining oshishi magnitlanish tokining qiymatini oshirib yuboradi, natijada bu

tok stator tokining nominal qiymatidan katta ham bo'lishi mumkin. Bu holda asinxron motorning uzoq muddat ishlashi mumkin bo'lmay qoladi.



12.5-rasm. Kuchlanish nominaldan farqli bo'lganda (a) va faza rotorli asinxron motor rotor chulg'ami aktiv qarshiligining har xil qiymatlarida (b) mexanik xarakteristikalar Standart talablariga binoan asinxron motorni kuchlanishi nominal kuchlanishga nisbatan 10% gacha oshganga qadar ishlatish mumkin. Yuqoridagi ikki hol uchun motorning mexanik xarakteristikasi 12.5-rasmda ko'rsatilgan.

Rotor chulg'amiga ulangan qo'shimcha aktiv qarshilik qiymatining mexanik xarakteristikaga ta'siri. Buni faqatgina faza rotorli asinxron motorda amalga oshirish mumkin. Qarshilik (tormoz) momenti $M_t = \text{const}$ bo'lgandagi faza rotorli asinxron motorning mexanik xarakteristikalariga qo'shimcha qarshiliklarning ta'siri 12.5, b-rasmda ko'rsatilgan. Bunda rotor chulg'amidagi elektr isroflari katta bo'lganligi tufayli, motorning FIK nisbatan kichik bo'ladi. Bu esa uning kamchiligidir. Ishga tushirish jarayonidagi tokning kamayib, ishga tushirish momentining oshishi esa faza rotorli asinxron motorning afzalligi hisoblanadi.

12.4§. Magnit maydon yuqori garmonikalarining asinxron motor mexanik xarakteristikasiga ta'siri

Asinxron mashinaning havo oralig'idagi magnit maydoni nosimmetrik bo'ladi, chunki unda magnit maydonning asosiy (birinchi) garmonikasidan tashqari, yana fazoviy va vaqt bo'yicha o'zgaradigan yuqori garmonikalari bo'ladi. Stator va rotorda tishlarning bo'lishi va MYuK ning stator va rotor aylanasi

bo'ylab nosinusoidal tarqalishi, mashina parametrlarining nochizig'iy bo'lishi va boshqalar fazoviy garmonikalarni keltirib chiqaradi. Vaqt bo'yicha o'zgaradigan yuqori garmonikalar esa kuchlanishning nosimmetrikligi va nosinusoidalligi oqibatida hosil bo'ladi. Ana shu fazoviy va vaqt bo'yicha o'zgaradigan yuqori garmonikalar qo'shimcha momentlarni hosil qiladi va mexanik xarakteristikaga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Bu momentlarga: asinxron, sinxron, vibratsion va reaktiv momentlar kiradi. Quyida qo'shimcha (asinxron, sinxron va reaktiv) momentlarga oid umumiy ma'lumot keltiramiz.

Asinxron momentlar. Stator maydoni v -fazoviy garmonikalarining rotor chulg'amida hosil qilgan toklari bilan ta'siri tufayli vujudga keladi. Bu momentlar motorning hossalarni yomonlashtirgani uchun ularni parazit (keraksiz, ortiqcha) momentlar deyiladi.

12.6-rasmda asinxron motorning soat miliga teskari aylanadigan to'g'ri maydonning 7-garmonikasi va soat mili bo'yicha aylanadigan teskari maydonning 5-garmonikasi hosil qilgan $M_v=f(s)$ asinxron momentlarning grafiklari keltirilgan (bunda s – maydonning asosiy garmonikasiga nisbatan rotor sirpanishi). 5-garmonika hosil qilgan teskari maydon sirpanish $s = 0 \div 1$ oralig'ida teskari moment M_5 ni yaratadi (bu tormoz rejimga xos); 7-garmonika hosil qilgan to'g'ri maydon sirpanish $0,857 < s < 1$ bo'lganda to'g'ri moment M_7 ni yaratadi (bu motor rejimga xos), sirpanish $s < 0,857$ bo'lganda esa – teskari moment M_7 ni yaratadi (bu generator rejimga xos). M_5 va M_7 momentlarning ordinatalarini asosiy garmonika ordinatasi bilan qo'shib natijaviy asinxron moment M_{nat} ning o'zgarish chizig'ini olamiz (12.6-rasm):

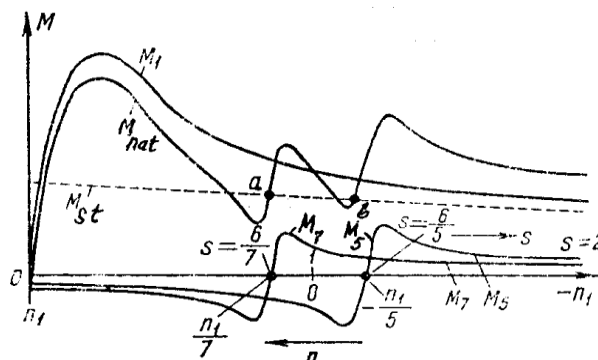
$$M_{nat} = M_1 + M_5 + M_7. \quad (12.21)$$

Natijaviy asinxron moment sirpanish $0,7 < s < 0,85$ bo'lganda $M_{nat} < M_{st}$ bo'lib «o'pirilish»(natijaviy momentning keskin kamayishi) hodisasi ro'y berib motorni ishga tushirish jarayonini qiyinlashtiradi va rotor kam aylanish chastotada «tutilib» qolishi mumkin.

Elektromagnit momentning o'zgarish shakliga stator va rotorda tishlarning mavjudligi tufayli vujudga keladigan maydonning tish garmonikalari hosil qilgan

asinxron parazit momentlar sezilarli ta'sir qiladi. Ularning salbiy ta'sirini kuchsizlantirishning samarali usuli – rotor pazlarini bitta tish bo'linmasiga qiyshaytirib yasashdir (bunga oid batafsil ma'lumot 10.5-bandda berilgan).

12.6-rasm. Maydonning yuqori (5 va 7) garmonikalari va 1-garmonikasi (asosiy-maydon) hosil qilgan asinxron momentlar (M_5 , M_7 va M_1) hamda natijaviy asinxron moment (M_{nat}); M_{st} – static moment



Yuqori garmonikalarning motor hossasiga zararli ta'sirini uni loyihalash jarayonida stator Z_1 va rotor Z_2 pazlar sonini to'g'ri tanlash bilan ham kamaytirish mumkin. Bu pazlar nisbati $Z_2 \leq 1,25 (Z_1 \pm p)$ bo'lishi kerak.

Sinxron momentlar. Asinxron mashinalarda maydon yuqori garmonikalaridan birontasining aylanish chastotasi rotor aylanish chastotasi bilan mos tushsa sinxron moment paydo bo'ladi. Agar bu moment nisbatan katta bo'lsa asinxron motorni ishga tushirish jarayonida rotor sinxron chastotada aylanayotgan yuqori garmonika maydoni bilan ta'sirlashib aylanish chastotasi nominalga yetmagan chastotada «tutilib» turg'un ishlab qolishi mumkin. Sinxron moment elektromagnit momentning o'zgarish shaklida rotor aylanish chastotasining kichik oralig'ida chuqur «o'pirilish»lar yaratadi, lekin rotorning kinetik energiyasi tufayli bu to'siqlar yengib o'tiladi. Stator va rotor tish garmonikalari hosil qilgan sinxron momentlar 1) $Z_1 = Z_2$ va 2) $Z_2 - Z_1 = \pm 2p$ bo'lgan shartlarda eng noqulay (yomon) hisoblanadi. $Z_1 = Z_2$ da bir tomonga aylanadigan garmonikalarning chastotalari mos tushsa, 2-holda esa qarama-qarshi tomonlarga aylanadigan garmonikalarning chastotalari mos tushadi. Birinchi holda rotor qo'zg'almas bo'lib, yukning qarshilik momenti katta, asosiy moment esa kichik bo'lganda motorning rotori aylanmay qoladi.

Reaktiv momentlar. Stator va rotorda tishlarning mavjudligidan har xil magnit o'tkazuvchanlikning hosil bo'lishi tufayli reaktiv momentlar vujudga

keladi. Ferromagnit jism magnit maydonda magnit qarshiligi eng kam bo'lgan holatni egallashga intiladi. Eng katta reaktiv moment $Z_1 = Z_2$ da bo'ladi. Reaktiv moment: chulg'am faqat statorda yoki rotorda bo'lsa; tish garmonikasining qutb bo'linmasi τ_v rotor tish bo'linmasi $t_{z2} = 2\pi R / Z_2$ bilan stator yoki rotor yuzasi silliq bo'lganda mos tushgan hollarda paydo bo'ladi. Reaktiv momentlar zararli ta'sir ko'satishi mumkin, lekin bu momentlardan ijobiy texnik effektlarni olish uchun ham foydalanish mumkin (masalan, reaktiv sinxron mashinalarda).

Nazorat savollari:

1. Asinxron motorda elektromagnit kuch va moment qanday hosil bo'ladi?
2. Asinxron motorning turg'un ishlash shartlari nimalardan iborat?
3. Faza rotorli asinxron motorning afzalligi va kamchiligi nimalardan iborat?

13-Bob. Asinxron motorning doiraviy diagrammasi, ish xarakteristikalarini va ularni hisoblash usullari

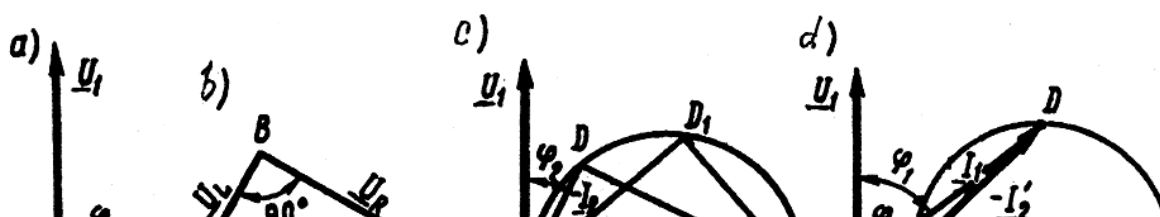
13.1§. Asinxron motor toklarining doiraviy diagrammasini asoslash

Asinxron mashina toklarining doiraviy diagrammasi sirpanishning har qanday qiymatida mashinaning ish rejimini xarakterlaydigan barcha elektromagnit kattaliklarni bilvosita aniqlashga imkon beradi. Asinxron motorning aktiv va induktiv qarshiliklari nisbatan o'zgarib turishi mumkin. Bunday motorlar toklarining o'zgarish diagrammasi ancha murakkab xarakterga ega bo'ladi. Lekin asinxron motorning xarakteristikalarini to'g'risida dastlabki ma'lumotlarga ega

bo'lish uchun toklarning soddalashgan doiraviy diagrammasidan foydalanish amaliy ahamiyatga ega.

Quyida parametrlari o'zgarmas deb va o'zgaruvchan kattaliklar (kuchlanish, tok, MYuK va boshq.)ning o'zgarishi sinusoidal shaklda deb taxmin qilingan asinxron motorning soddalashgan doiraviy diagrammani qurish tartibi bilan tanishamiz. Bunday motorlar stator va rotor toklarining o'zgarish diagrammasi aylana shaklda bo'lgani uchun uni toklarning doiraviy diagrammasi deyiladi. Mazkur diagramma asinxron motorning soddalashgan G-simon almashtirish sxemasi (11.5-rasm) asosida quriladi. Bu sxemaning magnitlanish shoxobchasi parametrlari o'zgarmasdir. Ishchi shoxobcha ($r_2 + jx_2$) esa o'zgaruvchan parametr (r_2)ga ega. Bu shoxobcha uchun diagrammani kuchlanishlarning to'g'ri burchakli uchburchagi ABC ko'rinishida tasvirlab berish o'ng'ay hisoblanadi. Bu uchburchakning katetlari: $\overline{AB} = U_L = I_2 x_2$ va $\overline{BC} = U_r = I_2 r_2$ – kuchlanish U_1 ning tegishli reaktiv va aktiv tashkil etuvchilari; $\overline{AC} = U_1 = U_r + jU_L$ – motorga berilgan kuchlanish (13.1,b-rasm). ABC uchburchakning har bitta tomonini x_2 ga bo'lib NDC uchburchagini hosil qilamiz. Bunda $\overline{HD}$ katet $-I_2$ tok vektorini tasvirlaydi. Bu vektorga ordinatalar o'qining musbat yo'nalishida $\varphi_2 = \arctg(x_2/r_2)$ burchak ostida U_1 kuchlanish vektorini qo'yamiz (13.1,c-rasm). Agar aktiv qarshilik r_2 o'zgartirilsa, unda zanjirdagi tok ham o'zgaradi, uchburchakning katetlari yangi holatni ($\overline{HD_1}$ va $\overline{D_1C}$) egallaydi, lekin uchburchakning $\overline{AC} = U_1/x_2$ gipotenuzasi o'zgarmay qoladi (13.1, c-rasm).

Shunday qilib, elektr zanjiri (ishchi shoxobcha)ning yangi ish rejimi diagrammada D_1 nuqtaning holati bilan aniqlanadi. Agar aktiv qarshilik r_2 ni keng ko'lamda (0 dan ∞ gacha) o'zgartirilsa, unda $-I_2$ tok vektori diagrammada har xil holatni egallaydi va U_1/x_2 diametrli aylanani tasvirlaydi. Agar aktiv qarshilik $r_2 = 0$ (sof induktiv yuklama) bo'lsa D nuqta C nuqtaning ustiga tushadi. Aktiv qarshilik $r_2 = \infty$ bo'lganda tok $I_2 = 0$ va shu sababli D nuqta C nuqtaning ustiga tushadi.



13.1-rasm. Asinxron motorning doiraviy diagrammasini asoslashga doir chizmalar

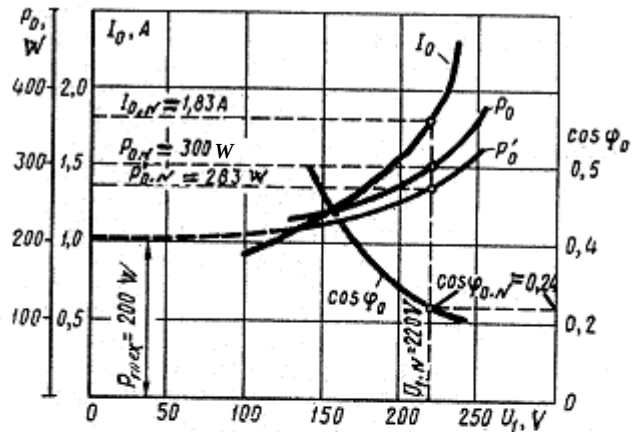
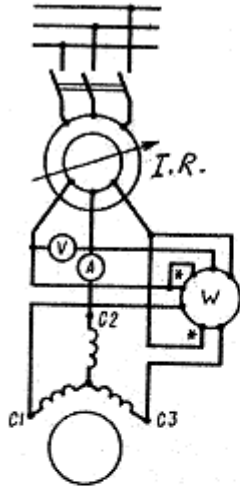
Agar aktiv qarshilik $0 < r_2 < \infty$ oraliqda bo'lsa $-I_2$ tok vektorining uchi NDC aylanada har xil holatni egallaydi. Agar 13.1, a va 13.1, b-rasmlarda ko'rsatilgan diagrammalar birga qo'shilsa G-simon almashtirish sxemaning (asinxron motorning desa ham bo'ladi) doiraviy diagrammasi hosil bo'ladi (13.1, d-rasm). I_0 va $-I_2$ tok vektorlarini qo'shib stator toki I_1 vektorini olamiz. Bu vektor kuchlanish vektori U_1 ga nisbatan faza bo'yicha φ_1 burchakka siljigan. Doiraviy diagramma toklari aylanasi diametri $\overline{HC} = (U_1 / x_{qt}) / m_i$, bu yerda m_i —tok masshtabi, A/mm. Agar diagrammani qurish motorni hisoblashda amalga oshirilsa, unda zaruriy parametrlar hisoblash jarayonida aniqlanadi. Agarda doiraviy diagrammani tayyor motor uchun qurish kerak bo'lsa, unda diagrammaning dastlabki parametrlarini aniqlash uchun salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari natijalaridan foydalanish zarur bo'ladi. Bu diagrammani salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalaridan olingan qiymatlar yordamida qurish eng sodda usul hisoblanadi.

13.2§. Asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari va xarakteristikalar

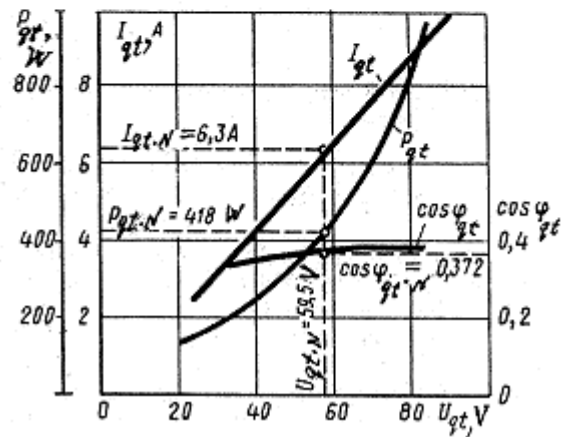
Salt ishlash tajribasi. Asinxron motorning salt ishlash tajribasi 13.2, a-rasmdagi sxema bo'yicha o'tkaziladi. Motor valiga yuk ulanmagan holda ishlashda (salt ishlashda) isroflarni qoplash uchun zarur bo'lgan aktiv quvvat P_0 , stator toki I_0 va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_0$ larning stator chulg'amiga berilgan kuchlanishga nisbatan o'zgarishiga, ya'ni P_0 , I_0 , $\cos\varphi_0 = f(U_0)$ bog'lanishga salt ishlash xarakteristikalar (13.2,b-rasm) deyiladi. Bunda $n = \text{const}$ bo'lgani tufayli mexanik isroflari P'_{mex} o'zgarmas bo'ladi. Asinxron motorning salt ishlash tajribasidan uning nominal kuchlanishga to'g'ri kelgan quvvat isroflari

$P_0 = m \cdot U_0 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$ va elektr parametrlari aniqlanadi:

$$\text{yoki} \quad \left. \begin{aligned} Z_0 &= U_0 / I_0; & r_0 &= P_0 / (m I_0^2); & x_0 &= \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (13.1)$$



13.2-rasm. Uch fazali asinxron motor (3 kW, 220/380 V, 1430 ayl/min) ning salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalarini o'tkazish sxemasi (a); salt ishlash (b) va qisqa tutashuv (c) xarakteristikalari; I.R. – induksion regulyator; $P'_{0.N}$ –nominal kuchlanishdagi magnit va mexanik isroflar yig'indisi



Asinxron motor stator chulg'amiga berilgan kuchlanish kam bo'lganda mashinaning magnit zanjiri to'yinmaganligi sababli salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi I_{0r} , uning aktiv tashkil etuvchisi I_{0a} ga nisbatan kam bo'ladi. Bunda salt ishlash rejimidagi $\cos \varphi_0$, shu rejim uchun o'zining katta qiymatiga to'g'ri keladi. Kuchlanishning $U_0 \approx 0,5 U_{1N}$ qiymatlaridan boshlab magnit zanjir to'yina boshlaydi va salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi I_{0r} osha boradi, demak, salt ishlash toki I_0 berilayotgan kuchlanish U_0 ga nisbatan tez o'suvchan bo'ladi. Kuchlanish va tok vektorlari orasidagi faza siljishi (φ_0) oshishi tufayli quvvat koeffitsienti $\cos \varphi_0$ kamaya boradi. Aktiv quvvat P_0 salt ishlash tokining

kvadrati (I_{20})ga mutanosib ravishda o'zgarganligidan, uning o'zgarish shakli taxminan parabola shaklida o'suvchan bo'ladi.

Doiraviy diagramma qurish uchun salt ishlash rejimidan olinadigan nominal kuchlanish (U_{1N})ga to'g'ri kelgan salt ishlash toki I_0 va quvvati P_0 lar o'lchanadi. Bu qiymatlar yordamida quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_0$ aniqlanadi va burchak φ_0 hisoblab topiladi.

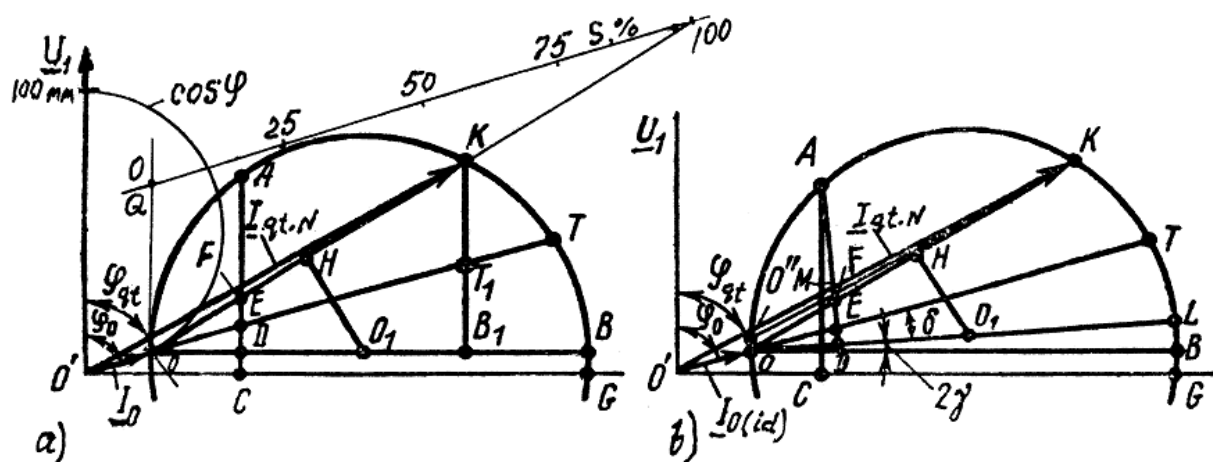
Qisqa tutashuv tajribasi. Asinxron motorning qisqa tutashuv tajribasi ham 13.2, a-rasm bo'yicha o'tkaziladi, lekin bundagi o'lchash asboblari tanlashda bu rejimdagi tok, kuchlanish va quvvatning o'zgarish qiymatini hisobga olish zarur bo'ladi va rotor qo'zg'almas holatda bo'lishi shart. Bu tajribani o'quv maqsadlarida o'tkazishda (chulg'am qizib ketmasligi uchun) pasaytirilgan kuchlanishda dastlabki nuqtani tokning qiymati $I_{qt} = 1,2I_{1N}$ da, 2-nuqtani nominal tok ($I_{qt}=I_{1N}$) da va keyingilarini esa undan kamaytirib qisqa tutashuv toki I_{qt} , qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} , qisqa tutashuvdagi isroflarni qoplaydigan aktiv quvvat P_{qt} o'lchab olinadi. Ular yordamida $I_{qt.N} = I_{qt}(U_{1N}/U_{qt})$, $\cos\varphi_{qt}$, $r_{qt} = r_1+r'_2$ va $x_{qt}=x_1+x'_2$ qarshiliklar hisoblab topiladi.

Doiraviy diagramma qurish uchun qisqa tutashuv rejimidan olinadigan nominal tok (I_{1N})ga to'g'ri kelgan qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} , toki I_{qt} va quvvati P_{qt} o'lchanadi. Bu qiymatlar yordamida quvvat koeffitsienti $\cos\varphi_{qt}= P_{qt}/(m_1 U_{qt} I_{qt})$ aniqlanadi va u orqali burchak φ_{qt} hisoblab topiladi. Bu tajribaga oid elektr parametrlar quyidagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$\left. \begin{array}{l} \text{yoki} \\ Z_{qt} = U_{qt} / I_{qt}; \quad r_{qt} = P_{qt} / (m_1 I_{qt}^2); \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2} \\ r_{qt} = Z_{qt} \cos \varphi_{qt}; \quad x_{qt} = Z_{qt} \sin \varphi_{qt}; \quad Z_{qt} = \sqrt{r_{qt}^2 + x_{qt}^2} . \end{array} \right\} \quad (13.2)$$

13.3§. Doiraviy diagrammani salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalaridan olingan ma'lumotlar bo'yicha qurish

Soddalashgan doiraviy diagrammani qurish quyidagicha amalga oshiriladi (13.3,a-rasm). Koordinata o'qlari o'tkaziladi va ordinatalar o'qida kuchlanish vektori U_1 qo'yiladi. Toklar uchun masshtab m_i (A/mm) tanlanadi va U_1 ga φ_0 burchak ostida tok vektori I_0 ni qo'yib «0» nuqtani, φ_{qt} burchak ostida esa tok $I_{qt.N}$ vektorini yo'naltirib «K» nuqta topiladi (bunda salt ishlash tajribasidagi tok I_0 va burchak φ_0 ideal salt ishlashga mos deb qabul qilinadi). «0» nuqtadan abstsissalar o'qiga parallel bo'lgan OB chiziqni o'tkazamiz. So'ngra bu nuqtalarni birlashtirib, uning o'rtasidan OB chiziq tomon HO_1 perpendikulyar o'tkazamiz va toklar aylanasi markazi O_1 ni topamiz, ya'ni OO_1 yoki O_1B chiziqlar doiraviy diagrammaning radiusini beradi. "K" nuqtadan OB chiziqqa perpendikulyar bo'lgan $\overline{KB_1}$ chiziqni tushiramiz va bu kesmani $\overline{KT_1}/\overline{T_1B_1} = r'_2/r_1$ nisbatda bo'lib, «T₁» nuqtani topamiz. Bunda stator chulg'ami qarshiligi r_1 tajriba vaqtida o'lchanadi, r'_2 esa $r'_2 = r_{qt} - r_1$ ayirmadan aniqlanadi). So'ngra «0»nuqtadan «T₁» nuqta orqali o'tadigan chiziqni davom ettirib aylanada «T» nuqtani topamiz. "OT" chiziq elektromagnit quvvat (yoki momentlar) chizig'i hisoblanadi. Doiraviy diagrammada sirpanish liniyasi (shkalasi)ni qurish uchun toklar aylanasi (0 nuqtada) ordinatalar o'qiga parallel qilib urinma o'tkaziladi. So'ngra ixtiyoriy balandlikdan elektromagnit quvvat chizig'i OT ga parallel qilib foydali quvvat chizig'ining davomi bilan kesishguncha QC to'g'ri chiziq



13.3-rasm. Asinxron motorninig soddalashgan (a) va aniqlashtirilgan (b) doiraviy diagrammalarini salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari ma'lumotlari bo'yicha qurish;
 $I_{0(id)}$ —ideal salt ishlash toki

Motorning A nuqtadagi rejimidagi sirpanish s_A ni topish uchun 0 ni A nuqta bilan birlashtirib uni sirpanish shkalasi bilan kesishguncha davom qildiriladi (diagrammada bu chiziq ko'rsatilmagan).

Doiraviy diagrammada quvvat koeffitsienti shkalasini qurish uchun ordinatalar o'qida ixtiyoriy diametrda (100 mm bo'lgani o'lchash uchun qulay) yarim aylana chiziladi. U holda toklar aylanasiidagi A nuqtadagi rejim uchun $\cos\varphi_A$ quyidagicha topiladi, ya'ni 0' ni A nuqta bilan birlashtirilgan to'g'ri chiziqning sos φ shkalasi bilan kesishgan nuqtasini birorta harf («h») bilan belgilansa (diagrammada bular ko'rsatilmagan), unda $\cos\varphi_A = 0'h/100$.

Doiraviy diagrammada foydali quvvat koeffitsienti shkalasini qurib undan FIK ni aniqlashda motordagi qo'shimcha isroflar hisobga olinmagani tufayli katta xatolik kelib chiqadi. Odatda motorning FIK isroflar yig'indisi $\Sigma P'$ ni hisoblash orqali aniqlanadi (buni standart tavsiya qilgan). Asinxron mashinaning soddalashgan doiraviy diagrammasidan aniqlangan rejim parametrlarining aniqlik darajasi nominal tokkacha qoniqarli bo'ladi, chunki bu oraliqda mashinaning aktiv va induktiv qarshiliklari kam o'zgaradi. Demak, soddalashgan doiraviy diagrammani katta va o'rta quvvatli asinxron mashinalarga qo'llash maqsadga muvofiq ekan. Agar aniq natijalar olish zarur bo'lsa (kam quvvatli va ayniqsa asinxron mikromashinalar uchun) aniqlashtirilgan doiraviy diagrammani (13.3, a-rasm) ideal salt ishlash ma'lumotlari bo'yicha hamda almashtirish sxemadagi kompleks son « s_1 » ni ham hisobga olgan holda qurishni standart tavsiya qiladi. Buning uchun 13.3,a-rasmda qurilgan soddalashgan doiraviy diagramma bir oz o'zgartiriladi, chunki tajribada o'lchab olingan salt ishlash toki I_0 va hisoblangan burchak φ_0 real holatdagi salt ishlash rejimiga mos keladi (13.3, a-rasmda, 0''). Bundan ideal salt ishlash toki $I_0(i_d)$ ni topish uchun salt ishlash isroflari (P'_0)dan stator chulg'amidagi elektr isroflari ($P'_{e1(0)} = m_1 I_{20} r_1$)ni va motordagi mexanik isroflarni ayirgandan [ya'ni $P'_0 - (P'_{e1(0)} + P'_{mex})$] quvvat masshtabi m_p da hosil bo'lgan natijani 0'' nuqtadan abstsissalar o'qiga perpendikulyar yo'nalishda qo'yib «0» nuqta topiladi. Bu nuqtani 0' nuqta bilan birlashtirib $I_0(i_d)$ vektori aniqlanadi.

I_{qt} vektori 13.3,a-rasmdagidek quriladi. Toklar aylanasi markazini topishda, endi N_{01} perpendikulyarning 13.3, a-rasmdagidek OB chizig'i bilan kesishgan nuqtasi emas, balki toklar aylanasi diametri OL chizig'i bilan kesishgan nuqtasi bo'ladi. OL chizig'i OB gorizontal chizig'ining O nuqtasidan soat milining harakatiga teskari yo'nalishda 2γ burchak ostida o'tkaziladi (bunda $\sin 2\gamma \approx 2I_0(i_d)r_1/U_1$). Burchak γ kompleks son « s_1 » ning argumentidir, ya'ni $s_1 = s_1 e^{-j\gamma}$ va fizik jihatdan kuchlanish U_1 va EYuK E_1 vektorlari orasidagi siljish burchagini ifodalaydi. Toklar aylanasi sirpanish $s = \pm \infty$ ga to'g'ri kelgan « T » nuqta « 0 » nuqtadan OL chizig'iga δ burchak ostida soat milining harakatiga teskari yo'nalishda o'tkazilgan OT chizig'ining toklar aylanasi bilan kesishishidan hosil bo'ladi ($\tan \delta = D \cdot r_1 / U_1$, bunda $D = m_i \cdot \overline{OL}$ – toklar aylanasi amperlarda qo'yilgan diametri).

Doiraviy diagrammadan biror rejim (masalan, A nuqtasi)ning energetik muvozanati uchun ma'lumotlar quyidagicha aniqlanadi. Diagrammada asinxron motorga berilgan aktiv quvvat $P_1 - \overline{AC}$ kesma (berilgan quvvat liniyasi $O'G$ ga tushirilgan perpendikulyar); elektromagnit quvvat P_{em} (momentlar masshtabi m_M da – elektromagnit moment) – aylana diametri OL ga o'tkazilgan perpendikulyarning elektromagnit quvvat chizig'i OT (elektromagnit momenti liniyasi) bilan kesishgan nuqtasigacha bo'lgan $\overline{AE}$ kesma; mexanik quvvat $P_{mex} - OL$ chizig'iga perpendikulyar yo'nalishda o'tkazilgan mexanik quvvati liniyasi OK gacha bo'lgan $\overline{AF}$ kesma; foydali quvvat $P_2 - OL$ chizig'iga perpendikulyar yo'nalishda o'tkazilgan foydali quvvati liniyasi $O''K$ gacha bo'lgan $\overline{AM}$ kesma. Avtomatika tizimlarida ishlatiladigan asinxron ijrochi motorlar uchun odatda doiraviy diagrammalardan foydalanilmaydi.

13.4§. Asinxron motorning ish xarakteristiklari

$U_1 = \text{const}$ va $f_1 = \text{const}$ shartlar ta'minlangan holda rotorning aylanish chastotasi n , sirpanishi s , stator toki I_1 , foydali momenti M_2 , quvvat koeffitsienti $\cos \varphi$ va FIK η larni valdagi yuk (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 xarakteristikalari deyiladi (13.4-rasm).

Motorning validagi yuk oshishi bilan sirpanish s o‘sib boradi. Nominal yuklamada sirpanish $s_N = 1,5 \div 5\%$ ni tashkil qiladi. Rotorning aylanish chastotasi (11.1,a) dan quyidagiga teng bo‘ladi:

$$n = n_1 \cdot (1 - s) = 60 f_1 \cdot (1 - s) / p. \quad (13.3)$$

Yuklama oshishi bilan sirpanish s ortadi, natijada rotorning aylanish chastotasi n bir oz kamayadi. Asinxron motorning nominal yuk bilan ishlagandagi foydali momenti:

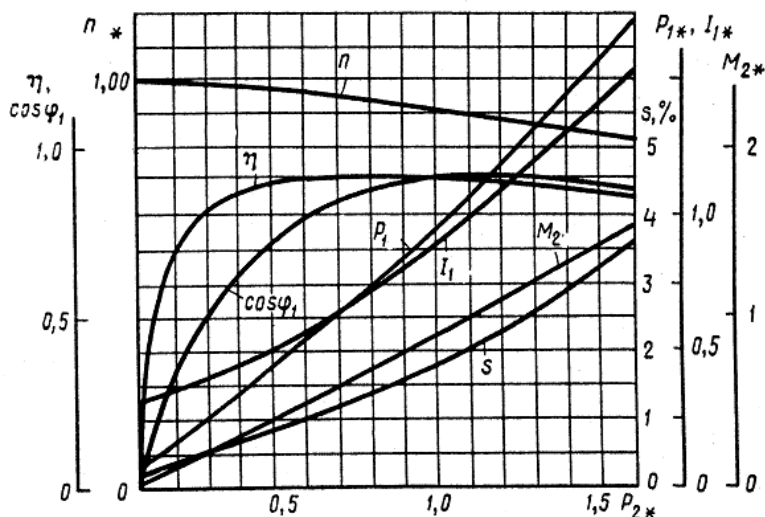
$$M_{2N} = 9,55 \cdot P_{2N} / n_N, \quad [\text{N} \cdot \text{m}]. \quad (13.4)$$

Agarda $n = \text{const}$ bo‘lganda $M_2 = f(P_2)$ bog‘lanishning grafigi deyarli to‘g‘ri chiziq bo‘lardi. Lekin yuklama ortishi bilan n bir oz kamayadi, shu sababli yuklamaning ortishi bilan moment M_2 foydali quvvat P_2 ga qaraganda tezroq o‘sadi va uning o‘zgarishi yuqoriga og‘gan egri chiziqdan iborat bo‘ladi. Motorning validagi yuk oshishi bilan stator toki I_1 ning aktiv tashkil etuvchisi oshib boradi. Kuchlanish $U_1 = \text{const}$ bo‘lganligidan tok I_1 ning reaktiv tashkil etuvchisi I_{1r} esa bir xilda qoladi. Shuning uchun ham turli yuklamalarda motorning magnit oqimi deyarli o‘zgarmaydi. Shu sababli $I_1 = f(P_2)$ bog‘lanish deyarli bir xilda qoladi.

Motor kichik yuk bilan ishlaganda stator toki tarkibidagi reaktiv tok, aktiv tashkil etuvchisiga nisbatan katta bo‘ladi. Shu sababli motorning quvvat koeffitsienti kichik ($0,1 \div 0,2$) bo‘ladi. Yuklamaning ortishi bilan tokning aktiv tashkil etuvchisi orta boradi. Bunda kuchlanish U_1 va motor toki I_1 vektorlari orasidagi burchak kichiklashib, $\cos\varphi$ esa o‘sib boradi. Motor ning 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. FIK ning o‘zgarishi xuddi boshqa elektr mashinalariniki yoki transformatorniki singari bo‘ladi. Salt ishlashda FIK $\eta = 0$. Yuklamaning ortishi bilan η oshib boradi va o‘zgarmas isroflar (yuklamaga bog‘liq bo‘lmagan

mexanik va salt ishlash isroflari) o'zgaruvchan isroflarga (yuklamaga bog'liq ravishda o'zgaradigan chulg'amlardagi elektr va qo'shimcha isroflar) teng bo'lganda o'zining katta qiymatiga erishadi va yuklamaning yanada ortishi natijasida o'zgaruvchan isroflarning oshishi tufayli FIK η bir oz kamayadi.

13.4-rasm. Quvvati 50 kW, 220/380 V, 1470 ayl./min bo'lgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning ish xarakteristikalarini



13.5§. Asinxron motorlarning ish xarakteristikalarini analitik hisoblash usuli

Asinxron motorlarning ish xarakteristikalarini ularning o'zgarmas elektr parametrlari uchun qurilgan toklarning doiraviy diagrammasini qo'llab hisoblash usuli katta kamchilikka ega, masalan, o'rta va katta quvvatli asinxron motorlarning ish rejimlari o'zgarganda paz va differensial tarqoq magnit oqimlari tomonidan po'lat o'zakning chulg'am joylashgan qismidagi tishlarning to'yinishi tufayli mashina stator va rotor chulg'amlarining induktiv qarshiliklari o'zgaradi. Chulg'amlardagi tokning oshishi bilan tarqoq oqimlar ham osha boradi va natijada magnit o'zakning tish qismi to'yina boshlaydi. Bunday holda tarqoq oqim uchun magnit o'tkazuvchanlik kamayib, x_1 va x_2 induktiv qarshiliklar ham kamayadi. Motorning ish rejimi nominaldan uning rotor to'xtagunga ($s = 1$) qadar o'zgarganda uning induktiv qarshiliklari pazlarning shakliga bog'liq holda $1,1 \div 1,4$ marta kamayadi. Sirpanishning oshishi rotor chulg'ami o'tkazgichlarida tokning siqib chiqarish effektining ta'siri tufayli r_2' aktiv qarshiligining ham oshishiga olib

keladi. Demak, toklarning doiraviy diagrammasi bo'yicha aniqlangan ish xarakteristikalarining yetarli darajada aniqligi sirpanishning juda ham kam qiymatlariga to'g'ri kelar ekan.

Asinxron motorning katta sirpanishlarga to'g'ri keladigan ishini xarakterlovchi kattaliklar, shu jumladan, ishga tushirish toki va ishga tushirish momentini aniqlashda katta xatoliklarga olib keladi. Doiraviy diagrammada qo'shimcha grafik qurishlar va ulardan foydalanib kesmalarni o'lchashlarda ham xatoliklar kelib chiqadi.

Asinxron motorning ish xarakteristikalarini analitik usulda hisoblaganda yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklar bo'lmay, zamonaviy hisoblash texnikasida amalga oshirilishi tufayli aniqlik yuqori darajada bo'ladi. Analitik hisoblash usuli asinxron motorning almashtirish sxemasiga (11.4,b-rasm) 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'aming keltirilgan aktiv qarshiligi r_2' , kritik sirpanish s_{kr} va nominal sirpanish s_N lar quyidagicha aniqlanadi:

$$r_2' = r_{qt} - r_1, \quad (13.5)$$

$$s_{kr} \approx r_2' / x_{qt}, \quad (13.6)$$

$$s_N = (n_1 - n_N) / n_1. \quad (13.7)$$

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)

$$r_{ek} = r_1 + r_2' / s. \quad (13.8)$$

Almashtirish sxemaning ishchi zanjiri (konturi)ning ekvivalent to'la qarshiligi (Ω)

$$Z_{ek} = \sqrt{r_{ek}^2 + x_{qt}^2}. \quad (13.9)$$

Asinxron motor almashtirish sxemasi ish konturiining quvvat koefitsienti

$$\cos\varphi_2 = r_{ek}/Z_{ek} . \quad (13.10)$$

Rotor chulgʻamining keltirilgan toki, (A)

$$I'_2 = U_1/Z_{ek} \quad (13.11)$$

va uning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari, (A)

$$I'_{2a} = I'_2 \cos\varphi_2 ; \quad (13.12)$$

$$I'_{2r} = I'_2 \sin\varphi_2 . \quad (13.13)$$

Stator chulgʻamining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari, (A)

$$I_{1a} = I_{0a} + I'_{2a} ; \quad (13.14)$$

$$I_{1r} = I_{0r} + I'_{2r} , \quad (13.15)$$

bularda: $I_{0a} = I_0 \cos\varphi_0$ – salt ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisi;

$I_{0r} = I_0 \sin\varphi_0$ – salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi.

Stator chulgʻamining toki, (A)

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1r}^2} . \quad (13.16)$$

Asinxron motorning quvvat koefitsienti

$$\cos\varphi_1 = I_{1a}/I_1 . \quad (13.17)$$

Motorning iste'mol qiladigan aktiv quvvati, (W)

$$P_1 = m_1 U_1 I_{1a} . \quad (13.18)$$

Salt ishlash rejimdagi aktiv quvvati, (W)

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + P'_m + P'_{mex} , \quad (13.19)$$

bunda r_1 - stator fazaviy chulgʻamining aktiv qarshiligi (Ω); bu qarshilik mazkur tajribani o'tkazib bo'lgandan keyin tezda o'lchab olinadi.

Stator chulgʻamidagi elektr isroflar, (W)

$$P'_{e1} = m_1 I_1^2 r_1 . \quad (13.20)$$

Asinxron motorning elektromagnit quvvati, (W)

$$P_{em} = P_1 - (P'_m + P'_{e1}) . \quad (13.21)$$

Rotor chulgʻamidagi elektr isroflar, (W)

$$P'_{e2} = m_2 I_2^2 r_2 = m_1 (I'_2)^2 r'_2 . \quad (13.22)$$

Elektromagnit moment, (N·m)

$$M = P_{em} \omega_1 , \quad (13.23)$$

bunda $\omega_1 = 2\pi n_1/60 = 2\pi f_1/r$ – maydonning burchak tezligi.
Qo‘shimcha isroflar (nominal rejim uchun), (W)

$$P'_{qo'sh(N)} = 0,005 P_1 . \quad (13.24)$$

Motorning nominal bo‘lmagan rejimi uchun qo‘shimcha isroflarini hisoblashda quyidagi ifodadan foydalanish zarur:

$$P'_{qo'sh} = P'_{qo'sh(N)} \cdot k_{yu}^2 \quad (13.25)$$

bu yerda $k_{yu} = I_1 / I_{1N}$ – yuklama koeffitsienti.

Asinxron motorda barcha isroflarning yig‘indisi:

$$\Sigma P' = P'_m + P'_{e1} + P'_{e2} + P'_{mex} + P'_{qo'sh} . \quad (13.26)$$

Asinxron motorning foydali quvvati, (W)

$$P_2 = P_1 - \Sigma P' \quad \text{yoki} \quad P_2 = P_{em} - P'_{e2} - P'_{mex} - P'_{qo'sh} \quad (13.27)$$

bunda P'_{mex} – mexanik isroflar (ular salt ishlash tajribasidan aniqlanadi).

Motorning FIK

$$\eta = P_2 / P_1 = 1 - \Sigma P' / P_1 . \quad (13.28)$$

Rotorning aylanish chastotasi (13.3) formula bo‘yicha hisoblanadi.

Motorning foydali momenti (N·m)

$$M_2 = 9,55 \cdot P_2 / n . \quad (13.29)$$

Sirpanishning bir necha me‘yoriy qiymatlari uchun hisoblangan natijalar 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.

Nazorat savollari

1. Asinxron motorning salt ishlash xarakteristikasini o‘tkazishdan maqsad nima?
2. Asinxron motorning qisqa tutashuv xarakteristikasini o‘tkazishdan maqsad nima?
3. Motorning ish xarakteristikasi deb qanday bog‘lanishga aytiladi?

4. Asinxron motor toklarining doiraviy diagrammasi to'g'risida ma'lumot bering.
5. Motorning mexanik xarakteristikasi deb qanday bog'lanishga aytiladi?

* * *

14-Bob. Asinxron motorlarni ishga tushirish va aylanish chastotasini rostlash

14.1§. Uch fazali asinxron motorlarni ishga tushirish

Asinxron motor ishga tushirilganda, quyidagi asosiy talablar bajarilishi lozim: Motorni ishga tushirish mumkin qadar oson va qo'shimcha qurilmalarsiz bajarilishi lozim, ishga tushirish momenti yetarli darajada katta, ishga tushirish toki esa mumkin qadar kichik bo'lishi lozim.

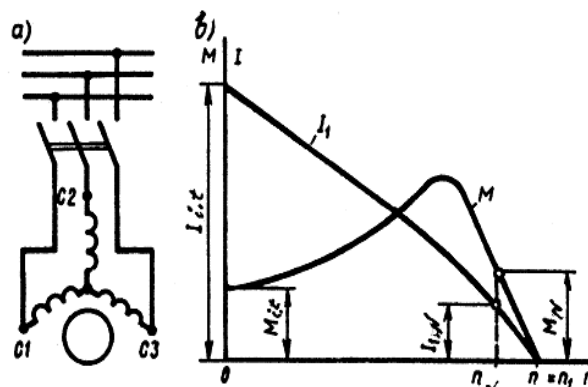
Uch fazali asinxron motorlarni ishga tushirishda amalda quyidagi usullar qo'llaniladi. Stator chulg'amlarini to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulash, stator chulg'amiga pasaytirilgan kuchlanish berib va rotor chulg'amiga reostatni ulab ishga tushirish (oxirgisi faza rotorli motorlarda).

To'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulab ishga tushirish. Kichik va o'rta quvvatli qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar ana shunday usul bilan ishga tushiriladi. Bunda motorning stator chulg'ami yetarli darajadagi quvvatga ega bo'lgan elektr tarmog'iga magnit ishga tushirgich yoki oddiy ulagich yordamida qo'shiladi va uning tezligi tabiiy mexanik xarakteristikasi bo'yicha o'sib boradi. Ishga tushirish momenti $M_{i,t}$ quyidagicha topiladi (ishga tushirish paytida $s=1$ bo'ladi):

$$M_{i,t} = (m_1 U_1^2 \cdot r'_2) / \{ \omega_1 [(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_2)^2] \}. \quad (14.1)$$

Ishga tushirish toki $I_{i,t}$ ancha katta bo'lsa ham motor uchun xavfli bo'lmaydi, chunki ishga tushirish qisqa vaqt ichida kechadi. Ishga tushirish tokining nominal tokdan $5 \div 7$ marta katta bo'lishi va ishga tushirish momentining uncha katta bo'lmasligi bu usulning kamchiligi hisoblanadi.

14.1-rasm. Qisqa tutash rotorli asinxron motorni to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulab ishga tushirish sxemasi (a) va bunda tok I_1 va aylantiruvchi moment M ning o'zgarish grafiklari (b)



Motorning stator chulg'amini to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulab ishga tushirish yuqoridagi kamchiliklarga ega bo'lishidan qat'iy nazar, u sodda, arzon va energetik ko'rsatkichlari (η , $\cos\phi_1$) kattadir.

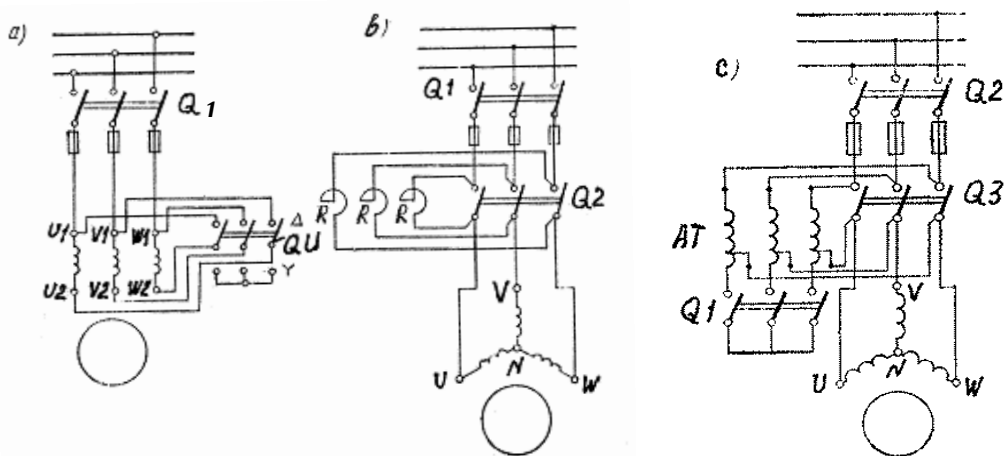
Tarmoq kuchlanishini pasaytirib ishga tushirish. Bunday usul bilan quvvati katta bo'lgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar ishga tushiriladi. Tarmoq kuchlanishini pasaytirish usullari quyidagidan iborat: a) stator chulg'amini yulduz usulidan uchburchak usuliga o'tkazish yo'li bilan ishga tushirish. Asinxron motorni bunda stator chulg'ami fazalariga berilayotgan

kuchlanish $\sqrt{3}$ marta kamayadi, xuddi shuningdek faza toklari xam $\sqrt{3}$ marta kamayadi. Liniya toklari esa 3 marta kamayadi. Stator chulgʻamlarining ulanish sxemasini oʻzgartirish 3 fazali kontaktor yoki ulagich yordamida amalga oshiriladi (14.2,a-rasm).

b) asinxron motorni reaktor yordamida ishga tushirish. Bunday usul bilan ishga tushirishda (14.2,b-rasm) reaktiv qarshiliklarda ishga tushirish tokiga toʻgʻri mutanosiblikda boʻladigan kuchlanish pasayishi ΔU vujudga kelib, stator chulgʻamlariga pasaygan kuchlanish U_{1pas} beriladi. Bu kuchlanishning qiymati quyidagicha topiladi:

$$U_{1pas} = U_1 - j I_1 X_r, \quad (14.2)$$

bunda x_r – ishga tushirish reaktiv qarshiligi.



14.2-rasm. Tarmoq kuchlanishini pasaytirib ishga tushirish: stator chulgʻamini yulduz ulanish sxemadan uchburchak ulanish sxemaga oʻtkazish yuli bilan ishga tushirish (a); stator chulgʻamiga reaktor R (reaktiv qarshilik) ulab (b) yoki AT – avtotransformator yordamida kuchlanishni pasaytirib (c) jhga tushirish sxemalari (bular: QU – qayta ulagich; Q1, Q2 va Q3 – ishga tushirish kontaktorlari)

Bu kuchlanish taʼsirida motorning rotori aylana boshlaydi. Motorning aylanish chastotasi oshib borgan sari rotor chulgʻamida hosil boʻladigan EYuK E_{2s} kamayib boradi, natijada ishga tushirish toki ham kamayadi. Stator chulgʻamlari bilan ketma-ket ulangan qarshiliklarda kuchlanish pasayishi ΔU kamayadi va motorning aylanish chastotasi oshgan sari unga berilayotgan kuchlanish U_1 avtomatik ravishda koʻpayib boradi. Soʻngra Q2 ulagich ulanadi va motorga tarmoq kuchlanishi U_1 beriladi, bunda motor nominal kuchlanish bilan ishlaydi.

v) asinxron motorni avtotransformator yordamida ishga tushirish (14.2,b-rasm). Dastlab Q3 ulagichning ulangan holatida Q1 ulagich qo'shiladi. Bunda motorning stator chulg'amiga avtotransformatordan pasaytirilgan kuchlanish (U_{1pas}) beriladi.

Bunda motorning dastlabki $M_{i,t}$ momenti quyidagicha topiladi:

$$M_{i,t} = M_{i,t.N_N} (U_1 / U_{1N})^2. \quad (14.3)$$

Ishga tushirish toki kamayadi va u quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$I_{i,t} = I_{i,t.N_N} (U_1 / U_{1N})^2. \quad (14.4)$$

Rotorning aylanish chastotasi oshgandan keyin Q3 ulagich uziladi va Q2 ulagich ulanadi. Shu tariqa stator chulg'amiga tarmoqning to'la kuchlanishi beriladi. Demak, avtotransformator yordamida tarmoqning kuchlanishi ($0,55 \div 0,73$) U_{1N} gacha pasaytirilar ekan. Tarmoq kuchlanishini pasaytirib asinxron motorlarini ishga tushirishning yuqorida ko'rib o'tilgan usullarida ishga tushirish toki va momentining kichikligi ularning kamchiligidir.

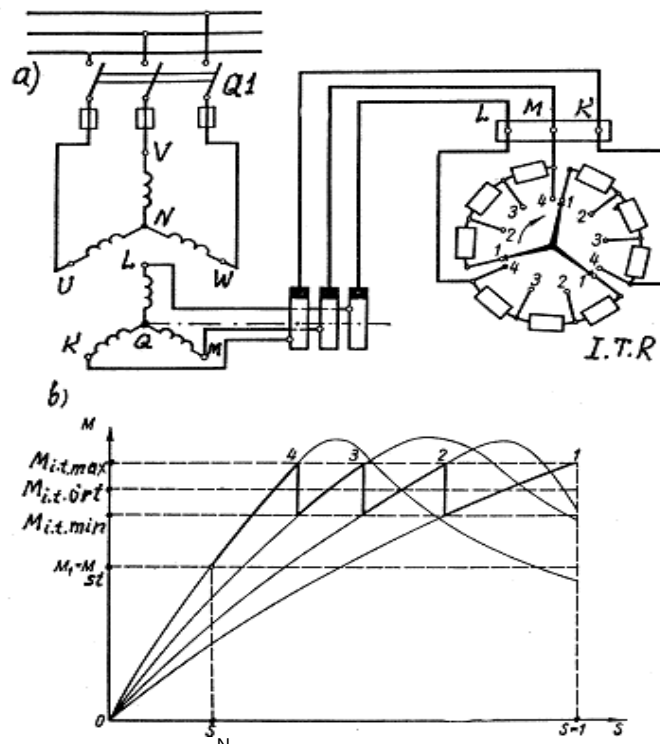
Faza rotorli asinxron motorlarni ishga tushirish. Faza rotorli asinxron motorlar maxsus uch fazali ishga tushirish reostati yordamida ishga tushiriladi. Ishga tushirish toki quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$I_{i,t} = U_1 / \sqrt{(r'_{i,t} + r'_2 + r_1)^2 + (x_1 + x'_2)^2}. \quad (14.5)$$

Ishga tushirish reostati rotor chulg'amiga ketma-ket ulanadi (14.3-rasm). Uning yordamida rotor chulg'aming aktiv qarshiligi oshirilib, ishga tushirish toki kamaytiriladi, momenti esa oshiriladi. Dastlab motor 1-xarakteristika bo'yicha ishga tushiriladi. Bu holda ishga tushirish reostatining 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 ishga tushirish reostatining bir qismi (r_1) sxemadan chiqariladi. Bunda aylantiruvchi moment birdaniga $M_{i,t,max}$ qiymatga erishadi, so'ngra aylanish chastotasining oshishi bilan 2-xarakteristika bo'yicha o'zgaradi. Bu holda ishga

tushirish reostatining qarshiligi $r_{i.t.2} = r_2 + r_3$ bo'ladi. Aylantiruvchi moment $M_{i.t.min}$ gacha kamayib boradi, shu vaqtda r_2 qarshilikni uzadilar, bunda motor 2-xarakteristika bo'yicha ishlaydi. Bunda ishga tushirish reostatining qarshiligi $r_{i.t.1} = r_3$ bo'ladi. Ishga tushirishning oxirida ishga tushirish reostati sxemadan butunlay chiqariladi va shu bilan rotorning chulg'amlari qisqa tutashtiriladi. Bu holda motor tabiiy xarakteristika (4) bo'yicha ishlaydi (14.3,b-rasm).

14.3-rasm. Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish sxemasi (a) va ishga tushirish momenti grafigini qurish (b); *I.T.R* – ishga tushirish reostati. (Izoh: chulg'am uchlari yangi standart buyicha belgilangan)



Faza rotorli motorlarni ishga tushirish va ular tuzilishining murakkabligi, qimmatligi va boshqalar bunday motorlarning kamchiligi hisoblanadi. Shu sababli faza rotorli motorlar asosan ishga tushirish sharoiti og'ir bo'lgan mexanizmlarda qo'llaniladi.

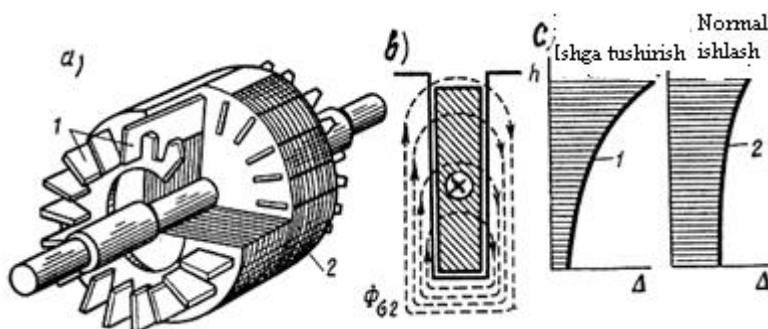
14.2§. Ishga tushirish xossalari yaxshilangan uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarning ishga tushirish momentini, rotor chulg'ami aktiv qarshiligini oshirmasdan kattalashtirish bunday motorlarning maxsus konstruksiyali qilib yaratishga olib keladi. Bunday qirqimi (b) va tok zichligi Δ ning ishga tushirish paytida (1) va normal ishlashida (2) tarqalish diagrammasi (c); $\Phi_{\sigma 2}$ – tarqoq magnit oqim; h – paz balandligi motorlarga ishga

tushirish momenti kattalashtirilgan motorlar deyiladi. Bu motorlar jumlasiga rotor qo'sh katakli va chuqur pazli motorlar kiradi.

1. Chuqur pazli asinxron motor. Bunday motorlarda rotor pazining balandligi uning enidan $6 \div 12$ marta katta bo'ladi (14.4-rasm). Bu pazlarda qisqa tutashgan mis yoki alyuminiy sterjenlar joylashgan bo'ladi. Ishga tushirishning boshlang'ich paytida ($s=1$) rotordagi tok chastotasining o'zgarishi katta bo'ladi va tokning tarqalishi asosan induktiv qarshilikka bog'liq bo'ladi. Shu sababli sterjenning yuqori qismida tokning siqilishi vujudga kelib, aktiv qarshilik oshishi tufayli ishga tushirish momenti oshadi. Sirpanish $s = s_N$ bo'lganda rotorning chastotasi $f_2 = f_1 \cdot s$ kichik bo'lganligidan va uning induktiv qarshiligi ham kichik bo'ladi. Bu holda tokning tarqalishi sterjen balandligi bo'ylab bir xilda bo'ladi (14.4,s-rasm, 2-chiziq). Natijada rotorning aktiv qarshiligi tezda kamayadi va bir vaqtning o'zida rotordagi tarqoq magnit oqimi $F_{\sigma 2}$ ning o'zgarishi x'_2 ning o'zgarishiga olib keladi. Chuqur pazli motorlarda ishga tushirish momentiing karraligi $M_{i,t}/M_N = 1,2 \div 1,4$, ishga tushirish tokining karraligi esa $I_{i,t}/I_N = 4,5 \div 6,5$ ni tashkil qiladi.

2. Qo'sh katakli motor. Bu motorning rotor ikkita qisqa tutashgan chulg'amlardan iborat. Tashqi katak (2) ishga tushirish chulg'ami hisoblanib, uning ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenlardan iborat, shu sababli uning aktiv qarshiligi katta bo'ladi. Ichki katak (1) ishchi chulg'am deyiladi va u ko'ndalang kesim yuzasi katta bo'lgan sterjenlardan iborat, shu sababli uning aktiv qarshiligi kichik bo'ladi. Ishga tushirish katagi bronza yoki latundan, ishchi chulg'ami esa misdan tayyorlanadi.

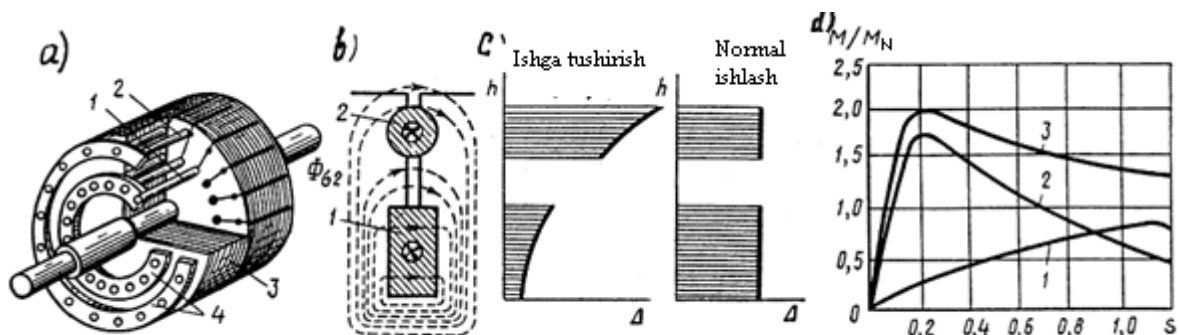


14.4-rasm. Chuqur pazli motor rotorining umumiy kurinishi (a) (bunda: 1 –«olmoxon katagi»ning sterjenlari va 2 – rotorning po'lat o'zagi); sterjen joylashgan chuqur pazning ko'rinishi

Sterjenlarning pastki qismi tarqoq oqim bilan ularning yuqori qismiga nisbatan ko'proq ilashadi (14.5-rasm). Sterjenlarning induktiv qarshiligi ularning pastki tomonida juda katta bo'ladi. Shu sababli rotor tokining deyarli hammasi ishga tushirish katagidan o'tadi. Rasmda ishga tushirish va normal ishlash toklari zichliklarining taqsimlanishi ko'rsatilgan. Elektr jihatdan ishga tushirish va ishchi chulg'amlari parallel ulangan bo'ladi. Shu sababli rotor toki chulg'amlarning to'la qarshiliklariga teskari mutanosib bo'ladi:

$$I_{2(i,t)} / I_{2(ish)} = Z_{2(ish)} / Z_{2(i,t)} = \left(\sqrt{r_{2(ish)}^2 + x_{2(ish)}^2} \right) / \left(\sqrt{r_{2(i,t)}^2 + x_{2(i,t)}^2} \right). \quad (14.6)$$

Ishga tushirishning boshlang'ich paytida ($s=1$) katakning induktiv qarshiligi aktiv qarshilikdan bir necha barobar katta bo'ladi. Shuning uchun rotordagi tok ishga tushirish katagi orqali oqadi. Rotorning tezligi osha borgan sari sirpanish s va chastota f_2 kamayadi. Bu jarayonda rotordagi tok ishga tushirish katagidan ishchi katakka o'ta boshlaydi. Natijada sirpanish s juda kichik bo'ladi va tokning tarqalishida induktiv qarshilik kam ta'sir etadi va tok asosan ishchi katagi orqali o'tadi. Qo'sh katakli asinxron motorining mexanik xarakteristikasi 14.5,d-rasmda ko'rsatilgan. Bunday motorda ishga tushirish momentining karraligi $M_{i,t} / M_N = 1,3 \div 1,7$ ishga tushirish toki karraligi esa $I_{i,t} / I_N = 4,5 \div 6$ bo'ladi. Chuqur pazli va qo'sh katakli motorlarning ishga tushirish xarakteristikalari ancha yaxshi bo'lsa ham, rotor sterjenlarining induktiv qarshiligi katta bo'lgani sababli, ularning quvvat koeffitsientlari kichikroq bo'ladi.



14.5–rasm. Qosh katakli motor rotorining umumiy ko‘rinishi (a) (bunda 1 – ishchi katak sterjenlari va 2 – ishga tushirish katagi (chulg‘ami) sterjenlari, 3 – rotorning po‘lat o‘zagi va 4 – sterjenlarni qisqa tutashuvchi xalqalar); b – 1 va 2 sterjenlar joylashgan pazning qirqimi; c – tok zichligining ishga tushirish paytida (1) va normal ishlashida (2) tarqalish diagrammasi; d – mexanik xarakteristikalari (bunda: 1 – ishga tushirish chulg‘ami momenti; 2 – ishchi chulg‘am momenti; 3 – qo‘sh katakli motorning natijaviy momenti)

Bundan tashqari, bunday rotorlarni tayyorlash texnologiyasi murakkab va tannarxi qimmat bo‘lganligi ularning kamchiligidir.

14.3§. Uch fazali asinxron motorlarning aylanish chastotasini roslash usullari

Asinxron motorlarning aylanish chastotasini roslash muammosi muhim ekspluatatsion ahamiyatga ega. Sanoatning ayrim sohalarida motorlarning roslash harakteristikalariga juda yuksak (keng ko‘lamda roslanishi, bir tekis roslanishi va iqtisodiy samarali bo‘lishi kabi) talablar qo‘yiladi. Asinxron motorning aylanish chastotasi (13.3) formula, ya’ni bo‘yicha aniqlanadi.

$$n = n_1(1 - s) = 60 f_1(1 - s) / p$$

Bundan ko‘rinishicha, motorning aylanish chastotasini roslash uchun unga berilayotgan kuchlanish chastotasi f_1 ni, juft qutblar soni «p» ni va sirpanish «s» ni o‘zgartirish kerak ekan.

a) **Kuchlanish chastotasini o‘zgartirish yo‘li bilan aylanish chastotani roslash (chastotali roslash).** Motorning aylanish chastotasini bunday usul bilan roslashda o‘zgaruvchan aylanish chastotali sinxron generator, elektr mashinali yoki boshqariladigan yarim o‘tkazgich ventilli (tiristorli) statik (ya’ni aylanmaydigan) chastota o‘zgartirgichlardan foydalaniladi. Chastotali roslashning asosiy qonunini birinchi marta akademik M.P. Kostenko ta’riflab bergan va u quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$U'_1/U_1 = (f'_1/f_1) \sqrt{M'/M}, \quad (14.7)$$

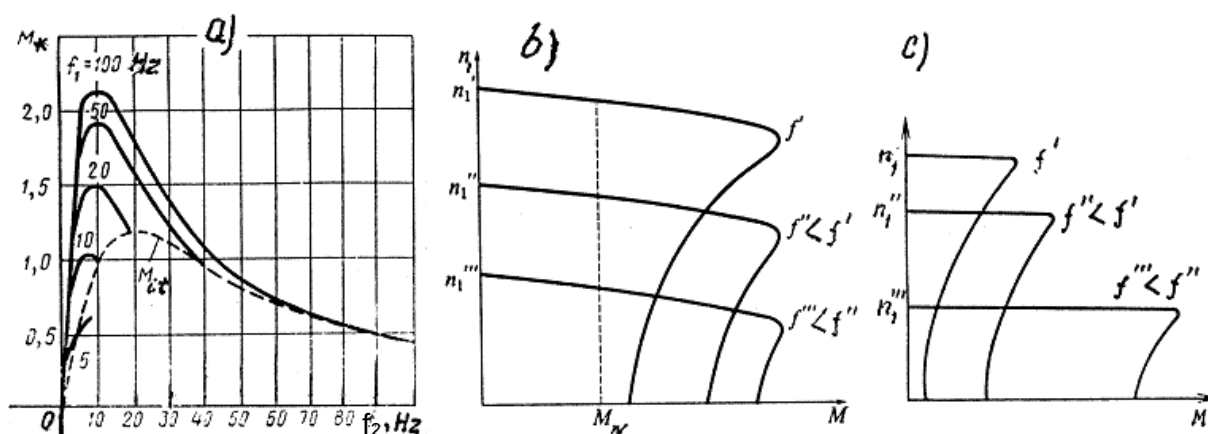
bunda: U_1 va M – f_1 chastotadagi kuchlanish va moment; U'_1 va M' – o‘zgartirilgan f'_1 chastotaga mos keladigan kuchlanish va moment. (14.7) ga binoan, motorning o‘ta yuklanish qobiliyatini, quvvat koeffisientini va FIK ni talab qilingan qiymatda o‘zgarmas holda saqlash uchun chastota f_1 ni

o'zgartirish bilan bir vaqtda stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanish U_1 ni ham o'zgartirish kerak ekan.

Agar motorning aylanish chastotasi yuk momenti o'zgarmas ($M=M'=\text{const}$) bo'lgan shartda rostlansa, unda motorga beriladigan kuchlanishni tok chastotasining o'zgarishiga mutanosib ravishda o'zgartirish zarur bo'ladi, ya'ni:

$$U'_1 = U_1 \cdot f'_1 / f_1 \quad (14.8)$$

Bunda motorning quvvati aylanish chastotaning ko'payishiga mutanosib ravishda oshadi.



14.6-rasm. Tok chastotasi f_1 ning har xil qiymatida motor aylanish chastotasini $U_1/f_1 = \text{const}$ shart buyicha rostlashdagi aylantiruvch momenti M ning chastota f_2 ga nisbatan o'zgarish grafiqi (a) hamda $M = \text{const}$ (b) va $P_2 = \text{const}$ (c) shartlar bajarilgandagi mexanik xarakteristikalar.

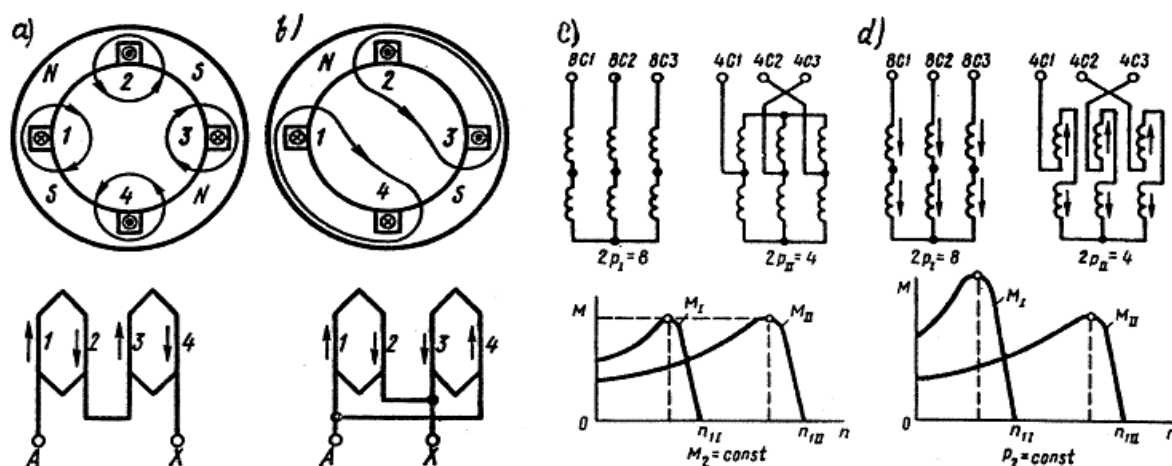
Agar aylanish chastotani rostlash motor quvvati o'zgarmas ($P_{\text{em}} = M \cdot \omega_1 = \text{const}$) bo'lgan shartda amalga oshirilsa, unda beriladigan kuchlanishni quyidagi qonunga mos o'zgartirish kerak bo'ladi:

$$U'_1 = U_1 \cdot \sqrt{f'_1 / f_1} \quad (14.9)$$

Asinxron motorlarning aylanish chastotasini stator toki chastotasi f_1 orqali rostlashda uning energetik xarakteristikalari o'zgarmasdan qolishi va aylanish chastotaning bir tekis rostlanishi uning afzalligi bo'lsa, bu usulning murakkabligi va qimmatligi esa uning jiddiy kamchiligidir.

b) Motorning aylanish chastotasini juft qutblar sonini o'zgartirish bilan rostlash. Motorning aylanish chastotasi juft qutblar soniga teskari mutanosibda

o'zgaradi. Juft qutblar soni stator chulg'amining ulanishi va chulg'am qadamiga bog'liq bo'ladi.



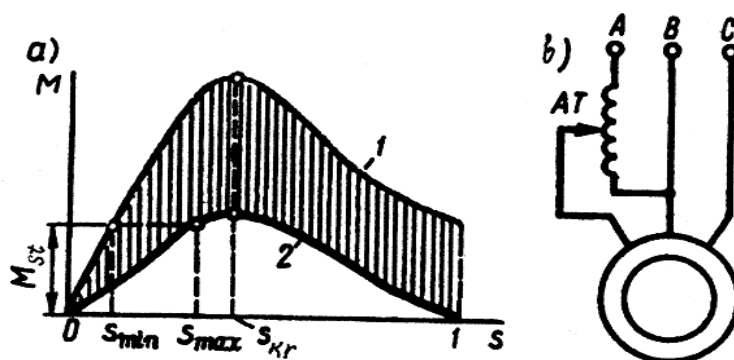
14.7-rasm. Stator faza chulg'amining qutblar sonini o'zgartirish uchun qayta ulash sxemasi: a – $2p = 4$ da va b – $2p = 2$ da uch fazali asinxron motor qutblar sonini qayta ulash sxemalari hamda uning aylantiruvchi momenti $M = const$ (c) va aylanish chastotasi $n = const$ (d) rejimlarida mexanik xarakteristikalari

14.7-rasmda stator chulg'amining qutblar sonini o'zgartirishning eng oddiy sxemasi keltirilgan. Bu sxema bo'yicha stator chulg'amining qutblar soni ikki marta o'zgaradi. Bunda stator chulg'amining har bir fazasi ikkiga bo'linib, ketma-ket ulanishdan parallel ulanishga o'tkaziladi. 1 va 2, 3 va 4-g'altaklarning parallel ulanishi qutblar sonini ikki marta kamaytirib, motorning aylanish chastotasini ikki marta oshiradi. Agarda motorning aylanish chastotasini uch yoki to'rt karra oshirish kerak bo'lsa, u holda statorga qo'shimcha yana bitta chulg'am joylashtiriladi. Qutblar soni o'zgartirilib, aylanish chastotasi rostlanadigan asinxron motorlarni ko'p tezlikli motorlar deyiladi. Bunday motorlarning rotori qisqa tutashgan bo'ladi. 14.7-rasmda stator chulg'ami qutblar soni 2:1 va 8:4 nisbatlarga o'zgaradigan sxemalar ko'rsatilgan. Bu rasmdagi «c» sxema $M_2=const$, «d» sxema esa $P_2 = const$ hollar uchun qutblar sonini o'zgartiradi va motorning shu rejimlarga mos bo'lgan mexanik xarakteristikalari ko'rsatilgan. Katta o'lchamga ega bo'lish va tannarxining qimmatligi ko'p tezlikli motorlarning kamchiliklari hisoblanadi. Bundan tashqari motorning aylanish chastotasini $f = 50 \text{ Hz} = const$ bo'lganda rostlash bir tekis bo'lmay pog'onali bo'ladi va motorning

juft qutblar soni $p = 1; 2; 3; 4$ larda stator chulg'ami hosil qilgan aylanma magnit maydoni n_1 ning aylanish chastotasi $3000:1500:1000:750$ nisbatda o'zgaradi.

v) Sirpanishni o'zgartirish yo'li bilan asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash. Sirpanish s ni o'zgartirish uchun stator chulg'amiga beriladigan kuchlanishni (12.5,a-rasm), uch fazali kuchlanish simmetrikligini (14.8-rasm) va rotor zanjirining aktiv qarshiligini o'zgartirish (12.5,b-rasm) kerak bo'ladi.

14.8-rasm. Asinxron motorga beriladigan uch fazali kuchlanish sistemasi simmetrikligini o'zgartirib aylanish chastotani rostlashda mexanik xarakteristika (a), (bunda: 1 – simmetrik va 2 – nosimmetrik kuchlanishda) hamda b – tarmoqqa ulash sxemasi



Motorga beriladigan uch fazali kuchlanish simmetrikligini o'zgartirish uchun uning bitta fazasiga avtotransformator ulab shu fazaning kuchlanish qiymati o'zgartiriladi. Bu holda teskari maydon ham vujudga kelib, natijaviy elektromagnit moment ($M = M_{to'g'} - M_{tes}$) kamayadi; bu esa sirpanish s ni o'zgartiradi (14.8-rasm). Aylanish chastotani rostlashning bu usuli faqat kam quvvatli asinxron motorlarda qo'llaniladi.

g) Rotor zanjiriga reostat ulab asinxron motorning aylanish chastotasini rostlashda (12.5,b-rasmga qarang) aylanish chastota bir tekis va keng ko'lamda o'zgartiriladi. Bu usul bilan amaliyotda aylanish chastota kichik oraliqlarda o'zgartirilishi mumkin, chunki rotor zanjiridagi qo'shimcha qarshilik oshirilganda rotordagi elektr isroflar oshib ketadi.

Nazorat savollari

1. Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarni ishga tushirishning qanday usullarini bilasiz?
2. Faza rotorli asinxron motorlarni ishga tushirishning qanday usulini bilasiz?
3. Ishga tushirish xossalari yaxshilangan asinxron motorlarning qanday turlarini

bilasiz?

4. Faza rotorli asinxron motorning aylanish chastotasini qanday rostlanadi?

15-Bob. Uch fazali asinxron generator

15.1§. Asinxron mashinaning generator rejimi

Asinxron mashina, boshqa elektr mashinalari kabi, E. Lens kashf qilgan elektr mashinalarining qaytuvchanlik xossasiga binoan, motor rejimida hamda generator rejimida ishlashi mumkin. Konstruktiv bajarilishi bo'yicha asinxron generator asinxron motordan farq qilmaydi. Motor rejimidan generator rejimiga o'tkazish uchun, stator chulg'ami tarmoqqa ulangan holda birlamchi motor

yordamida asinxron mashinaning rotorini stator maydonining aylanayotgan tomoniga aylanish chastotasini maydon aylanish chastotasidan katta ($n > n_1$) qilib aylantiriladi. Bu holda mashinaning sirpanishi

$$(-s) = (n_1 - n)/n_1 \quad (15.1)$$

manfiy ishoraga ega bo'ladi. Amalda asinxron generatorning normal ish rejimida $(-s) \leq (6 \div 8) \%$ bo'ladi.

Asinxron mashina generator rejimda stator va rotor chulg'aminging o'tkazgichlari aylanma maydon bilan go'yo qarama-qarshi yo'nalishda kesishadilar. Motor rejimda mazkur o'tkazgichlar mos yo'nalishda kesishadilar. Shu sababli generatorning vektor diagrammasida E_{2s} (demak, E_{2s} ning ham) va E_1 vektorlarining yo'nalishlari shartli ravishda teskari fazada qo'yilishi kerak. Rotor toki xususida mulohazalar quyidagilardan iborat. Rotor tokining umumiy ifodasi:

$$I_2 = E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2} \quad (15.2)$$

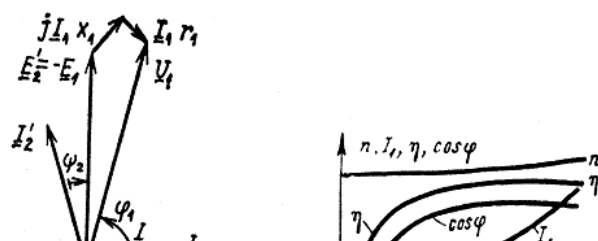
Rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi

$$\begin{aligned} I_{2a} = I_2 \cos \psi_2 &= (E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}) \cdot (r_2 / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}) = \\ &= (E_2 \cdot (-s) \cdot r_2) / (r_2^2 + s^2 x_2^2) \end{aligned} \quad (15.3)$$

o'zining ishorasini o'zgartiradi, chunki sirpanishning ishorasi manfiy $(-s)$; rotor tokining reaktiv tashkil etuvchisi esa o'zining ishorasini o'zgartirmaydi (ya'ni motor rejimidagi kabi bo'ladi), chunki $(-s)_2$ – musbat kattalik.

$$\begin{aligned} I_{2r} = I_2 \sin \psi_2 &= [E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}] \cdot [x_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}] = \\ &= (E_2 \cdot s \cdot x_2) / (r_2^2 + (-s)^2 x_2^2) \end{aligned} \quad (15.4)$$

Rotor toki aktiv tashkil etuvchisi I_{2a} ning o'z ishorasini o'zgar tirishi, elektromagnit momentning ishorasini o'zgartiradi, demak, u tormozlovchi moment bo'ladi, reaktiv tashkil etuvchisi I_{2r} ning o'z ishorarasini saqlab qolishi, motor rejimidagi singari, magnit maydonni hosil qilish uchun mashina tarmoqdan magnitlovchi tokni oladi.



Asinxron generatorning vektor diagrammasi 15.1, a-rasmda ko'rsatilgan. Bundan ko'rinishicha, generator rejimda burchak $\varphi_1 > \pi/2$ va, demak, $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 < 0$. Bu esa aktiv quvvatning iste'mol qilinishini emas, balki tarmoqqa berilishini ko'rsatadi.

Vektor diagrammada stator toki I_1 (11.19) tenglamalar tizimidagi asinxron mashina toklarining muvozanat tenglamasidan topiladi, ya'ni:

$$I_1 = I_0 + (-I'_2),$$

kuchlanish U_1 ham (11.19) dagi kuchlanish va EYuK lar muvozanat tenglamasidan aniqlanadi, ya'ni:

$$U_1 = -E_1 + jI_1 X_1 + I_1 r_1.$$

Vektor U_1 tarmoq kuchlanishini ifodalaydi. Tarmoq kuchlanishini muvozanatlovchi generator kuchlanishining vektori U_{1G} qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'ladi, ya'ni $U_{1G} = -U_1$. Generatorning tarmoqqa beradigan aktiv quvvatini rostlash rotorning burchak tezligini o'zgartirish orqali erishiladi. Asinxron generatorning ish xarakteristikalarini (15.1,b-rasm) doiraviy diagrammadan yoki almashtirish sxemasidan aniqlab qurish mumkin. Yuklamaning oshishi bilan kuchlanish $U_{1G} = \text{const}$ qilish uchun rotorning aylanish chastotasi n oshiriladi.

15.2§. Asinxron generatorning elektr tarmog'i bilan parallel ishlashi

15.2,a-rasmda asinxron generatorning sinxron generator bilan parallel ishlash sxemasi ko'rsatilgan. Bunda mashinalar va tarmoq orasida, hamda o'zaro mashinalar orasida aktiv (P) va reaktiv (Q) energiyalarning yo'nalishi strelkalar

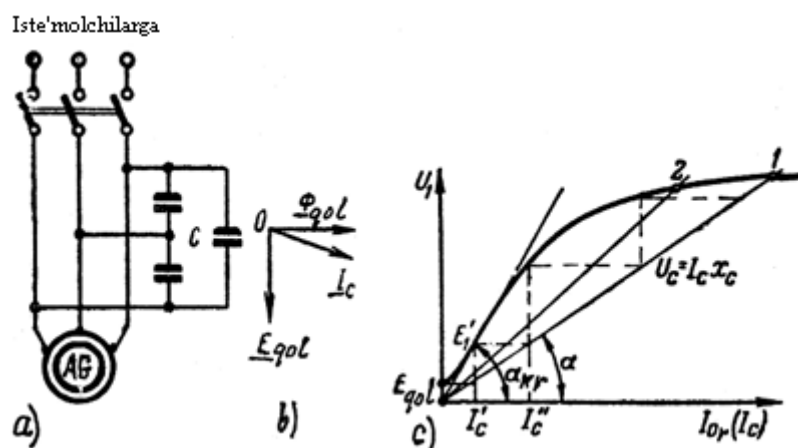
bilan ko'rsatilgan. 15.2,b-rasmda sinxron generator ish rejimiga asinxron generatorning salbiy ta'siri yaqqol tasvirlangan. Kuchlanish vektori U_1 ni sinxron generator (SG) bilan umumiy yuklamaga parallel ishlalayotgan asinxron generator (AG) ning kuchlanishi U_{1G} deb hisoblash kerak. Bunday izohlashda U_{1G} vektorini asinxron mashinaning stator chulg'amiga berilgan tarmoq kuchlanishi vektori U_1 ga nisbatan 180° ga burish kerak, va bu holda AG ning tok vektori I_{AG} kuchlanish vektori U_1 dan oldin keladi (15.2,b-rasm). AG da U_1 dan oldin keladigan tokning reaktiv tashkil etuvchisi $I_{r,AG}$ mavjudligidan SG da ham shunday tok bo'lib, bu vektor esa kuchlanish vektori U_1 dan orqada qolgan bo'ladi. Shu sababli burchak $\varphi'_{SG} > \varphi_{SG}$ bo'lib, natijada, $\cos\varphi'_{SG}$ nisbatan kamayadi (bu yerda φ_{SG} – AG ulanmagan holdagi SG ning kuchlanish $U_{SG} = U_1$ va tok I_{SG} vektorlari orasidagi siljish burchagi). AG ni qo'zg'atish uchun tarmoqdan reaktiv energiyaning olinishi uning kamchiligi hisoblanadi, chunki u energiya manbasi bo'lib ishlaganda, iste'molchilarga aktiv energiya bilan bir qatorda reaktiv energiya ham berishi (masalan, transformator va asinxron motorlarda magnit maydonni hosil qilish uchun) kerak bo'ladi. Shu sababli AG lar ayrim hollarda kam quvvatli GES va shamol elektr stanstansiyalarida ishlatiladi.

Ta'kidlash lozimki, so'nggi ilmiy izlanishlar natijalarining ko'rsatishicha, elektr energetika tizimida katta quvvatli AG sinxron generatorlar bilan parallel ishlatilganda kam chastotali tebranishlarni so'ndirishda ahamiyatli ekanligi isbotlangan.

15.3§. Elektr tarmog'iga ulanmagan asinxron generatorning o'z-o'zini qo'zg'atishi va yuklama bilan ishlashi

Asinxron generatorning o'z-o'zini qo'zg'atishi. Bunday rejimda AG ni qo'zg'atish rotor o'zagidagi qoldiq magnit maydoni va stator chulg'amiga

ulanadigan kondensatorlar yordamida amalga oshiriladi (15.3,a-rasm). AG ning stator chulg'amiga kondensator C ulanganligidan tok $I_r = I_c$ uning kuchlanishiga nisbatan oldin keladi (15.3,b-rasm). Agar qoldiq magnit oqim (Φ_{qol}) bo'lsa, rotor aylanganda stator chulg'amida kam miqdordagi E_{qol} hosil bo'ladi (15.3,c-rasm). Uning ta'siridan «stator chulg'ami–kondensatorlar» zanjirida kuchlanish vektori U_1 dan oldin keluvchi reaktiv tok I_c vujudga keladi. Bu tokning reaktiv tashkil etuvchisi I_r oqim Φ bilan bir xil yo'nalishda bo'ladi. Shuning uchun sig'im toki I_c ning stator chulg'amida hosil qilgan MYuK mashinani magnitlaydi.



15.3-rasm. O'z-o'zini qo'zg'atishli asinxron generator (a), vector diagramma (b) va AG ning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayonini tushuntirishga oid (c)

O'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni AG va kondensatorlarning kuchlanishlari teng bo'lgunga qadar, ya'ni

$$I_c \omega_1 L_1 = I_c / (\omega_1 C), \quad (15.5)$$

davom qiladi. Bunda $L_1 = (x_1 + x_2) / \omega_1$ – AG ning induktivligi; C – bir fazaga to'g'ri keladigan sig'im.

Kondensatorning sig'imi kamaytirilsa, $U_c = I_c x_c$ xarakteristikaning og'ish burchagi α kattalashib, AG ning kuchlanishi kamaya boradi va $I_c x_c$ to'g'ri chizig'i

salt ishlash egri chizig'ining to'g'ri chiziqli qismi bilan mos tushganda AG o'z-o'zini qo'zg'ata olmaydi (15.3,c-rasm).

Birlamchi motor bilan asinxron generator rotorini aylantirib

$$n = 30 \omega_1 / (\pi p) \quad (15.6)$$

formula bilan aniqlanadigan aylanish chastotaga erishganda, statorda ω_1 chastota tebranishlari vujudga keladi va $\omega_{kr} = 1/\sqrt{L_k C}$ –chastotaning eng yuqori kritik qiymati $\omega_1 > \omega_{kr}$ bo‘lganda o‘z-o‘zini qo‘zg‘atish buziladi.

Asinxron generatorning yuklama bilan ishlashi. Sirpanishni aniqlash $s=(n_1-n)/n_1$ formulaga binoan yuklama bilan ishlayotgan AG kuchlanish chastotasini $f_1 = \text{const}$ qilish uchun sirpanishning o‘zgarishiga mos ravishda aylanish chastota n ni o‘zgartirish lozim bo‘ladi. Buni amalga oshirish murakkab hisoblanadi, chunki birlamchi motorning aylanish chastotasi regulyator (rostlagich) bilan o‘zgarmas qilinganda AG ning sig‘imi va yuklamaning o‘zgarmas qiymatlarida chastota pasayadi.

Bu quyidagicha tushuntiriladi. AG yuklama bilan ishlaganda, stator chulg‘amining induktiv va aktiv qarshiliklarida kuchlanish pasayishi tufayli, uning kuchlanishi bir oz kamayadi. Bunga yana ikkinchi sabab, odatda, yuklama bilan ishlaganda AG ning magnitlovchi toki ham bir oz kamayadi, chunki kondensator tokining bir qismi rotor tokining reaktiv tashkil etuvchisini va yuklama tokini qoplashga sarflanadi. Kuchlanishning kamayishi AG magnit tizimining to‘yinish darajasini kamaytiradi va, natijada, asinxron mashinaning induktivligi L_1 ortadi; uning ortishi esa $\omega_1 = 2\pi f_1 = 1/\sqrt{L_1 C}$) formulaga binoan, chastota f_1 ning kamayishiga olib keladi va $x_C = 1/(2\pi f_1 C)$ formulaga asosan, kondensatorning induktiv qarshiligi x_C ortadi, natijada esa, tok I_C kamayadi. Demak, AG ning ishiga yuklamaning xarakteri katta ta’sir qilar ekan.

Agar AG ning yuklamasi sof aktiv bo‘lganda kondensatorlarning quvvati generatorning reaktiv quvvatiga teng bo‘lishi lozim bo‘lsa, aktiv-induktiv yuklamada esa yuklamani ham reaktiv quvvat bilan ta’minlash maqsadida kondensator batareyasining quvvatini oshirish zarur bo‘ladi.

O‘z-o‘zini qo‘zg‘atadigan AG kondensator batareyasining quvvati ancha katta, ya’ni nominal quvvatining 70÷100 % ni tashkil qiladi. Bu esa qurilmaning tannarxini oshiradi. Amaliy jihatdan, tarmoqqa ulanmagan AG ni sof aktiv yuklama bilan ishlatishda kuchlanish va chastotaning o‘zgarish xarakteristikalarini yetarli

darajada qanoatlanarli bo'lmaganligidan AG larning qo'llanish sohalari cheklangan.

Asinxron mashinalarning ishga tushirish xarakteristikalarini yaxshiligi tufayli ularni aviamotorni ishga tushirish uchun starter sifatida foydalaniladi. So'ngra generator rejimiga o'tkazilib samolet bortida o'zgaruvchan tok manbasi sifatida ishlatilishi mumkin. O'z-o'zini qo'zg'atishli asinxron generatorlar rostlanuvchi elektr yuritmada ishlatilishi mumkin (masalan, rekuperativ tormozlashda).

Asinxron mashina generator sifatida avtomobil va traktorlarda ishlatiladigan dizel motorlarini sinash stendlarida ishlatiladi. Bunda motor sovuq paytida asinxron mashina elektr motori sifatida ishlab, uni qizdiradi va keyin, u generator rejimiga o'tkaziladi. Bu holda AG tormozlovchi momentni hosil qilib, avtomobil va traktor motorlariga yuk vazifasini bajaradi.

Qo'lda ishlatiladigan elektr instrumenti uchun yuqori chastotali elektr energiya manbai sifatida; avtomatik boshqarish tizimlarida, ergashuvchi elektr yuritmada va hisoblash qurilmalarida ichi kavak yoki qisqa tutashgan rotorli asinxron taxogeneratorlar qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. Asinxron generatorning ishlash prinsipini so'zlab bering.
2. AG ning tarmoq bilan parallel ishlashidagi jarayonlar qanday kechadi
3. AG ning o'z-o'zini qo'zg'atishi uchun qanday shartlar bajarilishi kerak?
4. AG ning afzalligi va kamchiliklari nimalardan iborat?

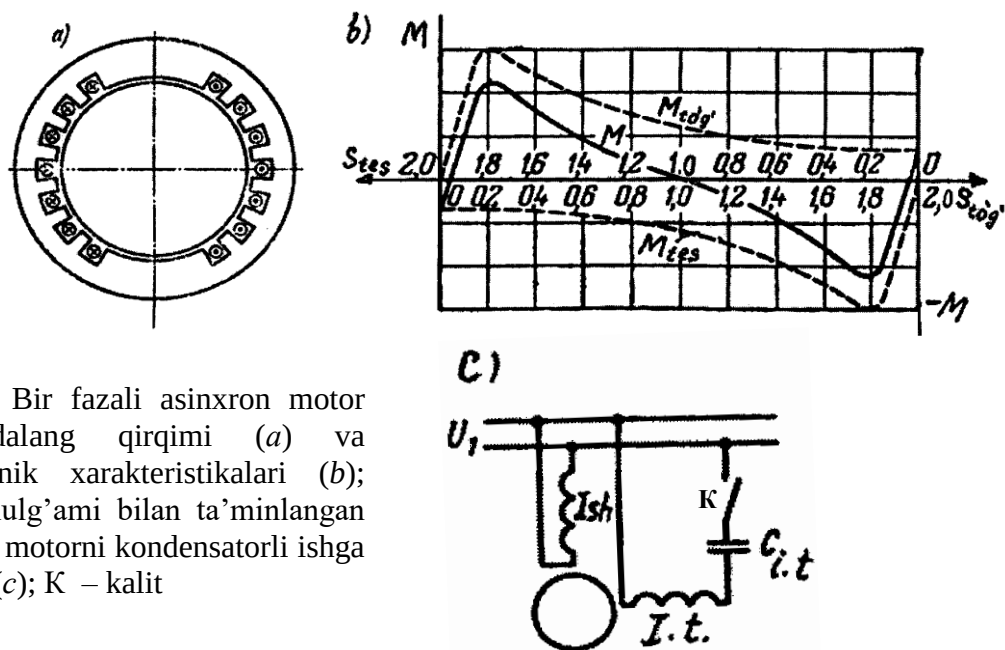
* * *

16-Bob. Bir fazali asinxron motorlar

16.1§. Bir fazali asinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi

Bir fazali asinxron motorlar ($P_2 \leq 600 \text{ W}$) avtomatik qurilmalarda va uy xo'jaligi elektr asboblari (ventilyator, sovutgich, kir yuvish mashinasi, elektr

ustara va boshqalar) ishlatiladi. Bir fazali asinxron motorning statorida bir fazali chulg'am bo'lib, rotorida esa qisqa tutashtirilgan chulg'am bo'ladi (16.1-rasm). Stator chulg'ami o'zak pazlarining 2/3 qismida joylashgan bo'ladi. Chulg'amning pazlarda bunday joylashishi havo bo'shlig'ida magnit induksiyasi shaklining sinusoidalga yaqin bo'lishini ta'minlaydi.



16.1-rasm. Bir fazali asinxron motor statorining kundalang qirgimi (a) va motorning mexanik xarakteristiklari (b); ishga tushirish chulg'ami bilan ta'minlangan bir fazali asinxron motorni kondensatorli ishga tushirish sxemasi (c); K – kalit

Bir fazali asinxron motorning stator chulg'amiga bir fazali o'zgaruvchan tok berilganda pulslanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Bu maydonni amplitudalari teng va bir-biriga nisbatan teskari bir xil aylanish chastotada aylanuvchi ikkita tashkil etuvchiga ajratish mumkin.

Bir fazali asinxron motorlar boshlang'ich ishga tushirish momentiga ega emas (16.1,b-rasm) va stator chulg'ami tarmoqqa ulanganda uning rotori aylanmaydi. Shuning uchun bunday motorlar ishga tushirish chulg'ami bilan ta'minlanadi (16.1,c-rasm). Aylanish yo'nalishi rotorning aylanish yo'nalishi bilan mos bo'lgan oqimni to'g'ri oqim $\Phi_{t o'g'}$, rotorning aylanishiga nisbatan teskari aylanadigan oqimni teskari Φ_{tes} oqim deyiladi. Bu oqimlar to'g'ri $M_{to'g'}$ va teskari aylantiruvchi moment M_{tes} larni hosil qiladi. Bu momentlar bir-biriga nisbatan teskari yo'nalishda bo'ladi. Natijaviy aylantiruvchi moment to'g'ri va teskari momentlarning yig'indisi bilan topiladi:

$$M_{nat} = M_{t o'g'} + M_{tes}.$$

To'g'ri oqimga nisbatan rotorning sirpanishi:

$$s_{t o'g'} = (n_{1(t o'g')} - n) / n_{1(t o'g')} = (n_1 - n) / n_1 = 1 - n / n_1,$$

teskari oqimga nisbatan rotorning sirpanishi esa:

$$s_{tes} = [(n_{1(tes)} - (-n)) / n_{1(tes)}] = (n_{1(tes)} + n) / n_{1(tes)} = 1 + n / n_{1(tes)}.$$

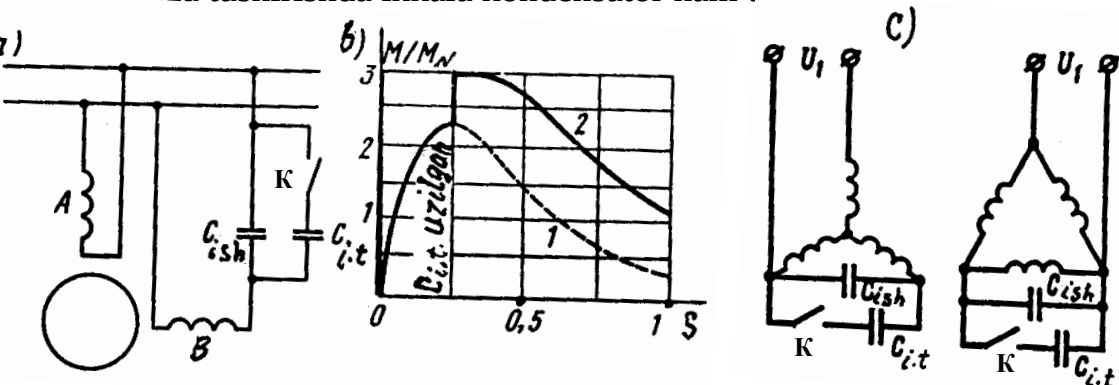
Demak, bir fazali asinxron motor ishga tushirish momentiga ega emas. Shu sababli rotor qaysi tomonga tashqi kuch yordamida aylantirilsa, o'sha tomonga aylanadi. Bunday motorning ish xarakteristikalari uch fazali asinxron motornikiga nisbatan yomon. Bundan tashqari salt ishlayotgan bir fazali motorning aylanish chastotasi, teskari magnit oqimi hosil qilgan tormozlovchi moment ta'sirida uch fazali motorning aylanish chastotasidan kichik bo'ladi.

16.2§. Kondensatorli asinxron motor va uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni bir fazali manbadan ishlatish

Kondensatorli asinxron motor. Bunday motorning statorida bir xil sondagi pazlarni egallagan va fazoda bir-biriga nisbatan 90° el. burchakka siljigan ikkita (normal rejimda «ishchi») chulg'am bo'ladi. Aylanma magnit maydonini olish sharti bo'yicha u chulg'amlarning o'ramlar soni umumiy holda turli xil bo'ladi. Shuni esda tutish lozimki, kondensator sig'imining berilgan qiymati uchun yuklamaning faqat bitta qiymatida aylanma magnit maydoni olinib, boshqa yuklamalarda esa elliptik maydon hosil bo'ladi va motorning ish rejimi yomonlashadi. Yuklamaning o'zgarishi bilan kondensator sig'imini ham rostlash zarur bo'lib, bu holda motor sxemasi murakkablashadi.

Ayrim hollarda aylanma maydon olish uchun ishga tushirish vaqtida va biror-

bir yuklamada kondensatorlar parallel ulanadi. Yuklamada bitta kondensator



16.2-rasm. Kondensatorli asinxron motor sxemasi (a) va uning mexanik xarakteristikasi (b); uch fazali asinxron motorni bir fazali tarmog'dan ishlatishda stator chulg'amini ulash

Kondensatorli motorlarning FIK xuddi shunday quvvatli uch fazali asinxron motornikiga yaqin, $\cos\varphi$ esa hatto, katta bo'lishi ham mumkin.

Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarni bir fazali asinxron motor sifatida ishlatish. Buning uchun uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni 16.2-rasmdagi sxemalar asosida ulash kerak bo'ladi. Bu sxemalar bo'yicha motorni ulash uchun chulg'amlarning 6 ta uchlari ham tashqariga (klemmalar qutisiga) chiqarilgan bo'lishi lozim. Bu rasmdagi sxemalar bo'yicha ishlayotgan motor bir fazali motorga ekvivalent hisoblanadi. Uch fazali motor bir fazali motor sifatida ishlaganda uning quvvati uch fazali motor nominal quvvatining taxminan 70% ni tashkil qiladi. Bunday motorlar kichik yuklamada ishlaganda ularning texnik ko'rsatkichlari nisbatan yomon bo'ladi. Sxemalardagi (16.2-rasm) ishga tushirish qarshiliklari (sig'im va aktiv qarshilik) motor ishga tushirilgandan keyin uzib qo'yiladi. Agar sig'im motorning ish jarayonida ham sxemada ulanib qolsa uning yuklama rejimida ishlashini yaxshilaydi.

Nazorat savollari

1. Bir fazali asinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipini so'zlab bering.
2. Bir fazali motor qanday kamchiliklarga ega?
3. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni qanday qilib bir fazali motor sifatida ishlatish mumkin?
4. Kondensatorli asinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
5. Kondensatorli motorning xarakteristikalarini qanday qilib yaxshilash mumkin?

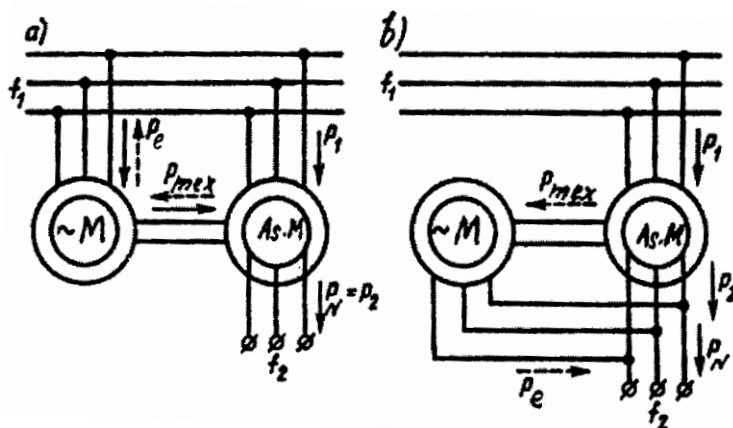
17-Bob. Asinxron mashinalarning maxsus maqsadli va zamonaviy turlari. Asinxron motorlarni ishlatishga oid amaliy maslahatlar.

17.1§. Maxsus maqsadli asinxron mashinalarning ba'zi turlari

Ko'pgina sohalarda umumiy maqsadli asinxron motorlar va generatorlar bilan bir qatorda maxsus maqsadli asinxron mashinalari ham ishlatiladi. Bunday

maxsus mashinalarga asinxron chastota o'zgartgich, faza rostlagich, induksion regulyator, aylanuvchi (buriluvchi) transformator, selsinlar, chiziqli motorlar va boshqalar kiradi. Ular yordamida chastotani, fazani va kuchlanish qiymatlarini rostlash; rotorning burilish burchagini shu burchakka yoki uning biror bir funksiyasiga mutanosib o'zgaradigan kuchlanishga aylantirish; o'zaro mexanik bog'liq bo'lmagan ikki yoki bir nechta o'qlarning sinxron burilishi yoki aylanishini ta'minlash; mexanik ob'ektlarning chiziqli yoki yoysimon siljishini amalga oshirish mumkin.

17.1-rasm. Birlamchi (yurituvchi) motori tarmoqqa (a) yoki chastota o'zgartgichni chiqishiga (b) ulangandagi asinxron chastota o'zgartgichning sxemslari
 P_e – elektr quvvat;
 P_{mex} – mexanik quvvat;
 $As.M$ – asinxron mashina



Asinxron chastota o'zgartgich. Faza rotorli asinxron mashina chastota o'zgartgich sifatida ishlashi mumkin, chunki rotordagi tok chastotasi f_2 ga teng, ya'ni:

$$f_2 = f_{1s} = p(n_1 \pm n) / 60, \quad (17.1)$$

bunda «—» belgisi rotorning magnit maydoni bilan bir xil yo'nalishda aylanishini, «+» belgisi esa uning magnit maydoniga teskari tomonga aylanishini ko'rsatadi. Asinxron chastota o'zgartgich faza rotorli asinxron mashina va uning valiga ulangan aylanish chastotasi rostlanadigan ishga tushirish motoridan iborat (17.1-rasm). Asinxron mashinaning birorta (masalan, stator) chulg'ami, chastotasi f_1 bo'lgan uch fazali elektr tarmog'iga ulansa, boshqa chulg'amidan (rotor chulg'amidan) chastotasi $f_2 = f_{1s}$ bo'lgan o'zgaruvchan tok olinadi. $f_2 > f_1$ chastota olish uchun asinxron mashina stator magnit maydoni yo'nalishiga teskari bo'lgan tomonga aylantiriladi. Bunda chastota o'zgartgich elektromagnit tormoz ($s > 1$) rejimida ishlaydi, motor esa unga mexanik quvvat uzatadi. $f_2 < f_1$ chastota olish uchun esa chastota o'zgartgich motor rejimida va stator magnit maydoni

yoʻnalishi boʻyicha aylantirilishi lozim. Bunda chastota oʻzgartgich generator boʻlib ishlayotgan birlamchi motor hosil qilgan elektromagnit momenti taʼsirida tormozlanadi. Generator rejimida ishlayotgan motor elektr energiyasini asinxron mashina ulangan tarmoqqa uzatadi. Chastota f_2 ni ravon bir tekis rostlash uchun birlamchi motor sifatida oʻzgarmas tok motoridan foydalanib, uning aylanish chastotasini oʻzgartirish kerak boʻladi.

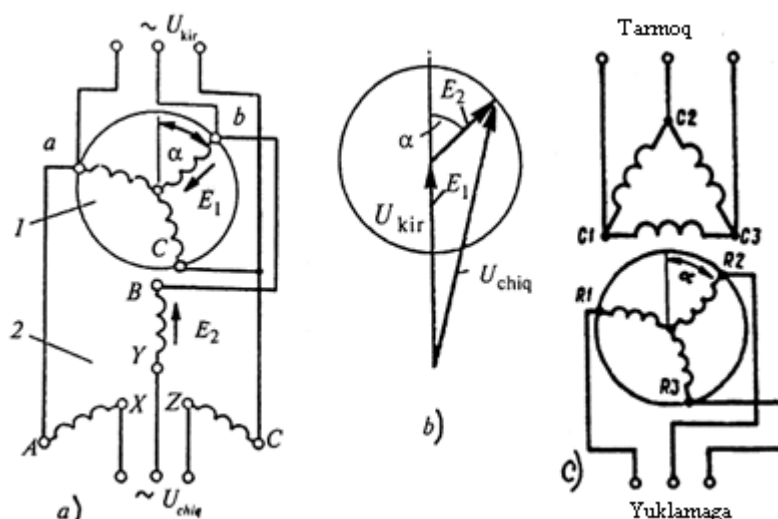
Kuchlanishni induksion rostlagich (regulyator). Bunday regulyator uch fazali buriluvchi avtotransformator koʻrinishda ishlab chiqariladi va uch fazali oʻzgaruvchan kuchlanishni rostlash uchun ishlatiladi. Induksion rostlagichning sxemasi 17.2,a-rasmda koʻrsatilgan. Bunda birlamchi chulgʻam sifatida rotor chulgʻami ishlatilsa, ikkilamchi chulgʻam sifatida esa stator chulgʻami ishlatiladi.

Induksion regulyator uch fazali tarmoqqa ulansa, uning rotor va stator chulgʻamlarining har bir fazasida EYuK hosil boʻladi:

$$\underline{U}_{reg} = \underline{E}_1 + \underline{E}_2 \approx \underline{U}_{kir} + \underline{E}_2, \quad (17.2)$$

bu yerda: $\underline{U}_{kir} = \underline{U}_1 \approx \underline{E}_1$; $\underline{U}_2 \approx \underline{E}_2$ – chiqishdagi kuchlanish; $\underline{U}_{kir}$ – kirishdagi kuchlanish. (17.2) tenglamadan shu narsa koʻrinadiki, $\underline{U}_{kir}$ va $\underline{E}_2$ vektorlari geometrik qoʻshilar ekan, shu sababli $\underline{U}_{reg}$ kuchlanishning qiymati $\underline{U}_{kir}$ va $\underline{E}_2$ vektorlari orasidagi burchakka bogʻliq boʻladi. Rotorning

Faza rostlagich (fazoregulyator). Fazoregulyator (17.2,s- rasm) konstruksiyasi jihatidan faza rotorli asinxron mashina boʻlib, ikkilamchi chulgʻam kuchlanishining qiymati oʻzgartirilmagan holda uning birlamchi kuchlanishga nisbatan fazasini oʻzgartirib beradi.



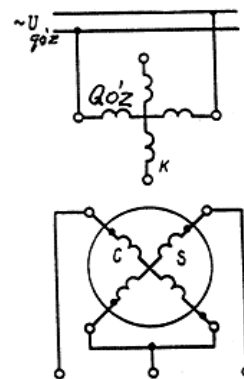
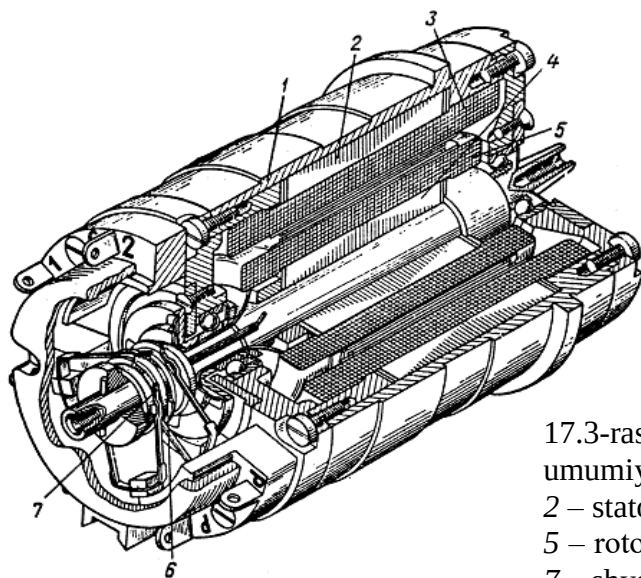
17.2-rasm. Kuchlanishni induksion rostlagichning ulanish sxemasi (a) va vector diagrammasi (b); fazaregulyatorning ulanish sxemasi (c)

Uning induksion regulyatordan farqi shuki, fazoregulyatorda rotor va stator chulgʻamlari oʻzaro elektr jihatdan ulanmagan, yaʼni transformator bogʻlanishga ega, shuning uchun ham uni ayrim holda buriluvchi transformator deb ataladi. Ikkilamchi chulgʻam kuchlanishi fazasini rotorni statorga nisbatan burish bilan amalga oshiriladi (stator chulgʻamini birlamchi chulgʻam deyiladi). Agarda faza rotorli asinxron mashinaning rotori va statorining bir xil faza oʻqlari mos tushsa, aylanuvchi magnit oqimi stator va rotor chulgʻamlarini bir vaqtda kesib oʻtadi demak, hosil boʻlgan EYuK E_1 va E_2 larning fazalari ham bir xil boʻladi. Rotorni u yoki bu tomonga α burchakka burib (17.2,c-rasm), kerak boʻlgan EYuK fazasini olish mumkin, yaʼni:

$$e_2 = E_{2\max} \sin(\omega t \pm \alpha) \quad (17.3)$$

Faza rostlagich avtomatikada faza boʻyicha xatolikni kompensatsiyalashda, boshqariladigan toʻgʻrilagichlarda, elektr oʻlchov asboblari tekshirishda va boshqalarda ishlatiladi.

Aylanuvchi (buriluvchi) transformator. Aylanuvchi transformator oʻzgaruvchan tok elektr mikromashinasi boʻlib, u rotorning burilish burchagini kuchlanishga aylantirib beradi va bu kuchlanish shu burchakka yoki uning biror bir funksiyasiga mutanosib ravishda oʻzgaradi.



17.3-rasm. Aylanuvchi transformatorning umumiy kurinishi (a): 1–korpus, 2 – stator, 3 – stator chulg‘ami, 4 – rotor, 5 – rotor chulg‘ami, 6 – kontakt halqalar, 7 – shyotkalar; b–prinsipial sxemasi

Aylanuvchi transformatorning tuzilishi (17.3-rasm) xuddi faza rotorli asinxron motorniki kabi bo‘ladi. Stator va rotorning har qaysiga bir-biriga nisbatan faza 90° ga siljigan ikkita bir fazali tarqalgan chulg‘amlar joylashgan. Magnit o‘zak bir-biridan izolyatsiyalangan elektrotexnik po‘lat tunukalardan yig‘ilgan bo‘ladi.

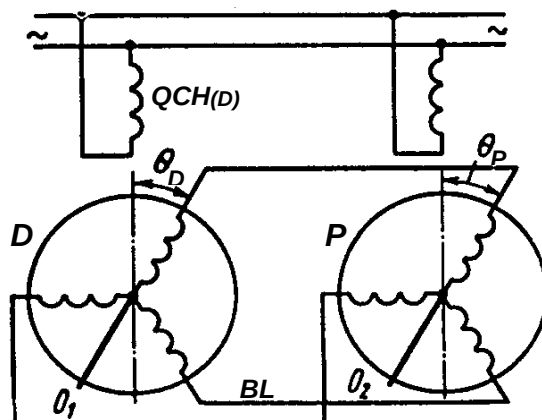
Aylanuvchi transformator burilish yoki aylanish rejimida ishlashi mumkin. Burilib ishlash rejimida rotorning statorga nisbatan holati buradigan mexanizm (reduktorli ijrochi motor) yordamida o‘zgartiriladi. Bunda stator chulg‘aming bittasi – qo‘zg‘atish chulg‘ami (QCH) o‘zgaruvchan tok manbaiga ulanadi, boshqa kompensatsiyalovchi chulg‘ami (K) esa qarshilikka ulanadi yoki qisqa tutashtiriladi. Ayrim hollarda statorning ikkala chulg‘amlari ham o‘zgaruvchan tok manbalariga mustaqil ravishda ulanadi.

Rotorning sinus (S) va kosinus (C) chulg‘amlari kontakt halqalarga cho‘tkalar orqali ulangan bo‘ladi. Aylanuvchi transformator uzluksiz aylanish ish rejimiga mo‘ljallanganda qo‘zg‘atish va kompensatsiyalovchi chulg‘amlar rotorda, sinus va kosinus chulg‘amlar esa statorda joylashgan bo‘ladi. Bunday holatda kompensatsiyalovchi chulg‘am qisqa tutashtiriladi, qo‘zg‘atish chulg‘ami esa ikkita kontakt halqa yordamida o‘zgaruvchan tok manbaiga ulanadi.

Selsinlar. Selsin ikkita chulgʻamdan: birinchisi birlamchi yoki qoʻzgʻatish chulgʻami va ikkinchisi sinxronlovchi chulgʻamdan iborat. Selsinlar bir va uch fazali boʻladi. Uch fazali selsinning tuzilishi faza rotorli asinxron motorning tuzilishi kabi boʻladi. Ular elektr vali tizimlarida ishlatiladi. Avtomatika tizimlarida esa bir fazali selsinlar ishlatiladi. Sinxronlovchi chulgʻam statorda, qoʻzgʻatish chulgʻami esa odatda rotorda joylashgan boʻladi.

17.4-rasm. Induktor rejimida ishlayotgan selsinning ulanish sxemasi: D – datchik; P – qabul qiluvchi; BL – bogʻlovchi liniyalar; QCH – qoʻzgʻatich chulgʻami; θ_1 va θ_2 – tegishlicha datchik va qabul qilgichning bosh oʻqlari

$QCH(\theta)$

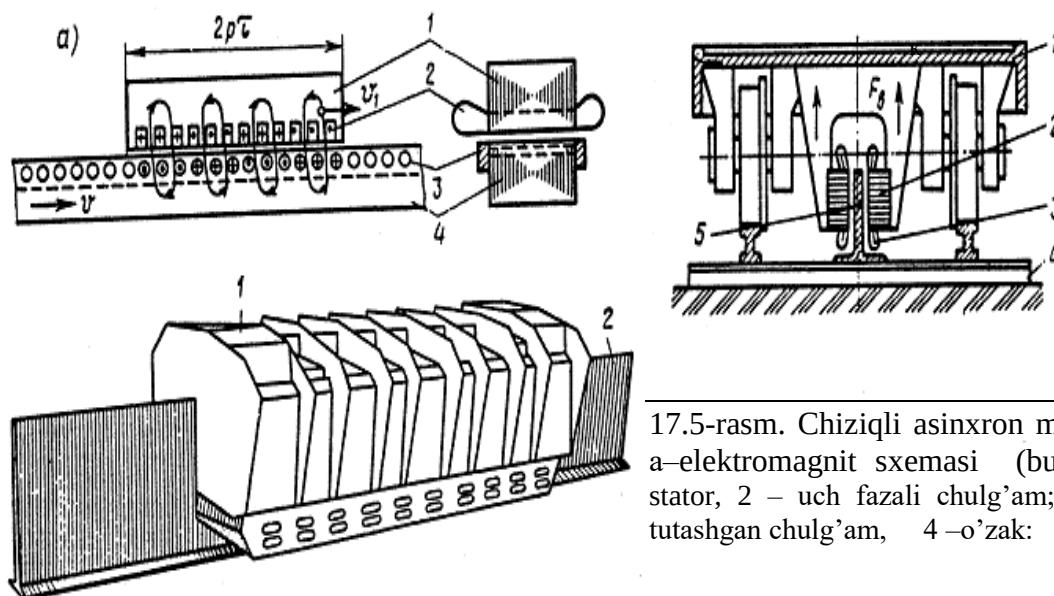


Bir fazali selsin ham kam quvvatli asinxron mashinasi kabi tuzilishga ega. Ular ayon va ayon boʻlmagan qutbli boʻladilar. Selsinlar asosan indikator va transformator rejimlarida ishlaydi.

Indikator rejimida (17.4-rasm) selsin-qabul qilgichning rotori bosh oʻq θ_1 ga ulangan boʻladi. Bunda datchik D ning va qabul qilgich (priyomnik) P ning qoʻzgʻatish chulgʻamlari umumiy oʻzgaruvchan tok tarmogʻiga, sinxronlash chulgʻamlari esa bogʻlovchi liniya orqali oʻzaro ulanadi. Agar D va P rotorlari holatlari orasida nomuvofiqlik sodir boʻlsa, unda sinxronlovchi chulgʻamlardan toklar oʻtib, ular qoʻzgʻatish oqimi bilan taʼsirlashib qarama-qarshi yoʻnalgan sinxronlovchi momentlarni hosil qiladi va, natijada nomuvofiqlik burchagi 0 ga teng boʻladi.

Chiziqli asinxron motor. Bunday motorning tishli statori pazlariga uch fazali chulgʻam joylashgan (17.5,a-rasm). Chiziqli motorning qoʻzgʻaluvchi qismi yuguruvchi deb ataladi, u asinxron mashina rotoriga oʻxshash boʻladi va, faqat tekislik boʻyicha ilgarilanma harakat qiladi. «Yuguruvchi»ning oʻzagi

elektrotexnik po‘latdan tayyorlanib, uning pazlarida qisqa tutashgan chulg‘am joylashtirilgan bo‘ladi, yoki chulg‘am o‘rnida alyuminiy va misdan yoki ferromagnit material (po‘lat)dan tayyorlangan plastinalar ishlatilishi mumkin.



17.5-rasm. Chiziqli asinxron motorning:
a–elektromagnit sxemasi (bunda: 1 – stator, 2 – uch fazali chulg‘am; 3– qisqa tutashgan chulg‘am, 4 –o‘zak:

b –yemir yo‘l transportining harakatlanuvchi qismi (1) da o‘rnatish sxemasi (bunda: 2 – stator, 3 – chulg‘am, 4 – uzun po‘lat tilimi 5 ni relslar orasiga mahkamlash uchun moslama); c – umumiy kurinishi (bunda: 1 – stator, 2 – uzun po‘lat tilimi, yani shinasi); F_k –chegaraviy effect tufayli hosil bo‘ladigan kundalang kuch

Chiziqli motorning ishlash prinsipi asinxron motorning ishlash prinsipi kabi bo‘ladi. Uning energetik ko‘rsatkichlari (η va $\cos\varphi$) kichik. Elektrotexnika sanoati rivojlangan ayrim mamlakatlarda (masalan, Yaponiya, Kanada, AQSh va boshqa.) ekologik toza yuqori tezlikli yer usti (temir yo‘l) transportida chiziqli asinxron tortish motorlari ishlatilmoqda. Yaponiyada magnit vositasida havoga ko‘tarilib o‘rnatilgan («magnit yostiqli») chiziqli asinxron tortish motorlari tizimining 1990 yillarda temir yo‘l transportidagi tezligi $n = 420$ km/soat (so‘nggi yillarda tezlik yana oshgan). Hozirgi kunda chiziqli asinxron motorlarni sanoatda va qishloq xo‘jaligida foydalanish ustida ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

17.2§. Asinxron motorlarning zamonaviy turlari

Elektr mashinasozlik sanoati rivojlangan mamlakatlarda, (masalan, Rossiyada va Ukrainada) quvvati bir vattning ulushini (kuchlanishi 127, 220 va

380 V) tashkil etadigan bir va ikki fazali asinxron mikromotorlardan, to quvvati 1000 kW (kuchlanishi 0,5; 0,6; 3; 6; 10 kV) gacha bo'lgan uch fazali asinxron motorlar keng miqdorda ishlab chiqarilmoqda. So'nggi ikki o'n yillikda asinxron motorlarning Xalqaro elektrotexnik komissiya (XEK) tavsiyalariga, CENELEK normalariga (28/64) va DIN 42673, DIN 42677 standartlar talablariga javob beradigan zamonaviy turlari (ularning FIK va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ yuqori hamda shovqinsiz ishlashi va 40 ming soatgacha ishlash imkoniga ega bo'lgan) ishlab chiqarilishi keng rivojlanmoqda.

Hozirgi vaqtda elektrotexnika sanoati taraqqiy qilgan mamlakatlarda servis-faktor (SF)li elektr motorlari ishlab chiqarilmoqda. ГОСТР – 2000 standartga asosan SF tushunchasi nominal kuchlanish va chastotalarda elektr motorlarining ruxsat berilgan o'ta yuklanishini bildiradi. Bunda chulg'am temperaturasining atrof muhitnikidan oshishi shu izolyatsiyaning issiqqa chidamlilik klassi uchun yo'l qo'yilgan temperaturadan 10 % dan ko'p bo'lmasligini talab etadi. Odatda SF 1,15 va ayrim hollarda 1,1 ga teng son bo'lib, uning qiymati kataloglarda ko'rsatilgan bo'ladi va elektr motorlarining kuchlanish $U=U_N$ va chastotasi $f=f_N$ bo'lganda, uning nominal quvvati (P_N)ni SF gacha oshirish imkoni bo'lishligini bildiradi.

MDH mamlakatlarida (asosan Rossiyada) asinxron motorlarning yangi (AI, RA, 5A va 6A) seriyalari yaratildi. Yaroslavl'dagi (Rossiya) elektr mashinasozlik zavodi hozirgi vaqtda quvvati 100 kW gacha bo'lgan RA yangi seriyali asinxron motorlarni ishlab chiqarmoqda. Bularni ishlab chiqarishda asosan 4A, AIR, AIS seriyali asinxron motorlarning kamchilik va ijobiy texnik xarakteristikalarini hisobga olindi. Vladimir (Rossiya) «Elektromotor» zavodi AI turkumi asosida, uning kamchilik va ijobiy texnik xarakteristikalarini asosida yangi (quvvati 315 kW gacha bo'lgan 5A va 5AN seriyali) asinxron motorlarni ishlab chiqarmoqda.

Xorijiy firmalarda ishlab chiqarilayotgan uch fazali asinxron motorlarning quyidagi ayrim seriyalarini ko'rsatish mumkin. Masalan, kuchlanishi $U= 220/380$ V; ulanish sxemasi – Δ/Y ; ikki qatlamli: 2AR90S2 (1,5 kW, $n = 3000$ ayl/min), AS1(2,2 kW, $n = 3000$ ayl/min), DB 55/2 (9 kW, $n = 3000$ ayl/min), BF4112M

(5,5 kW, $n = 3000$ ayl/min), B3 (30 kW, $n = 1500$ ayl/min), FEK (37 kW, $n = 1000$ ayl/min). Bulardan tashqari hozirgi kunda O'zbekiston temir yo'llarida harakatlanayotgan elektrovoz va yuqori tezlikdagi "Afrosiyob" elektr poezdida ham qisqa tutash rotorli asinxron motorlardan foydalanilmoqda (Germaniyaning "Simens", Yaponiyaning "Toshiba" firmalarida shlab chiqilgan). O'zbekiston Respublikasi Andijon shahridagi «Elektrodvigatel» ishlab chiqarish birlashmasida xalq xo'jaligining turli sohalarida ishlatiladigan asinxron motorlarning kam quvvatli turlari ishlab chiqarilmoqda.

Kundalik turmushimizda ishlatiladigan avtomat va yarim avtomat kiriyuvish mashinalari («EVRIKA-3M») barabanlarini yuritish uchun mo'ljallangan ikki tezlikli kondensatorli asinxron motor ishlab chiqarilmoqda ($P_{2N} = 120$ va 60 W, $U_N = 220$ V, $f = 50$ Hz, $n = 2850$ va 425 ayl/min). Chorvachilik, parrandachilik fermalarida va boshqa ishlab chiqarish ob'ektlarida qo'llaniladigan turli xil mashina hamda mexanizmlarni yuritish uchun 4AM100SU1 turidagi uch fazali asinxron motorlar ($P_{2N} = 2,2; 3; 4$ va $5,5$ kW, $U_N = 380$ V, $\eta = 81; 82; 86,5$ va $87,5$ %) mo'ljallangan.

4AM100UZ tipli uch fazali asinxron motorlardan foydalanish qulay bo'lganligi sababli ular har xil dastgohlarda, kompressorlar, ventilyatorlar hamda avtomat boshqarish tizimlarida keng qo'llaniladi. Ularning nominal kattaliklari xuddi 4AM100SU1 tipli motorniki singaridir.

Nazorat savollari

1. Asinxron mashinalarning maxsus turlari to'g'risida ma'lumot bering.
2. Asinxron motorlarni ishlatish jarayonida qanday nosozliklar bo'lishi mumkin?
3. Asinxron motorlarning zamonaviy turlari to'g'risida ma'lumot bering.

To'rtinchi bo'lim. SINXRON MASHINALAR

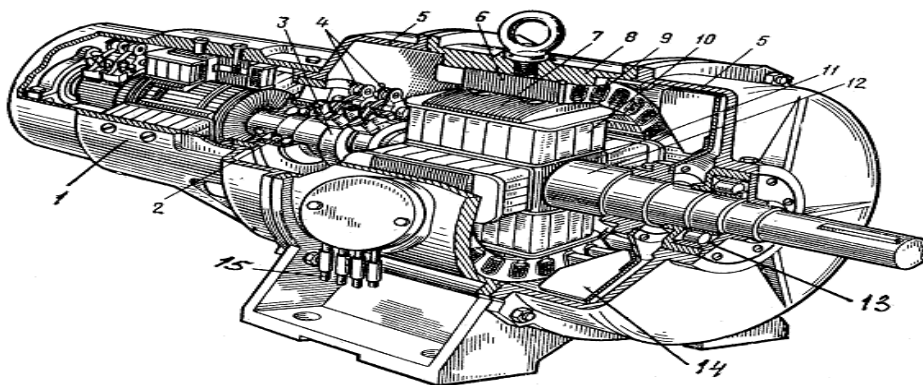
18-Bob. Sinxron mashinalarning konstruksiyalari, ishlash prinsipi va qo'zg'atish tizimlari

Statorda hosil bo'lgan aylanma magnit maydonning aylanish chastotasi rotorning aylanish chastotasi bilan bir xil chastotada aylanadigan mashinaga sinxron mashina deyiladi.

Sinxron mashinalar motor, generator va kompensator rejimlarida ishlatilishi mumkin. Elektr stansiyalarda o'zgaruvchan tok energiyasini sinxron generatorlar (turbogeneratorlar, gidrogeneratorlar) ishlab chiqaradi.

18.1§. Sinxron mashinalarning konstruksiyasiga oid umumiy ma'lumot

Oldingi boblarda o'zgaruvchan tok mashinalari aktiv qismlariga oid umumiy ma'lumot berilgan edi. Quyida kam quvvatli va yirik sinxron mashinalar konstruksiyalarining o'ziga xos xususiyatlariga oid ma'lumot bilan tanishamiz. Ayon qutbli kam quvvatli elektromagnit qo'zg'atgichli sinxron mashinaning tuzilishi 18.1-rasmda ko'rsatilgan. Bunda rotorga tegishli asosiy qismlar: val (12), unga mahkamlab joylashtirilgan ostov, ya'ni rotor yarmosi (11), bunga o'rnatilgan magnit qutblar, ya'ni qutb o'zagi va qutb uchligi (7), o'zakning tashqarisida qo'zg'atish chulg'ami (10), mashinani sovitgich – ventilyator (14) hamda mashinaning qo'zg'atgich tomoniga o'rnatilgan kontakt halqalar (3)dan iborat.



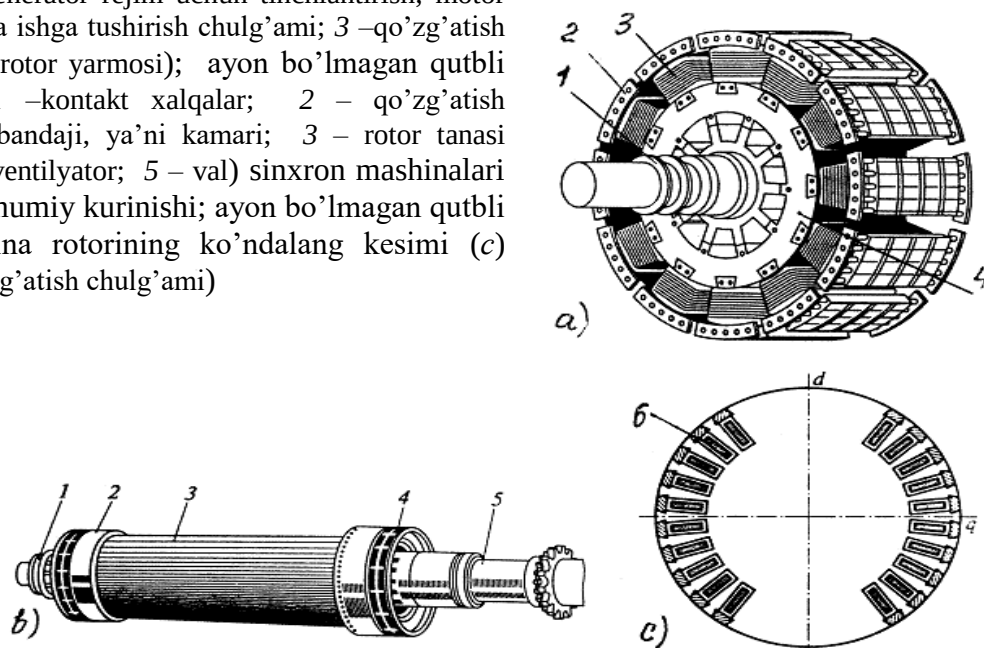
18.1-rasm. Ayon qutbli kam quvvatli sinxron mashinaning tuzilishi: 1– elektromagnit qo'zg'atgich; 2 – tayanch taglik; 3 – kontakt xalqalar; 4 – chyotka tutgich va chyotkalar; 5 – podshipnik qalqoni; 6 – stator po'lat o'zagi; 7 – qutb uchligi; 8 – stanina; 9 – stator o'zagi pazlari (chulg'ami bilan); 10 – qutb (qo'zg'atish chulg'ami bilan); 11 – rotor yarmosi;

12 – val; 13 – podshipnik; 14 –ventilyator; 15 – stator chulg’aming chiqish uchlari

Katta quvvatli sinxron mashina (SM)larning ayrim qismlariga juda katta mexanik va elektromagnit yuklamalar kuchli ta’sir qiladi. Yuklamasining jadalligi bo’yicha bu mashinalar boshqa hamma elektr mashinalaridan ustun turadi. Shuning uchun ulardan katta miqdorda issiqlik ajralib chiqishi tufayli ularni jadallik bilan sovitish talab qilinadi.

Yirik sinxron mashinalar konstruksiyasiga ko’ra turbogeneratorlar, gidrogeneratorlar, sinxron kompensatorlar va sinxron motorlarga bo’linadi.

18.2-rasm. Ayon qutbli (a) (bunda: 1 – kontakt xalqalar; 2 – generator rejim uchun tinchlantirish, motor rejimi uchun esa ishga tushirish chulg’ami; 3 –qo’zg’atish chulg’ami; 4 – rotor yarmosi); ayon bo’lmagan qutbli (b) (bunda: 1 –kontakt xalqalar; 2 – qo’zg’atish chulg’aming bandaji, ya’ni kamari; 3 – rotor tanasi (yarmosi); 4 –ventilyator; 5 – val) sinxron mashinalari rotolarining umumiy kurinishi; ayon bo’lmagan qutbli sinxron mashina rotorining ko’ndalang kesimi (c) (bunda 6 – quzg’atish chulg’ami)



Turbogeneratorlarning rotorlari (18.2,b-rasm) oliy sifatli, bolg’alanib yasalgan, yaxlit (ya’ni quyma) po’latdan yasaladi; 18.2,c-rasmda ayon bo’lmagan qutbli sinxron generator rotorini (shu jumladan, qo’zg’atish chulg’ami)ning ko’ndalang kesimi ko’rsatilgan.

Eng katta quvvatli turbogenerator rotorining diametri (aylanish chastotasi $n = 3000$ ayl/min bo’lganda) markazdan qochirma kuchlarni cheklash maqsadida $d_r = 1,2 \div 1,25$ m. dan oshmasligi, rotor tanasining uzunligi esa, valning egilishini

cheklash maqsadida $l_r = 7 \div 7,5$ m. dan oshmasligi kerak. Rotor (ya'ni qo'zg'atish) chulg'aming tayyorlanishi sovitish tizimiga bog'liq bo'ladi. To'g'ridan-to'g'ri ichki sovitish tizimida chulg'am o'tkazgichlarining ichida sovitish kanallari bo'lib, ulardan vodorod yoki distillangan suv o'tib issiqlik aktiv oraliqdan sovitish tizimiga uzatiladi.

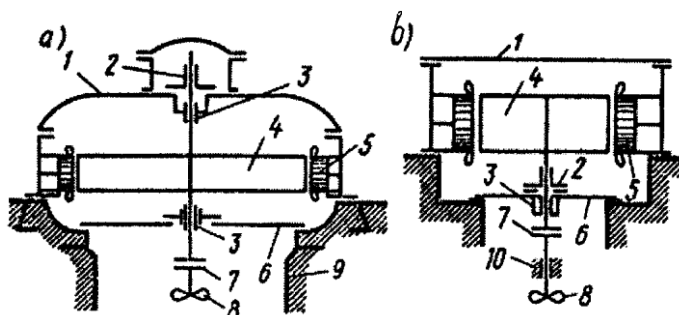
Issiqlik elektr stansiyalarida turbogeneratorlar o'rnatilgan bo'ladi va ular $n = 3000$ ayl/min ($2p = 2$) aylanish chastota bilan ishlagani uchun turbogeneratorning va bug' mashinasining gabariti va massasini ancha kamaytirishga imkon beradi. Dunyoda eng katta quvvatli turbogenerator (1200 MW) «Elektrosila» OAJ da (Sankt-Peterburg, Rossiya) tayyorlanib Kostroma issiqlik elektr stansiyasida ishlab turibdi. Atom elektr stansiyalarida reaktorlar ishlab chiqargan bug'ning bosimi nisbatan kam bo'lganligidan, turbina va turbogeneratorlarning aylanish chastotasi $n=1500$ ayl/min ($2p = 4$) qilib ishlatish tejamli hisoblanadi.

Quvvati 200 – 300 MW bo'lgan turbogeneratorlar texnik jihatdan eng takomillashgan, tejamli va ishonchli hisoblanadi. Stator va rotor chulg'amlarini ichidan suv bilan sovitishda turbogeneratorlarning eng katta quvvatini 2 mln. kW gacha oshirish imkoniyati bo'ladi xolos. Bitta turbogeneratorning quvvatini yana ham oshirishni, faqat rotor chulg'amini tayyorlashda o'ta o'tkazuvchanlik materialidan foydalanganda erishish mumkin (bunday turbogeneratorni krioturbogenerator deyiladi). Bunda hozirgi ishlab turgan quvvatlardagi turbogeneratorlarning FIK ni oshirish va materiallar sarfini 2÷3 marta kamaytirish imkonini beradi. Hozirgi vaqtda quvvati 100 MW gacha bo'lgan turbogeneratorlarni havo bilan sovitish tizimi qo'llanila boshlandi, istiqbolda esa bunday tizimni quvvati 200 MW gacha bo'lgan turbogeneratorlarda qo'llash mumkinligi isbotlangan. Bu holda konstruksiya ancha oddiy bo'lib, turbogeneratorning tannarxi ham kamayadi.

Gidrogeneratorlarda rotorining aylanish chastotasi kam ($n=50 \div 500$ ayl/min) bo'lib, ularning katta quvvatlisi vertikal (tik) o'rnatiladigan qilib yasaladi. 18.3-rasmda bunday gidrogeneratorlarning osma va soyabon tiplarining konstruktiv sxemalari tasvirlangan.

Gidrogeneratorlarda stator va rotor chulgʻamlari hamda stator poʻlat oʻzagi bevosita distillangan suv bilan sovitiladi. Agar bunday sovitish tizimini xuddi

18.3-rasm. Hidrogeneratorlarning konstruktiv sxemalari – osma (a) va soyabon (b) turlari: 1 – ustki krestovina (yani rotorni yuqoridan kutargich; 2 – yonbosh tayanchi; 3 – yunaltiruvchi podshipniklar; 4 – rotor; 5 – stator; 6 – pastki tayanch; 7 – val flanesi (yaʼni turbina va generator vallarini birlashtiruvchi de-tal); 8 – turbina; 9 – fundament (asos); 10 – turbinaning yoʻnaltiruvchi podshipniklari



shunday quvvatga ega boʻlib, tashqaridan (sirtidan) havo bilan sovitish tizimi bilan solishtirilganda distillangan suv bilan sovitish tizimida bir xil oʻlchamdagi gidrogenerator quvvatini 2 marotaba oshirish mumkin.

Hozirgi vaqtda Sayano-Shushensk GES da (Rossiya) har bittasining quvvati 640 MW (720 MV·A) aylanish chastotasi $n = 142,8$ ayl/min boʻlgan gidrogeneratorlar ekspluatatsiya qilinmoqda. Uning tashqi diametri taxminan 15 m, rotorining diametri 12 m, stator magnit oʻtkazgichining uzunligi 2,75 m, qutblar soni $2p = 42$.

Xitoyning Yanszi daryosida 2010 yilda ishga tushirilgan dunyoda eng katta GES hisoblanadi. Bunda har birining quvvati 700 MW boʻlgan 26 ta gidrogenerator qoʻyilgan.

Sinxron motorlarning quvvati bir nechta oʻnlab MW ga yetadi. Ularning aylanish chastotasi $n = 100 \div 3000$ ayl/min oraligʻda boʻlib: aylanish chastotasi $n \leq 1500$ ayl/min. gacha boʻlganda ayon qutbli qilib, $n \geq 1500$ ayl/min boʻlganda esa ayon boʻlmagan qutbli qilib tayyorlanadi.

Ayon qutbli sinxron mashina qutblarining poʻlat oʻzagi yupqa (kata quvvatlida qalinligi 1-2 mm boʻlgan konstruksion poʻlat tunukasimon plastinalaridan, kam quvvatlida esa qalinligi 0,5-1 mm boʻlgan elektrotexnik poʻlat plastinalaridan) yigʻiladi. Ayon qutbli rotorning har qaysi qutb oʻzagi tashqarisiga qoʻzgʻatish chulgʻami joylashtiriladi va ular ketma-ket ulanadi. Bu chulgʻamlarning ikki uchi, valga mahkamlangan va undan izolyatsiyalangan mis

yoki latundan yasalgan kontakt halqalarga ulanadi. Mashinaning qo'zg'almas qismiga cho'tka tutqich orqali mahkamlangan cho'tkalar halqalarning sirtiga tegib kontakt hosil qiladi. Cho'tkalar simlar yordamida mashinaning tashqi klemmasiga ulanadi.

Qo'zg'atish chulg'ami (18.2,a-rasm), ya'ni induktorning uchlari I1 va I2 (yangi standart bo'yicha – F1 va F2 lotin) harflari bilan belgilanadi. Sinxron mashinaning qutb uchligidagi pazlarga maxsus qisqa tutashgan chulg'am, ya'ni dempfer chulg'ami (18.2,a-rasm) joylashtiriladi. Bu chulg'am motor rejimida ishga tushirish, generator rejimida esa – tinchlantirish (so'ndirish) vazifasini bajaradi.

Mashinada sinusoidal EYuK olish uchun mashinaning havo oralig'ida magnit oqimi sinusoidaga yaqin shaklda tarqalgan bo'lishi kerak. Bunga erishish uchun ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashinalarda qo'zg'atish chulg'amini joylashtirishda yuqori garmonika MYuK larning amplitudasi eng kam bo'lishiga in-tiladi, ya'ni qo'zg'atish chulg'ami rotor po'lat o'zagi yuzasining taxminan 2/3 qismida tayyorlangan pazlarga taqsimlangan holda joylashtiriladi, qolgan 1/3 qismini esa «katta tish» hosil qiladi. Ayon qutbli sinxron mashinalarda esa qutb uchliklarining chetlaridagi havo oralig'i uning markazidagi havo oralig'iga nisbatan kattaroq qilib olinadi. Yakor (stator) chulg'amida esa tarqalgan va qadami qisqartirilgan chulg'am ishlatiladi. Tokning 3-garmonikasini yo'qotish va mashinada quvvat isrofini kamaytirish maqsadida uch fazali generatorlarning yakor chulg'ami «yulduz» usulida ulanadi. Bunda liniya kuchlanishlarida ham 3-garmonikalar bo'lmaydi. Yuqoridagi tadbirlarni amalga oshirish yo'li bilan magnit oqimi va yakor chulg'amidan olinadigan EYuK ning shakli deyarli sinusoidal bo'ladi.

18.2§. Sinxron generatorning ishlash prinsipi va qo'zg'atish tizimining turlari

Ishlash prinsipi. Sinxron generatorda asosiy magnit maydon (oqim Φ_0) ni hosil qilish uchun uning qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok beriladi. Bu tok vaqt bo'yicha o'zgarmas va qutbiyligi (ishorasi) almashlanadigan, rotda nisbatan

qo'zg'almas bo'lgan magnit maydonni hosil qiladi. Rotor (induktor) birlamchi mexanizm yordamida aylantirilganda, uning magnit maydoni qo'zg'almas stator (yakor) chulg'amiga nisbatan aylanadi va unda elektromagnit induksiya qonuniga asosan, o'zgaruvchan EYuK hosil qiladi.

Agarda stator pazlarida simmetrik (ya'ni fazalarining magnit o'qlari fazoda 120° el. ga siljigan bo'lib, fazalarining elektr qarshiliklari va o'ramlar soni bir xil) uch fazali chulg'am joylashtirilgan bo'lsa, bu chulg'amda moduli bo'yicha teng va vaqt bo'yicha 120° el. ga siljigan EYuK larning simmetrik tizimi induksiyalanadi. Faza chulg'amlarida induksiyalanadigan EYuK larning chastotasi:

$$f_1 = pn / 60, \quad (18.1)$$

bunda: p – chulg'amning juft qutblari soni; n – rotorning aylanish chastotasi, ayl./min.

Agar sinxron generatorning uch fazali yakor chulg'ami tashqi simmetrik yuklamaga ulansa, undan yakorning doiraviy aylanma magnit maydonini vujudga keltiruvchi simmetrik o'zgaruvchan toklar tizimi o'tadi. Bu maydonning statorga nisbatan aylanish chastotasi

$$n_1 = 60 f_1 / p. \quad (18.2)$$

Bunga (18.1) dan f_1 ning qiymatini qo'yib, $n_1 = n$ ekanligini aniqlaymiz. Demak, qo'zg'atish va yakor chulg'amlarining magnit maydonlari bir-biriga nisbatan qo'zg'almas bo'lib, mashinaning natijaviy magnit maydonini hosil qilar ekan. Shu tariqa sinxron generatori mexanik energiyani elektr energiyaga aylantiradi.

Qo'zg'atish tizimi va uning turlari. Ko'pchilik elektr mashinalari elektromagnit qo'zg'atishli bo'lib, bunda qo'zg'atish magnit oqimi o'zgarmas tok manbaiga ulangan rotor chulg'ami tomonidan hosil qilinadi. Qo'zg'atish chulg'ami uchun o'zgarmas tok manbai sifatida maxsus qo'zg'atish tizimi ishlatilib, unga bir necha muhim talablar qo'yiladi. Ulardan asosiylari quyidagilardan iborat:

1) sinxron generatorning har xil ish rejimlarida qo'zg'atish tokining ishonchli va turg'un rostdanishi;

2) yetarli darajadagi tezkorlik, buning uchun qo'zg'atishni jadallashtirish qo'llaniladi, ya'ni qo'zg'atish kuchlanishini $U_{qo'z.N}$ nominal qiymatidan mumkin bo'lgan maksimal $1,8 \div 2,0 U_{qo'z.N}$ qiymatigacha qisqa muddatda (uning o'sish jadalligi sekundiga $1,5-2 U_{qo'z.N}$ bo'lishi) tezlik bilan oshirishni (bu tadbir avariya vaqtida va unga barham berishda sinxron generatorning turg'un ishini ta'minlash uchun qo'llaniladi) ta'minlashi;

3) magnit maydonining tezda so'nishi, ya'ni mashina chulg'amlaridagi kuchlanishi keskin oshmagan holda qo'zg'atish chulg'ami tokining nolgacha kamayishi (magnit maydonini so'ndirish zarurligi generatorni tarmoqdan ajratish va unda bo'ladigan avariya holatlarda paydo bo'ladi).

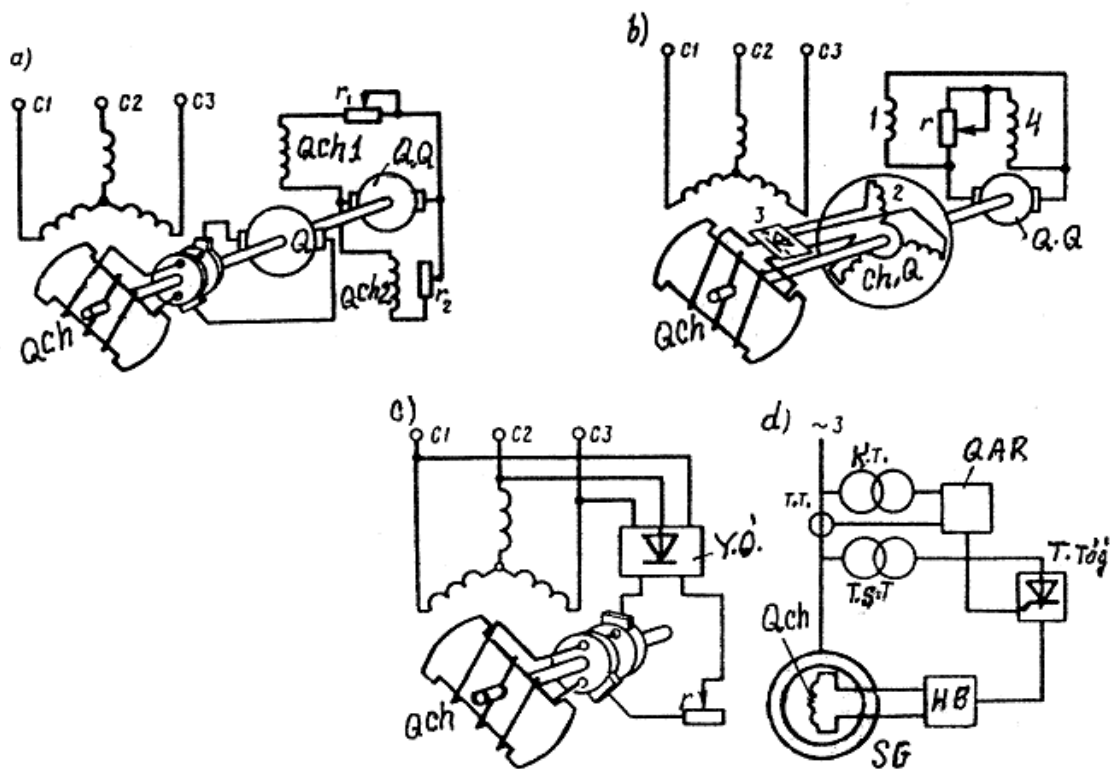
Sinxron mashinalarda bir necha qo'zg'atish tizimi qo'llaniladi. Sinxron mashinalarning ayrimlarida so'nggi vaqtlargacha elektr mashinali qo'zg'atish tizimi (18.4,a-rasm) ishlatilmoqda. Bunda qo'zg'atish manbasi sifatida «qo'zg'atgich» deb ataluvchi maxsus mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatoridan foydalanildi. Qo'zg'atgichning yakori sinxron generatori validan aylanma harakatga keltirilib, uning yakor chulg'ami kontakt halqalari orqali sinxron generatorning qo'zg'atish chulg'ami bilan ulangan. Bunday tizimda sinxron mashinaning qo'zg'atish toki «qo'zg'atgich»ning qo'zg'atish zanjiridagi reostat yordamida rostlanadi (o'zgartiriladi). Qo'zg'atgichning qo'zg'atilishi o'z-o'zini qo'zg'atish sxemasi (18.4,c-rasm) yoki mustaqil qo'zg'atish tizimli alohida o'zgarmas tok generatori («qo'zg'atgichni qo'zg'atgich – QQ»)dan amalga oshiriladi.

O'rta va katta quvvatli sinxron generatorlarda qo'zg'atish tokini rostlash jarayoni avtomatlashtirilgan bo'ladi (18.4,d-rasm). Katta quvvatli turbogeneratorlarda – ayrim holda qo'zg'atgich sifatida yuqori chastotali induktor turidagi o'zgaruvchan tok generatorlari qo'llaniladi (18.4,b-rasm). Bunday generatorning chiqishida yarim o'tkazgichli to'g'rilagich ulangan bo'ladi. Hozirgi vaqtda amalda ventilli qo'zg'atish tizimlari keng qo'llanilmoqda, chunki bu holda elektromagnit inersiyasi katta bo'lgan elektr mashinali qo'zg'atish

tizimiga nisbatan qo'zg'atish tokini rostdlash tezkorligi va, demak, ishonchlilik ancha oshadi.

Ventilli qo'zg'atish tizimini uchta turga bo'ladilar: o'z-o'zini qo'zg'atishli, mustaqil qo'zg'atishli va cho'tkasiz qo'zg'atish tizimlar. Ventilli o'z-o'zini qo'zg'atish tizimda (18.4,s-rasm) qo'zg'atish chulg'ami, sinxron generator (masalan, gidrogenerator) yakor chulg'ami chiqishiga ulangan boshqariladigan statik to'g'rilagichdan o'zgaras tok bilan ta'minlanadi. Bunga oid avtomatik tizimning strukturali sxemasi 18.4,d-rasmda ko'rsatilgan. Sinxron generatorning boshlang'ich qo'zg'atilishi, uning qutblaridagi qoldiq magnitlanish tufayli yuzaga keladi.

Ventilli mustaqil qo'zg'atish tizimda, rotori bosh generator vali bilan ulangan, alohida uch fazali sinxron generator (qo'zg'atgich) yakoridan olingan o'zgaruvchan tok, statik to'g'rilagichda o'zgaras tokka aylantirilib kontakt halqalar orqali qo'zg'atish chulg'amiga beriladi.



18.4-rasm. Sinxron generatorning elektromagnit qo'zg'atishning: a – kontaktli tizimi (bunda: QCh – SG ning qo'zg'atish chulg'ami, Q – qo'zg'atgich, Q.Q – qo'zg'atgichning qo'zg'atgichi, QCh1 va r_1 – qo'zg'atgichning qo'zg'atish chulg'ami va rostdlash reostati, QCh2 va r_2 – Q.Q ning qo'zg'atish chulg'ami va rostdlash reostati) va b – kontaksiz (bunda: Ch.Q – cho'tkasiz

qo'zg'atgich va uning: 1 – qo'zg'atish va 2 – yakor chulg'amlari, 3 – yarim o'tkazgichli to'g'rilagich); c – o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipiga oid chizma (bunda: YO' – yarim o'tkazgich; r – roslash reostati); d – o'z-o'zini qo'zg'atish avtomatik tizimining strukturali sxemasi (bunda: KT – kuchlanish transformatori, T.T – tok transformatori, T.S.T – to'g'rilagich sxemaning transformatori, QAR – qo'zg'atishni avtomatik roslash qurilmasi, T.To'g' – tiristorli to'g'rilagich, HB – himoya bloki, SG – sinxron generator)

Cho'tkasiz qo'zg'atish tizimi (18.4,b-rasm) ventilli mustaqil qo'zg'atish

tizimning bir turidir. Faqat bu holda qo'zg'atgich vazifasini konstruksiyasi almashtirilgan, ya'ni o'zgaras tok mashinaning konstruksiyasi singari, rotorda – yakor, statorda esa induktor joylashtirilgan sinxron generator bajaradi. Qo'zg'atgichning yakor chulg'ami asosiy generatorning qo'zg'atish chulg'ami bilan generator valida joylashtirilgan aylanuvchi to'g'rilagich orqali ulanadi. Bu holda sirpanish kontaktidan foydalanishga zarurat qolmaydi va qo'zg'atish tizimining ishonchliligi hamda mashinaning FIK oshadi. Zamonaviy sinxron motorlarni qo'zg'atish uchun o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanadigan va motorning har turli rejimlarida qo'zg'atish tokini avtomatik boshqarishni amalga oshiradigan tiristorli qo'zg'atgich qurilmalari qo'llaniladi. Bunday qo'zg'atish usuli eng ishonchli va tejamlidir, chunki tiristorli qo'zg'atgich qurilmalarining FIK o'zgaras tok generatorlarnikidan yuqoridir.

Sinxron motorlarning zamonaviy seriyalarida TE-320/48 (qo'zg'atish kuchlanishi $U_{qo'z} = 48 \text{ V}$) va TE8-320/75 (qo'zg'atish kuchlanishi $U_{qo'z} = 75 \text{ V}$) turidagi tiristorli qo'zg'atgich qurilmalari keng qo'llaniladi. Qo'zg'atishga sarflanadigan quvvat, odatda, mashina foydali quvvatining $0,2 \div 5\%$ ni tashkil qiladi (kam qiymatlar katta quvvatli mashinalarga oid). Quvvati bir necha kW gacha bo'lgan sinxron mashinalarda qo'zg'atishni doimiy magnit yordamida amalga oshiriladi (bu holda qo'zg'atish chulg'ami bo'lmaydi).

Nazorat savollari

1. Sinxron mashinalar konstruksiyasining o'ziga xos xususiyatlari nimadan iborat?
2. Sinxron mashinada dempfer chulg'ami qayerda joylashtiriladi va uning vazifasi nimadan iborat?
3. Sinxron mashinalar qo'zg'atish tizimining qanday turlari mavjud?
4. Cho'tkasiz qo'zg'atish tizimining afzalligi nimadan ibora

19-BOB. Sinxron generatorning simmetrik yuklama bilan ishlashi va yakor reaksiyasi

19.1§. Sinxron generatorning simmetrik yuklama bilan ishlashidagi elektromagnit jarayonlar

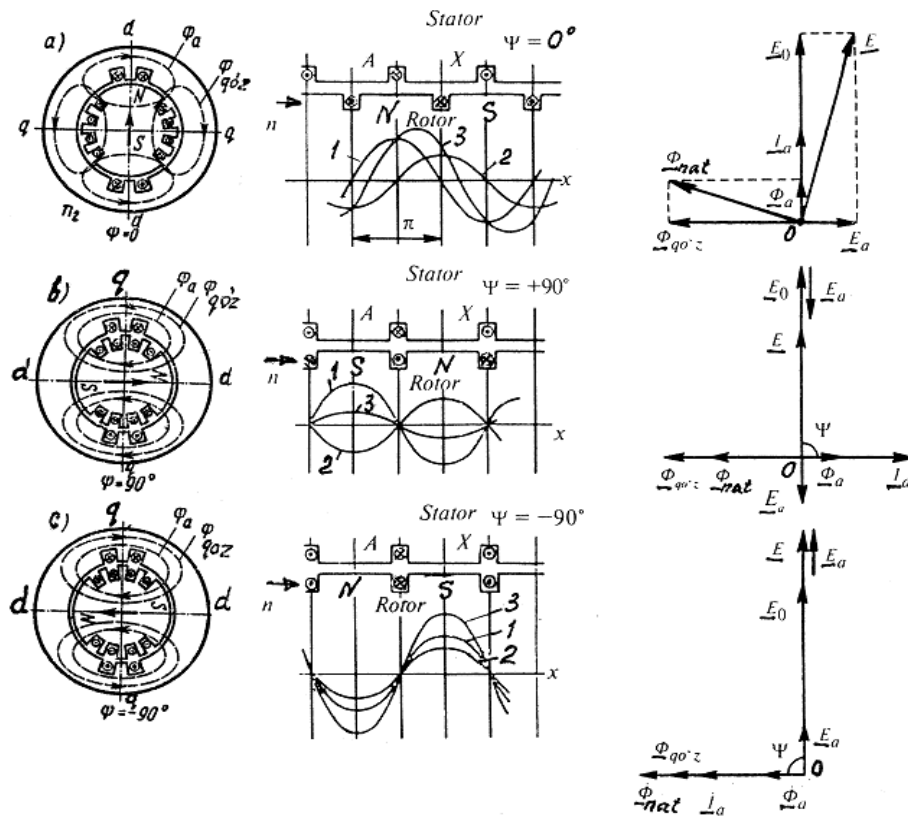
SG statorining har bir faza chulgʻamlariga qiymatlari simmetrik yuklama ulansa, chulgʻamlardan bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan uch fazali toklar oʻtadi. Bu toklar statorida $n_1 = n$ aylanish chastota bilan aylanadigan magnit maydonni hosil qiladi. Yuklama toki yakor magnit oqimi Φ_a ni hosil qiladi. Φ_a va qoʻzgʻatish chulgʻaming magnit oqimi Φ_0 bir-biriga nisbatan qoʻzgʻalmas boʻlib, bu oqimlar birgalikda mashinaning natijaviy magnit oqimini hosil qiladi. Umuman, yuklama bilan ishlayotgan generatorda natijaviy magnit oqimi Φ_{nat} qoʻzgʻatish chulgʻaming MYuK F_0 va yakorning MYuK F_a lari taʼsiri natijasida hosil boʻladi. MYuK F_0 yuklamaga bogʻliq boʻlmaydi, F_a esa yuklamaning qiymatiga va xarakteriga bogʻliq boʻladi. Yuklamaning xarakteri deganda yakor MYuK ning asosiy magnit oqimga qanday burchak ostida ($\Psi = 0^\circ$; $0^\circ < \Psi \leq +90^\circ$; $0^\circ > \Psi \geq -90^\circ$) taʼsir qilishini tushunish lozim. Shuning uchun ham generatorning natijaviy oqimi Φ_{nat} salt ishlash rejimidagi oqim Φ_0 dan farq qiladi. Yakor MYuK F_a ning asosiy magnit oqimi $\Phi_0 = \Phi_{qo'z}$ ga taʼsiri yakor reaksiyasi deyiladi. Sinxron mashinalarda yakor reaksiyasi yuklama qiymatiga va xarakteriga bogʻliq boʻladi. Quyida ayon boʻlmagan va ayon qutbli sinxron mashina (SM) lar uchun yakor reaksiyasini koʻrib chiqamiz.

Ayon boʻlmagan qutbli sinxron generator magnit tizimining toʻyinishi hisobga olinmagan hol uchun yakor reaksiyasi. Bunday SM da stator va rotor orasidagi havo oraligʻida stator aylanasi boʻyicha bir xil boʻladi. Shunday boʻlgani uchun mashinaning magnit zanjiri toʻyinmagan boʻlsa, natijaviy magnit oqim F_{nat}

ni aniqlash ancha osonlashadi, ya'ni u Φ_0 va Φ_a magnit oqimlarining geometrik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\Phi_{nat} = \Phi_0 + \Phi_a. \quad (19.1)$$

Yakor reaksiyasining SM ish xossalariga ta'sirini EYuK E_0 va yakor toki I_a orasidagi siljish burchagining har xil qiymatlarida ko'rib chiqamiz. Burchakning qiymati yuklama qarshiliklari xarakteriga (aktiv, induktiv, sig'imiyligi yoki aralash bo'lishiga) bog'liq bo'ladi. Agar yuklama faqat aktiv qarshilikdan iborat bo'lsa ($\psi = 0$), AX fazadagi tok o'zining maksimum qiymatiga, rotorning N va S qutblarining o'qi ko'rilayotgan chulg'amning o'rta paziga to'g'ri kelganda erishadi (19.1,a-rasm).



19.1-rasm. Ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashinada turli (a – aktiv, b – induktiv va c – sig'imiyligi) xarakterli ($\Phi_{qo'z}$ – qo'zg'atish oqimi va Φ_a – yakor reaksiyasi oqimi, (1 – quzg'atish chulg'ami induksiyasi $B_{qo'z}$, 2 – yakorchulg'ami induksiyasi B_a va 3 – natijaviy induksiya B_{nat}) ning taqsimlanish egri chiziqlari hamda magnit oqimlar va EYUK larning vector diagrammalari; Φ_{nat} – natijaviy

Bunda Φ_a oqim AX fazaning o'qi bilan mos tushadi yoki Φ_0 oqimga nisbatan 90 el. gradusga orqada bo'ladi. Elektr gradus ikki qutbli mashinalarda geometrik gradusga teng, $p > 2$ bo'lganda esa 1 geom. grad = p -el. grad. bo'ladi.

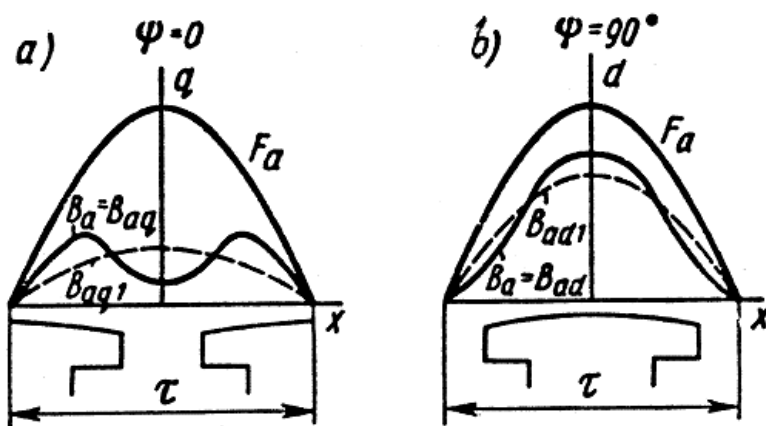
SM lar nazariyasida N va S qutblar o'rtasidan o'tadigan o'q bo'ylama o'q deyiladi va d-d bilan belgilanadi, qo'shni qutblar orasidan o'tadigan o'q esa ko'ndalang o'q deyiladi va q-q bilan belgilandi. Shunday qilib, SG ning yuklamasi faqat aktiv xarakterli ($\psi = 0$) bo'lsa, yakorning magnit oqimi mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha ta'sir qiladi. Bunda har bir qutb o'qining bir tomoni magnitlansa, ikkinchi tomoni esa magnitsizlanadi. Natijaviy magnit oqim vektorining moduli $\Phi_{nat} = \sqrt{\Phi_0^2 + \Phi_a^2}$ bilan aniqlanadi. Agar yuklama faqat induktiv xarakterli ($\psi = 90^\circ$) bo'lsa (19.1,b-rasm), AX fazadagi tok o'zining maksimum qiymatiga EYuK E_0 ning qiymatiga nisbatan chorak davr (90°) keyinroq erishadi.

Yakor magnit oqimi Φ_a mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha Φ_0 oqimga teskari yo'nalib, bunda $\Phi_{nat} = \Phi_0 + (-\Phi_a)$ bo'ladi va uning qiymati kamayadi. Bu esa yakor EYuK E_a ning kamayishiga olib keladi. Shunday qilib, yuklama faqat induktiv xarakterda bo'lsa, yakor reaksiyasi mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha magnitsizlovchi ta'sir ko'rsatar ekan. Agar yuklama faqat sig'im xarakteriga ($\psi = -90^\circ$) ega bo'lsa (19.1,c-rasm), yakorning magnit oqimi Φ_a qo'zg'atish chulg'ami oqimi Φ_0 ning yo'nalishi bilan bir xil bo'lib mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha magnitlovchi ta'sir qiladi. Bu esa, natijaviy magnit oqim $\Phi_{nat} = \Phi_0 + \Phi_a$ ni va EYuK E_a ni oshiradi.

Amalda SG ning yuklamasi aralash xarakterli bo'ladi. Bunda EYuK E_0 va yakor toki I_a orasidagi siljish burchagining qiymati $-90^\circ < \Psi < 90^\circ$ oralig'ida bo'ladi. Bunda aktiv-induktiv yuklama (orqada qoluvchi tok)da yakor reaksiyasi mashinaga magnitsizlovchi, aktiv-sig'imiyluk yuklama (oldinda keluvchi tok)da esa yakor reaksiyasi mashinaga magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi. Aralash xarakterdagi

yullamada tokning aktiv tashkil etuvchisi esa mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha magnitsizlaydi.

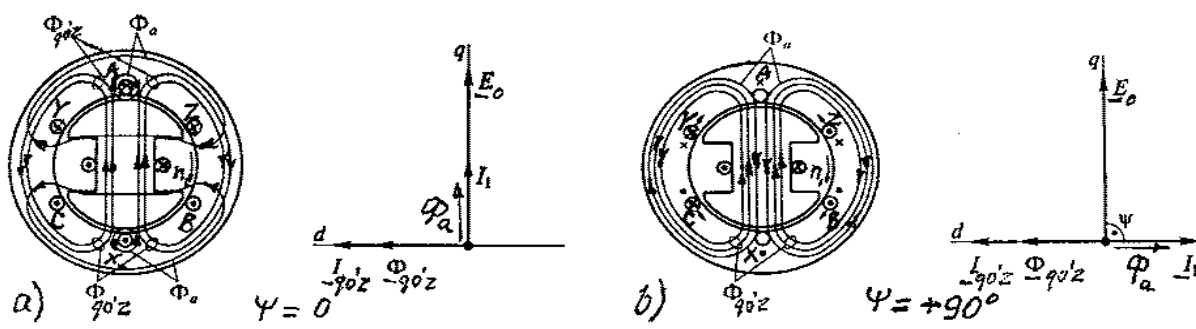
19.2-rasm. Ayon qutbli sinxron mashinaning ko'ndalang (a) va bo'ylama (b) o'qlar bo'yicha takor MYUK larining hamda ular hosil qilgan magnet induksiyalarining taqsimlanish egri chiziqlari



Ayon qutbli sinxron generator magnet tizimining to'yinishi hisobga olinmagan hol uchun yakor reaksiyasining o'ziga xos xususiyatlari. Ikki reaksiya usuli. Ayon qutbli mashinada stator va rotor orasidagi havo oralig'i har xil bo'ladi, bu oraliq qutb uchliklari chetida uning o'rtasiga nisbatan katta bo'ladi va qo'shni qutblar oralig'ida kattalashib ketadi.

Shuning uchun yakor magnet oqimi Φ_a faqat yakor MYUK F_a ning qiymatiga emas, balki rotor qutblariga nisbatan MYUK F_a ning tarqalish egri chizig'i $F_a = f(x)$ ning holatiga ham bog'liq bo'ladi. Masalan, agar $\Psi = 0$ bo'lsa, MYUK F_a sinusoidal tarqalgan bo'lsa ham, yakor magnet induksiyasining tarqalish egri chizig'i egarsimon shaklda bo'ladi (19.2,a-rasm).

Agar $\Psi = 90^\circ$ bo'lsa, yakorning magnet oqimi Φ_a mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yo'naladi (19.2,b-rasm) va magnet induksiyasining egri chizig'i d-d o'qqa nisbatan simmetrik bo'ladi. Bu o'q bo'yicha havo oralig'ining magnet qarshiligi nisbatan kichik bo'lgani uchun, magnet induksiyasining qiymati $\Psi = 0$ dagi induksiya nisbatan katta bo'ladi. Shu sababli induksiyalarning birinchi garmonikalari B_{ad1} va B_{aq1} ham turlicha maksimal qiymatlarga ega bo'ladi (19.2-rasm).



19.3-rasmda ayon qutbli sinxron generatorning qo'zg'atish chulg'ami va

yuklamaning xarakteri: a – aktiv ($\psi = 0^\circ$), b – induktiv ($\psi = +90^\circ$) va c – sig'imiylar ($\psi = -90^\circ$) bo'lgandagi yakor chulg'ami magnit oqimlarining o'zaro yo'nalishlari va ularga tegishli vektor diagrammalari ko'rsatilgan.

Yuklamaning xarakteri aktiv bo'lganda (19.3,a-rasm) A fazada tok va EYuKlar bir vaqtning o'zida maksimumga erishadi. Bu holda yakor tokining magnit maydoni ko'ndalang o'q bo'yicha yo'nalib yakorning qutb tagiga kirib kelayotgan qismini kuchsizlantiradi, qutb tagidan chiqib ketayotgan qismini esa kuchaytiradi. Mashinaning magnit zanjiri to'yingan bo'lganligidan natijaviy magnit oqim nisbatan kamayadi. Burchak $\psi = 0^\circ$ bo'lganda stator chulg'amidan o'tadigan toklar hosil qilgan elektromagnit kuchlar rotorning aylanish yo'nalishi bilan mos tushadi. Bunda rotorga miqdor jihatdan teng va qarama-qarshi yo'nalgan (tormozlovchi elektromagnit momentini hosil qiluvchi) kuchlar ta'sir qiladi. Bu momentni muvozanatlash uchun generator valini aylantiruvchi birlamchi motorning mexanik momenti oshirilishi zarur.

Induktiv xarakterli yuklamada yakor tokining vektori I_1 EYuK vektori E_0 dan $\psi = \pi/2$ burchakka orqada qoladi. Rotorning 19.3,a-rasmda ko'rsatilgan holatidagi paytga mos keluvchi EYuK larning yo'nalishi o'tkazgichlar yonida «x» va nuqta «•» belgilari orqali belgilangan. Qutblar o'qida joylashgan A faza o'tkazgichlarida induksiyalangan EYuK ning qiymati maksimal qiymatga erishadi (qo'zg'atish induksiyasi maksimal bo'lganda).

Yakorning magnit maydoni (oqimi) Φ_a yakor toki I_a yo'nalishi bilan mos tushib qo'zg'atish maydon $\Phi_{qo'z}$ ga qarshi yo'nalib uni kuchsizlantiradi. Demak,

$\psi = +90^\circ$ da yakor reaksiyasi magnitsizlovchi ta'sir ko'rsatib, natijaviy magnit oqim va uning yaqor chulg'amida hosil qilgan EYuK salt ishlash rejimidagiga nisbatan kam bo'ladi.

19.3,b-rasm bo'yicha chap qo'l qoidasidan foydalanib yakor chulg'ami o'tkazgichlariga ta'sir etadigan kuch F aniqlansa, yakor chulg'amiga ta'sir etuvchi kuchlar yig'indisi nolga teng bo'lishi kelib chiqadi. Demak, sinxron generator yuklamasi induktiv xarakterli bo'lganda uning elektromagnit momenti nolga teng bo'lar ekan.

Sinxron generator yuklamasi sig'imiyligi ($\psi = -90^\circ$) xarakterli bo'lganda ham (19.3,c-rasm) uning elektromagnit momenti nol bo'ladi, chunki yuklamaning xarakteri sof induktiv yoki sof sig'imiyligi bo'lgan hollarda yakor toki faqat reaktiv tashkil etuvchidan iborat bo'ladi.

Ayon qutbli SM larda havo oralig'ining natijaviy qarshiligi o'zgarib turishi sababli, mashinaning ish xossalarini tahlil qilishda ikki reaksiya usuli qo'llaniladi. Bu usulga asosan yakorning MYuK F_a ikkita tashkil etuvchidan iborat bo'ladi (19.4-rasm), ya'ni: bo'ylama ta'sir etuvchisi

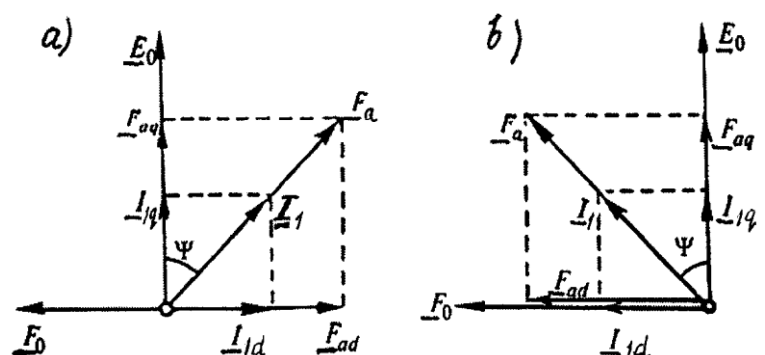
$$F_{ad} = F_a \sin \psi \quad (19.2)$$

va ko'ndalang ta'sir etuvchisi

$$F_{aq} = F_a \cos \psi \quad (19.3)$$

Bunda yakorning MYuK $\underline{F}_a = \underline{F}_{ad} + \underline{F}_{aq}$ bo'ladi. Yakorning bo'ylama tashkil etuvchi MYuK $\underline{F}_{ad}$ yakorning bo'ylama magnit oqimi Φ_{ad} ni, yakor MYuK ning ko'ndalang tashkil etuvchisi $\underline{F}_{aq}$ esa yakorning ko'ndalang magnit oqimi Φ_{aq} ni hosil qiladi.

19.4-rasm. Ayon qutbli sinxron mashinaning aktiv-induktiv (a) va aktiv-sig'imiyligi (b) xarakterli yuklamada yakor toki va MYUKning bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari



Φ_{ad} va Φ_{aq} oqimlar o'zlaridan 90° orqada qoladigan yo'nalishda (o'qda) yakor chulg'amining bo'ylama E_{ad} va ko'ndalang E_{aq} EYuK larini hosil qiladi.

Agar generatorning yuklamasi aktiv-induktiv xarakterli bo'lsa, $\underline{E}_a$ vektor E_0 dan $0 < \Psi < 90^\circ$ burchakka keyinda bo'ladi (19.4,a-rasm), aktiv-sig'imiyl xarakterli bo'lganda esa, $\underline{E}_a$ vektor EYuK vektori E_0 dan $0 < \Psi < 90^\circ$ burchakka oldindan keladi (19.4,b-rasm).

Shunday qilib, ayon qutbli SG da yuklama xarakteri aktiv-induktiv bo'lsa – yakor reaksiyasi magnitsizlovchi ta'sir ko'rsatib, aktiv-sig'imiyl bo'lganda esa – magnitlovchi ta'sir ko'rsatar ekan. Ayon qutbli mashinalarda qo'shni magnit qutblari oralig'ining magnit qarshiligi qutb uchliklari bilan stator orasidagi oraliqning magnit qarshiligidan katta bo'ladi. Shuning uchun ayon qutbli sinxron generatorlarda yakor magnit oqimining ko'ndalang tashkil etuvchi qismi ayon bo'lmagan qutbli mashinanikiga nisbatan ancha kichik bo'ladi. Shu sababli, MYuK ning kamayishini hisobga oladigan maxsus koeffitsient kiritiladi:

$$F_{aq} = \kappa_q F_{aq} = \kappa_q F_a \cos \psi, \quad (19.4)$$

bu yerda: κ_q – yakor ko'ndalang reaksiyasining ta'sirini hisobga oluvchi koeffitsient. Odatda, bu koeffitsient $\kappa_q = 0,30 \div 0,65$ ga teng bo'ladi.

Shuningdek, ayon qutbli sinxron mashina MYuK ning bo'ylama yo'nalgan qismini topish tenglamasiga κ_d koeffitsienti kiritiladi:

$$F_{ad} = \kappa_d \cdot F_{ad} = \kappa_d F_a \sin \psi, \quad (19.5)$$

bu yerda κ_d – yakor bo'ylama reaksiyasining ta'sirini hisobga oluvchi koeffitsient. Odatda, $\kappa_d = 0,80 \div 0,95$ ga teng.

19.2§. Sinxron generator EYuK larining muvozanat tenglamalari va vektor diagrammalari

SG salt ishlaganda uning tashqi klemmalaridagi kuchlanish stator chulg'amida hosil bo'lgan EYuK ga teng bo'ladi. Agarda SG ga yuklama ulangan

bo'lsa, yakor reaksiya tarqoq magnit oqimi ta'siridan va statordagi kuchlanish pasayishi natijasida klemmalardagi kuchlanish EYuK dan kichik bo'ladi. Quyida ayon bo'lmagan va ayon qutbli SG larda hosil bo'ladigan EYuK larni ko'rib o'tamiz.

Ayon bo'lmagan qutbli SG yakor chulg'amida hosil bo'ladigan EYuK lar tarkibiga quyidagilar kiradi:

1) asosiy magnit oqim Φ_0 hosil qilgan EYuK E_0 .

2) yakor chulg'amining MYuK F_a yakorning magnit oqimi Φ_a ni vujudga keltiradi. Bu oqim, o'z navbatida, yakor chulg'amida o'zinduksiya EYuK E_a ni hosil qiladi:

$$E_a = -jI_1 \cdot x_a, \quad (19.6)$$

bu yerda x_a – yakor chulg'amining induktiv qarshiligi;

3) tarqoq magnit oqimi $\Phi_{\sigma 1}$ hosil qilgan EYuK $E_{\sigma 1}$:

$$E_{1\sigma} = -jI_1 \cdot x_{1\sigma}, \quad (19.7)$$

bunda $x_{1\sigma}$ – yakor chulg'amining tarqoq induktiv qarshiligi;

4) Φ_a va $\Phi_{\sigma 1}$ magnit oqimlari yakor toki tomonidan hosil qilingani tufayli x_a va $x_{\sigma 1}$ induktiv qarshiliklarni qo'shish mumkin: $x_a + x_{\sigma 1} = x_s$ (bu yerda: x_s – ayon bo'lmagan qutbli SM ning sinxron induktiv qarshiligi yoki to'la induktiv qarshilik deyiladi). U holda

$$\underline{E}_s = -j\underline{I}_1 x_a + (-j\underline{I}_1 x_{\sigma 1}) = -j\underline{I}_1 x_s. \quad (19.8)$$

5) Stator chulg'ami aktiv qarshiligida kuchlanish pasayishi:

$$\underline{U}_{r1} = \underline{I}_1 \cdot r_1. \quad (19.9)$$

Ayon bo'lmagan qutbli SG ning kuchlanishi yuqoridagi EYuK larning vektor yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_0 + \underline{E}_s - \underline{U}_{r1}$$

yoki

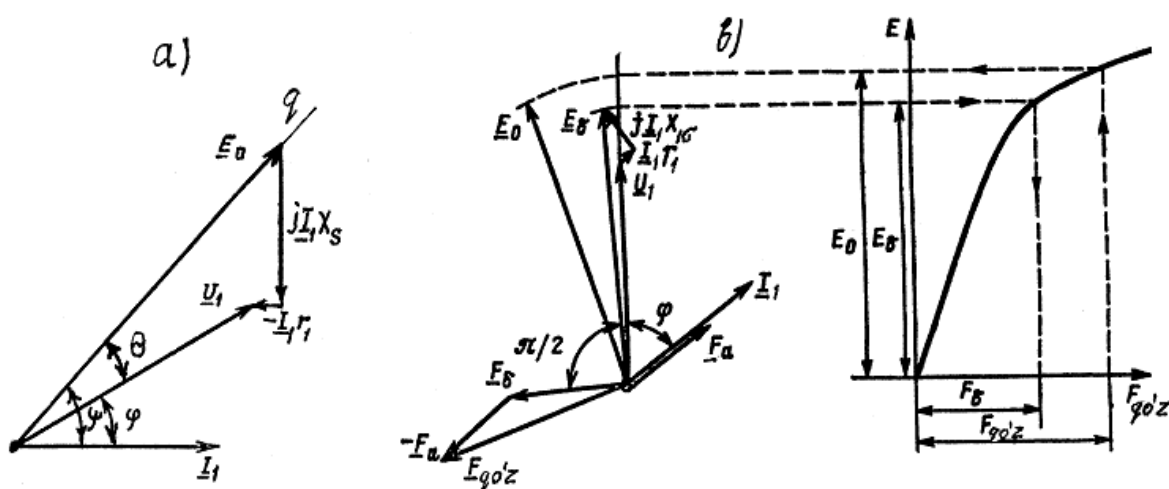
$$\underline{U}_1 = \underline{E}_0 - j\underline{I}_1 x_s - \underline{I}_1 r_1. \quad (19.10)$$

SM larning turli xil ish rejimlarini tahlil qilishda vektor diagrammalaridan keng foydalaniladi. Vektor diagrammani ikkita yo‘l bilan qurish mumkin. SG ning magnit to‘yinishi hisobga olinmagan hol uchun vektor diagrammani qurishda quyidagi kattaliklar, ya’ni:

- 1) salt ishlashdagi EYuK E_0 ning qiymati;
- 2) yuklama toki I_1 ning qiymati va bu vektor bilan EYuK E_a lar orasidagi siljish burchagi — ψ ;
- 3) stator fazaviy chulg‘aming sinxron reaktiv x_s va aktiv r_1 qarshiliklari ma’lum bo‘lganda kuchlanish U_1 ni aniqlash.

SG ning magnit to‘yinishi hisobga olingan hol uchun vektor diagrammani qurishda esa yuqoridagilarga qo‘shimcha holda stator chulg‘aming o‘ramlar soni w_1 va mashinaning salt ishlash xarakteristikasi ham ma’lum bo‘lishi kerak.

Ayon bo‘lmagan qutbli sinxron generatorning vektor diagrammalari. (19.10) tenglamadan foydalanib ayon bo‘lmagan qutbli SG ning vektor diagrammasini qurishda SG ning salt ishlashidagi qo‘zg‘atish chulg‘aming magnit oqimi mashinaning ko‘ndalang o‘qi q da hosil qilgan EYuK vektori E_0 ni ixtiyoriy yo‘nalishda qo‘yishdan boshlanadi. Stator toki I_a vektori esa yuklamaning xarakteriga qarab EYuK E_0 dan orqada (aktiv-induktiv yuklamada 19.4,a-rasm) yoki oldinda (aktiv-sig‘imiy yuklamada 19.4,b-rasm) chiziladi.



19.5-rasm. Ayon bo'lmagan qutbli SG ning aktiv-induktiv xarakterli yuklamadagi vektor diagrammalari: a – magnit zanjirining to'yinishi hisobga olinmagan hol uchun; b – magnit zanjirining to'yinish darajasi hisobga olingan hol uchun; $E_{\delta d}$ – natijaviy magnit oqim F_{nat} ning mashina bo'yлама o'qi bo'yicha tashkil etuvchisi $F_{\delta d}$ hosil qilgan EYuK.

EYuK E_0 vektori oxiridan I_1 vektorga tik yo'nalishda E_s vektori chiziladi. Statorning aktiv qarshiligida kuchlanish pasayishi vektori U_{r1} tok vektori I_1 ga parallel, yo'nalishi esa unga teskari qilib chiziladi (chunki formulada uning ishorasi «minus»). U_{r1} vektorning uchini 0 nuqta bilan birlashtirib kuchlanish vektori U_1 hosil qilinadi.

EYuK E_0 vektori bilan kuchlanish U_1 vektori orasidagi burchak θ – yuklama burchagi deyiladi. SM generator sifatida ishlaganda kuchlanish U_1 doimo EYuK E_0 dan θ burchakka orqada bo'ladi. Bunda θ burchakning ishorasi musbat bo'ladi deb qabul qilingan va generatorning yuklamasi oshishi bilan, u ham oshadi. Magnit zanjirining to'yinishi hisobga olingan hol uchun ayon bo'lmagan qutbli SG ning vektor diagrammasini qurish tartibi. Bunda kuchlanish U_1 , stator chulg'amidan o'tuvchi yuklama toki I_1 va ular orasidagi burchak φ (buni quvvat koefitsienti $\cos\varphi$ orqali aniqlash mumkin); yakor (stator) chulg'aminging: o'ramlar soni w_1 , induktiv qarshiligi x_a , tarqoq induktiv qarshiligi $x_{1\sigma}$ (yoki $x_a + x_{1\sigma} = x_s$), aktiv qarshiligi r_1 lar hamda SG ning salt ishlash xarakteristikasi ma'lum bo'lganda qo'zg'atish MYuK $F_{qo'z}$ va u hosil qilgan EYuK E_0 aniqlanadi.

Ayon bo'lmagan qutbli SG ning aktiv-induktiv xarakterli yuklama uchun vektor diagrammasini qurish quyidagicha amalga oshiriladi. Vertikal yo'nalishda kuchlanish vektori U_1 qo'yiladi. Yuklama aktiv-induktiv bo'lgani uchun tok vektori I_1 kuchlanish vektori U_1 dan φ burchakka orqada qoladi. So'ngra U_1 vektori uchidan I_1 vektoriga parallel qilib stator chulg'ami aktiv qarshiligidagi $I_1 r_1$ vektori, tok I_1 vektoridan 90° oldin keluvchi $j I_1 x_{1\sigma}$ vektori qo'yiladi va uning uchini 0 nuqta bilan birlashtirib EYuK vektori E_{δ} hosil qilinadi. Yuklama ulangan mashina havo oralig'idagi magnit oqim Φ_{δ} ni qo'zg'atish chulg'ami MYuK $F_{qo'z}$ va yakor chulg'ami MYuK F_a larning geometrik yig'indi siga teng bo'lgan

natijaviy MYuK F_δ hosil qiladi. Φ_δ oqim yakor chulg'amida EYuK E_δ ni hosil qiladi. Natijaviy MYuK uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$\underline{E}_\delta = \underline{E}_{qo'z} + \underline{E}_a; \quad (19.11)$$

bu yerda $\underline{E}_a$ va $\underline{E}_{qo'z}$ – mazkur MYuK larning 1-garmonikalari:

$$\underline{E}_a = 1,35 (w k_{w1}/p) I_1; \quad \underline{E}_{qo'z} = (4/\pi) \cdot (\sin \alpha / \alpha) I_{qo'z} \cdot w_{qo'z}. \quad (19.12)$$

Mashinaning berilgan ish rejimi uchun $\underline{E}_\delta$ ning qiymati E_δ bo'yicha salt ishlash xarakteristikasi – $E = f(F_{qo'z})$ dan aniqlanadi (19.5-rasm):

$$E_\delta = U_1 + j I_1 x_{1\sigma} + I_1 r_1. \quad (19.13)$$

Magnit isroflar hisobga olinmaganda tok I_1 vujudga keltirgan MYuK F_a ham shu yo'nalishda chiziladi. MYuK $\underline{E}_\delta$ EYuK E_δ dan 90° oldin keladi. (19.11) dan $\underline{E}_{qo'z} = \underline{E}_\delta - \underline{E}_a$ bo'lgani uchun, u 19.5-rasmida ko'rsatilgandek grafik yo'l bilan aniqlanadi. So'ngra salt ishlash xarakteristikadan MYuK $\underline{E}_{qo'z}$ ga to'g'ri keladigan EYuK E_0 topiladi va vektor diagrammada MYuK $\underline{E}_{qo'z}$ dan 90° orqada qoladigan yo'nalishda chiziladi. Ayon qutbli sinxron mashinalarda $x_q < x_d$ bo'ladi. Ayon qutbli SG da hosil bo'ladigan EYuK lar tarkibiga quyidagilar kiradi:

1) qo'zg'atish chulg'ami MYuK F_0 asosiy magnit oqimi Φ_0 ni, bu oqim esa asosiy EYuK E_0 ni hosil qiladi;

2) yakor chulg'ami MYuK ning bo'ylama o'q bo'yicha tashkil etuvchisi $\underline{E}_{ad}$ yakor reaksiyasi magnit oqimining shu o'q bo'yicha tashkil etuvchisi Φ_{ad} ni hosil qiladi. Bu magnit oqim stator chulg'amida o'zidan 90° orqada qoladigan yakor reaksiyasi o'zinduksiya EYuK ning bo'ylama tashkil etuvchisi E_{ad} ni induksiylaydi:

$$\underline{E}_{ad} = -j \underline{I}_{1d} \cdot x_{ad} \quad (19.14)$$

bu yerda: $I_{1d} = I_a \sin \Psi$ – stator tokining bo'ylama o'q bo'yicha tashkil etuvchisi; x_{ad} – stator chulg'amining mashina bo'ylama o'qi bo'yicha induktiv

qarshiligi (bu qarshilik mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yakor reaksiyasiga ekvivalent bo'ladi);

3) yakor chulg'mi MYuK ning ko'ndalang o'q bo'yicha tashkil etuvchisi $\underline{E}_{aq}$ yakor reaksiyasi magnit oqimining shu o'q bo'yicha tashkil etuvchisi Φ_{aq} ni hosil qiladi. Bu magnit oqim stator chulg'amida o'zidan 90° orqada qoladigan yakor reaksiyasi o'zinduksiya EYuK ning ko'ndalang o'q bo'yicha tashkil etuvchisi $\underline{E}_{aq}$ ni hosil qiladi:

$$\underline{E}_{aq} = -j\underline{I}_{1q} \cdot x_{aq}, \quad (19.15)$$

bu yerda: $\underline{I}_{1q} = I_a \cos \Psi$ – stator tokining ko'ndalang o'q bo'yicha tashkil etuvchisi; x_{aq} – stator chulg'amining mashina ko'ndalang o'qi bo'yicha induktiv qarshiligi (bu qarshilik mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yakor reaksiyasiga ekvivalent bo'ladi);

4) stator po'lat o'zagi va qisman havo oralig'i orqali ilashgan tarqoq magnit oqimi $\Phi_{\sigma 1}$ stator chulg'amlarida tarqoq EYuK $\underline{E}_{\sigma 1}$ ni hosil qiladi:

$$\underline{E}_{\sigma 1} = -j\underline{I}_a \cdot x_{\sigma 1}, \quad (19.16)$$

bu yerda: $x_{\sigma 1}$ – stator chulg'amining tarqoq magnit oqimi hosil qilgan induktiv qarshilik;

5) stator chulg'amining aktiv qarshiligida kuchlanish pasayishi:

$$\underline{U}_{r1} = \underline{I}_a \cdot r_1, \quad (19.17)$$

bu yerda: r_1 – stator chulg'ami aktiv qarshiligi; $\underline{I}_a$ – stator chulg'amining toki; Shunday qilib, stator chulg'amidagi kuchlanish yuqoridagi EYuK larning geometrik yig'indisi bilan ifodalanadi:

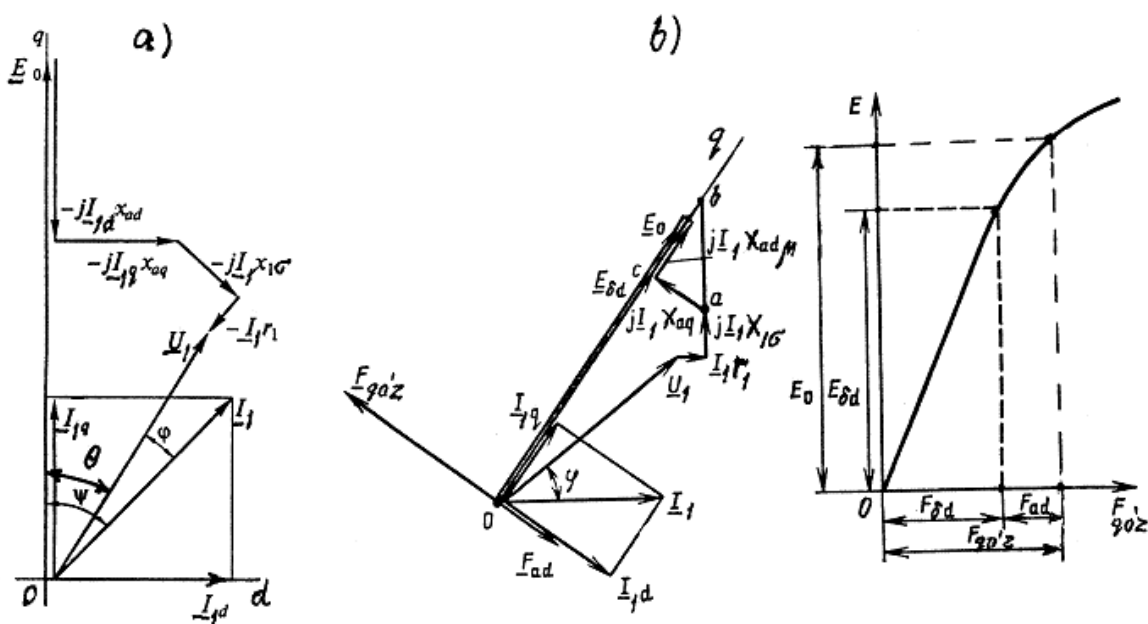
$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{E}_0 + \underline{E}_{ad} + \underline{E}_{aq} + \underline{E}_{\sigma 1} - \underline{U}_{r1} \quad \text{yoki} \\ \underline{U}_1 &= \underline{E}_0 - j\underline{I}_d x_{ad} - j\underline{I}_q x_{aq} - \underline{I}_1 x_{\sigma 1} - \underline{I}_1 r_1. \end{aligned} \quad (19.18)$$

Ayon qutbli SG ning vektor diagrammalari. Ayon qutbli SG ning vektor diagrammasi (19.18) tenglamaga asosida quriladi. Diagrammani qurish uchun yuqoridagi ayon bo'lmagan qutbli SG da keltirilgan ma'lumotlardan tashqari, yakor reaksiyasining sinxron induktiv qarshiligi o'rniga mashinaning bo'ylama va

ko'ndalang o'qlari bo'yicha tegishli x_{ad} va x_{aq} induktiv qarshiliklari ma'lum bo'lishi kerak.

SG ning fazaviy toklari bir xil bo'lganda, vektor diagramma faqat bir faza uchun quriladi. Diagrammani qurishni qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan magnit oqimi Φ_0 ni biror yo'nalish bo'yicha (masalan, abstsissalar o'qi bo'yicha) yo'naltirishdan boshlaymiz. Stator chulg'amida hosil bo'lgan EYuK E_0 vektori magnit oqimi Φ dan 90° orqada chiziladi. Stator tokining I_1 vektori yuklama xarakteriga qarab E_0 vektoridan ψ burchakka oldinda yoki orqada bo'lgan yo'nalishda chiziladi. Agar yuklama aktiv-induktiv (aralash) xarakterli bo'lsa, stator toki I_1 vektori EYuK E_0 vektoridan ψ burchakka orqada (19.6,a-rasm), aktiv-sig'imiyl xarakterlida esa, I_1 tok EYuK E_0 vektoridan ψ burchakka oldinda keladigan qilib chiziladi.

Yuklama toki I_1 bo'ylama $I_d = I_1 \sin \psi$ va ko'ndalang $I_q = I_1 \cos \psi$ tashkil etuvchilarga ajratiladi, bunda I_q EYuK vektori E_0 bilan bir fazada, tokning bo'ylama tashkil etuvchisi I_d esa EYuK E_0 vektoridan aktiv-induktiv yuklamada 90° orqada, aktiv-sig'imiyl yuklamada esa 90° oldinda chiziladi.



19.6-rasm. Ayon qutbli SG ning aktiv-induktiv xarakterli yuklama uchun vektor diagrammalari: a – magnit zanjirining to'yinishi hisobga olinmagan hol uchun; b – magnit

zanjirining to'yinishi hisobga olingan hol uchun; $E_{\delta d}$ – natijaviy magnit oqim Φ_{nat} ning bo'ylama o'q bo'yicha tashkil etuvchisi $\Phi_{\delta d}$ hosil qilgan EYuK

Aktiv-induktiv yuklamada E_{ad} vektori E_0 vektorga teskari yo'nalishda, E_{aq} esa E_0 vektoridan 90° orqada bo'lgan yo'nalishda chiziladi. Tarqoq oqim tufayli hosil bo'lgan EYuK vektori $E_{\sigma 1}$ tok vektori I_1 dan 90° orqada chiziladi. Stator chulg'ami aktiv qarshiligidagi kuchlanish pasayishi tok vektori I_1 ga nisbatan teskari chiziladi (chunki uning ishorasi minus). 0 nuqtani $I_1 r_1$ vektor uchi bilan tutashtirib, stator chulg'ami kuchlanish U_1 ni topamiz.

Agar generator yuklamasi aktiv-sig'imiyl xarakterli bo'lsa (19.4,b-rasm), I_1 vektori EYuK E_0 dan ψ burchakka oldinda keladi. Magnit oqimi Φ_{ad} ning yo'nalishi Φ_0 vektori yo'nalishi bo'yicha bo'ladi, ya'ni yakor reaksiyasi magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli aktiv-sig'imiyl xarakterli yuklama uchun vektor diagramma qurilganda $\underline{E}_{ad} = -j\underline{I}_d \cdot x_{ad}$ vektorining yo'nalishi 19.6,a-rasmdagi diagrammaga nisbatan 180° ga o'zgaradi, ya'ni E_0 vektori yo'nalishida qo'yiladi. Vektor diagrammaning qolgan qismini qurish yuqoridagi usulda amalga oshiriladi.

Shunday qilib, SG ning yuklamasi induktiv va aktiv-induktiv xarakterda bo'lsa, yakor reaksiyasi mashinaning magnit zanjirini magnitsizlaydi, yuklama sig'imiyl va aktiv-sig'imiyl xarakterda bo'lganda esa, yakor reaksiyasi mashinaning magnit zanjiriga magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi. Magnit zanjirining to'yinishi hisobga olingan hol uchun ayon qutbli SG ning vektor diagrammasini qurish quyidagi tartibda amalga oshiriladi. Buning uchun (19.18) tenglamaga asoslanamiz va unga x_{ad} va x_{aq} larning o'rniga ularning mashina magnit zanjirining to'yingan holatidagi $x_{ad\mu}$ va $x_{aq\mu}$ qiymatlari qo'yiladi. Lekin ayon qutbli mashinada magnit zanjirining aniq to'yinish darajasini hisobga olish murakkabdir, chunki magnit to'yinishli mashinada ko'ndalang va bo'ylama o'qlari bo'yicha magnit oqimlar (Φ_q va Φ_d) o'zaro bir-biriga ta'sir qiladi. Shuning uchun x_{ad} ning qiymati faqat mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha magnit oqimi Φ_d ga bog'liq bo'lib qolmasdan uning ko'ndalang o'qi bo'yicha magnit oqimi Φ_q ga ham bog'liq bo'ladi.

Ayon qutbli sinxron generator magnit zanjirining to'yinishini hisobga olingan hol uchun vektor diagrammasini amaliy qurish magnit to'yinishi hisobga olinmagan hol uchun qurilgan vektor diagrammaga (19.6,a-rasm) o'xshatib quriladi, lekin yakor reaksiyasi induktiv qarshiliklarining qiymatlari magnit to'yinishiga mos bo'lishi lozim (19.6-rasmda mashinaning magnit to'yinishi faqat bo'ylama o'qi bo'yicha hisobga olingan hol uchun qurilgan, chunki mashinaning bu o'qi bo'yicha magnit to'yinish darajasi katta bo'ladi).

Vektor diagrammani kuchlanish vektori U_1 ni ixtiyoriy yo'nalishda chizishdan boshlanadi; yuklamaning xarakteri aktiv-induktiv bo'lgani uchun tok vektori I_1 φ burchakka orqada qoladi. So'ngra kuchlanishga $I_1 r_1$ va $jI_1 x_{1\sigma}$ kuchlanish pasayishi vektorlari qo'shiladi. Tok I_1 ni bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha tashkil etuvchilari (I_d va I_q)ga ajratish uchun EYuK E_0 ning yo'nalishini, ya'ni mashina q o'qining tutgan o'rnini topish zarur bo'ladi. Buning uchun $jI_1 x_{1\sigma}$ vektori davomiga qiymati $I_1 x_{aq}$ (yoki $I_1 x_{aq\mu}$) ga teng bo'lgan $\overline{ab}$ kesmani qo'yib uni 0 bilan birlashtirilsa 0b liniyada EYuK E_0 vektori yo'nalgan bo'ladi. Bu liniya bilan tok I_1 orasidagi burchak ψ ga teng. 0b liniyaga a nuqtadan tushirilgan perpendikulyar $I_1 x_{aq}$ (yoki $I_1 x_{aq\mu}$) ga teng. $\overline{0c}$ kesma natijaviy EYuK ning bo'ylama o'q bo'yicha tashkil etuvchisi $E_{\delta d}$ ga teng. Bu EYuK kattaligini salt ishlash xarakteristikasiga qo'yib MYuK $F_{\delta d}$ (yoki tok $I_{\delta d}$) topiladi (19.6-rasm, b). Bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasi MYuK F_{ad} (yoki toki I_{ad}) ni yoki quyidagicha hisoblash yo'li bilan:

$$F_{ad} = k_d F_a \sin\psi; \quad (\text{yoki } I_{ad} = k_d F_a \sin\psi / w_{qo'z}), \quad (19.19)$$

yoki tajribada olingan salt ishlash va qisqa tutashuv xarakteristikalaridan aniqlash mumkin.

Qo'zg'atish chulg'ami MYuK $F_{qo'z}$ yoki unga mutanosib bo'lgan tok $I_{qo'z}$ ni, topilgan MYuK $F_{\delta d}$ (yoki tok $I_{\delta d}$) lar bo'yicha quyidagi tenglamalar bo'yicha hisoblash mumkin:

$$\overline{F}_{qo'z} = \overline{F}_{\delta d} \pm \overline{F}_{ad} \quad (\text{yoki } I_{qo'z} = I_{\delta d} \pm I_{ad}). \quad (19.20)$$

(19.20) da «+» ishora – bo‘ylama yakor reaksiyasi magnitlovchi bo‘lsa (burchak $\psi < 0$) olinib, «-» ishora esa bo‘ylama yakor reaksiyasi magnitsizlovchi ($\psi > 0$) bo‘lganda olinadi. Aktiv-induktiv xarakterli yuklamada $\psi > 0$ bo‘lgani uchun $\bar{F}_{\delta d}$ (yoki $\bar{I}_{\delta d}$) kesmaga $\bar{F}_{ad}$ (yoki $\bar{I}_{ad}$) ni qo‘shib $\bar{F}_{qo'z}$ (yoki $\bar{I}_{qo'z}$) olinadi. Bu qiymatga salt ishlash xarakteristikasida EYuK E_0 mos keladi. $E_0 - E_{ad}$ ayirma $I_{1x_{ad\mu}}$ ga teng.

Vektor diagrammadan kuchlanish o‘zgarishi ΔU ni aniqlash mumkin, [%] :

$$\Delta U\% = 100 \cdot (E_0 - U_{1N}) / U_{1N}.$$

Nazorat savollari

1. Yakor reaksiyasi nima?
2. Ayon va ayon bo‘lmagan qutbli SG lardagi yakor reaksiyasi to‘g‘risida ma’lumot bering.
3. Ayon qutbli SG kuchlanishi va EYuK larining muvozanat tenglamasini yozing.
4. Ayon qutbli SG ning vektor diagrammasi qanday quriladi?

20-Bob. Uch fazali sinxron generatorning avtonom rejimdagi xarakteristikalar

SG ning ish xossalari uning xarakteristikalarini bo'yicha baholanadi. Ish xossalari o'ld xarakteristikalarini tajriba, hisoblash yoki vektor diagrammalar yordamida qurish mumkin. SG ning barqaror rejimi uchun muhim laridan: salt ishlash, simmetrik qisqa tutashuv, induksion yuklanish, tashqi va rostlash xarakteristikalaridir.

20.1§. Salt ishlash, simmetrik qisqa tutashuv va induksion yuklanish xarakteristikalar

Salt ishlash xarakteristikasi (SIX). Bu xarakteristika stator toki $I_1 = 0$ va rotor aylanish chastotasi $n=n_N = \text{const}$ bo'lganda SG ning chiqish klemmalaridagi kuchlanishi yoki EYuK E_0 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liq holda o'zgarishini ko'rsatadi, ya'ni $E_0 = f(I_{qo'z})$.

SG larning SIX hamda boshqa xarakteristikalarini nisbiy birliklarda qurish o'ng'aydir. Buning uchun kuchlanishning absolyut qiymati $U_0 = E_0$ ni salt ishlashdagi nominal kuchlanish $U_0 = U_{1N}$ ga, qo'zg'atish tokining absolyut qiymatini esa salt ishlashda nominal kuchlanish U_{1N} ga to'g'ri kelgan qiymati $I_{qo'z.N}$ ga bo'lib aniqlangan nisbiy birliklardagi qiymatlari (U^*_1 va $I^*_{qo'z}$) asosida SIX, ya'ni $U^*_1 = f(I^*_{qo'z})$ quriladi (20.1-rasm, 1). $I^*_{qo'z} = 0$ bo'lganda qutbning magnit o'zagidagi kam miqdordagi qoldiq magnit oqim ($F_{qol} = 0,2 \div 0,3 \cdot F_{0N}$) tufayli $E_s = E_{qol}$ vujudga keladi. Qo'zg'atish chulg'amidagi tokning qiymati kichik bo'lganda asosiy magnit oqimi kam bo'lib, mashinaning magnit zanjiri to'yinmagan bo'ladi. Shu sababli SIX ning boshlang'ich (s_d) qismi to'g'ri chiziqli ko'rinishda bo'ladi. Qo'zg'atish toki ortib borgan sari magnit oqimi ortadi va mashinaning magnit zanjiri to'yina boradi. Bu holda SIX abstsissalar o'qiga og'gan ko'rinishda o'sib, magnit zanjiri to'la to'yinganda esa bu xarakteristika yana taxminan to'g'ri chiziqli

ko‘rinishga ega bo‘ladi. SG ning nominal rejimi SIX egilgan qismining taxminan o‘rtasiga to‘g‘ri keladi (20.1-rasm, 1 da «c» nuqta).

Bu xarakteristika yordamida SG ning magnit zanjiri to‘yinish daraja-sini aniqlash mumkin. Buning uchun SIX ning to‘g‘ri chiziq (magnit zanjir to‘yinmagan holdagi) qismi davom qildiriladi (20.1-rasm, 2) va $as/av = k_{\mu}$ to‘yinish koeffitsienti topiladi. Bu koeffitsient sinxron mashinalarda $k_{\mu} \approx 1,1 \div 1,4$ ga teng bo‘ladi.

Odatda, nisbiy birliklarda ifodalangan SG larning SIX lari bir-biridan kam farq qiladi va ularning o‘rtacha qiymatiga mos keladigan xarakteristikani normal salt ishlash xarakteristika deyiladi. Ayon va ayon bo‘lmagan qutbli sinxron generatorlarning normal SIX lari 20.1-jadvalda keltirilgan. Simmetrik qisqa tutashuv xarakteristikasi (QTX). Bu xarakteristikani tajribada olishda statorning fazaviy chulg‘amlari qisqa tutashtirilib, rotorning aylanish chastotasi $n = n_N = \text{const}$ va $U_1 = 0$ bo‘lganda stator chulg‘amidagi qisqa tutashuv tokining qo‘zg‘atish tokiga bog‘liqligini ko‘rsatadi, ya’ni $I_{qt} = f(I_{qo'z})$.

20.1-jadval. Ayon va ayon bo‘lmagan qutbli sinxron generatorlarning normal salt ishlash xarakteristikalari

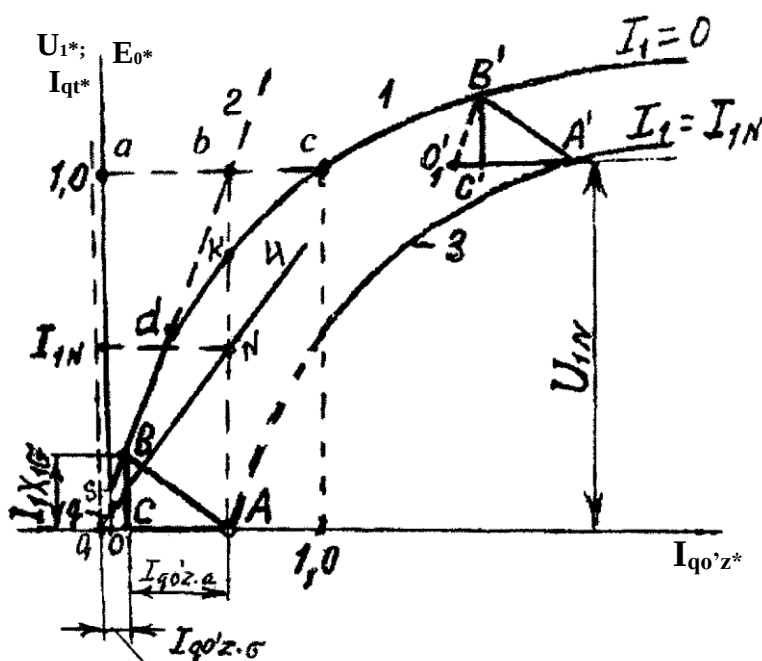
$I_{qo'z}^*$		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0*	Ayon bo‘lmagan qutbli (Turbogenerator)		0,58	1,0	1,21	1,33	1,4	1,46	1,51
	Ayon qutbli (Gidrogenerator)		0,53	1,0	1,23	1,3	1,4	1,46	1,51

Qisqa tutashuv tajribasini olishda qo‘zg‘atish toki $I_{qo'z} = 0$ da qutb o‘zagida mavjud bo‘lgan kam miqdordagi qoldiq magnit oqim tufayli hosil bo‘lgan qoldiq EYuK $E_{qol} = 0$ qisqa tutashuv toki $I_{qt} = 0$ ni vujudga keltiradi. Shu sababdan SG ning qisqa tutashuv xarakteristikasi ordinatalar o‘qidagi «q» nuqtadan boshlanadi.

O'rta va katta quvvatli sinxron mashinalarda aktiv qarshilik juda ham kichik bo'lganidan uni e'tiborga olmaganda ($r_1 \approx 0$), yakor zanjirining qarshiligi sof induktiv bo'lib, qisqa tutashuv toki $I_{qt} = I_d$ mashinani bo'ylama o'qi bo'yicha magnitsizlovchi ta'sir qiladigan yakor reaksiyasi magnet oqimini hosil qiladi. Natijada mashinaning magnet zanjiri to'yinmagan bo'lganligidan Q.T.X to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi (20.1-rasm, 4).

Induksion yuklanish xarakteristikasi (I.Y.X). Bu xarakteristika $I_1 = I_{1N} = \text{const}$, $\cos\varphi = 0$ va $f = f_N = \text{const}$ (ya'ni $n = n_N = \text{const}$) bo'lganda $U_1 = f(I_{qo'z})$ bog'liqlikni xarakterlaydi.

20.1-rasm. Sinxron generatorning: 1 – salt ishlash xarakteristikasi (S.I.X) va 2 – uning boshlang'ich (magnet zanjiri to'yinmagan holatdagi, yani to'g'ri chiziqli) qismini davom qildirib hosil qilingan S.I.X; 3– induksion yuklanish (I.Y.X) va 4 – simmetrik qisqa tutashuv (Q.T.X) xarakteristikalari



SG ning induksion yuklanish xarakteristikasi yakor reaksiyasining bo'ylama o'q bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri natijasida koordinata boshi 0 dan boshlanmay, balki abstsissalar o'qidagi birorta «A» nuqtadan boshlanadi. Bu nuqtani tajribada olishning iloji yo'q, chunki bu nuqtada $U_1 = 0$ bo'lgani uchun tok $I_1 = 0$ bo'ladi. Bu nuqtaning abstsissalar o'qidagi holatini SG ning qisqa tutashuv xarakteristikasi (QTX)dan nominal tokka to'g'ri kelgan qo'zg'atish toki $I_{qo'z,qt}$ ni aniqlab qo'yiladi. (Izoh: Qisqa tutashuv xarakteristikada ham yakor reaksiyasi induksion xarakteristikadagi kabi mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha magnitsizlovchi ta'sir qiladi).

SG ning induksion yuklanish xarakteristikasi (I.Y.X), yakor reaksiyasining bo'ylama o'q bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri (kam quvvatli sinxron generatorlarda yakor zanjiri aktiv qarshiligi r_1 ni ham e'tiborga olganda undagi kam miqdordagi kuchlanish tushishi) tufayli S.I.X dan pastroqda joylashadi (20.1-rasm, 2). SG ning salt ishlash, yuklanish va qisqa tutashuv xarakteristikalari mashinaning parametrlari (induktiv qarshiliklari)ni aniqlashda muhim ahamiyatga egadir.

20.1-rasmda punktir chiziq bilan ko'rsatilgan qo'shimcha ordinatalar o'qi keyingi amaliy diagrammalarni qurishda zarur bo'ladi (bunda qoldiq magnit oqimining qiymati kichikligidan, u e'tiborga olinmaganda mashinaning salt ishlash xarakteristikasi koordinatalar boshidan boshlanib, amaliy diagramma qurish va uni tahlil qilish ancha osonlashadi).

20.2§. Sinxron mashinalarning simmetrik barqaror rejimdagi parametrlari

Sinxron mashinaning simmetrik yuklamadagi barqaror rejimi parametrlariga stator va rotor chulg'amlarining aktiv va induktiv qarshiliklari kiradi. Yakor chulg'ami fazasining (r_1), qo'zg'atish chulg'aming ($r_{qo'z}$) va dempfer (ya'ni tinchlantiruvchi) chulg'aming (r_D) aktiv qarshiliklari mazkur chulg'amlardagi elektr isroflari orqali aniqlanadi (masalan, yakor chulg'amida elektr isroflari – $P'_e = m_1 I_{21} r_1$ ma'lum bo'lsa r_1 ni aniqlash mumkin va hokazo). Ayon qutbli sinxron mashinalarda dempfer chulg'aming aktiv qarshiligini mashinaning bo'ylama (r_{Dd}) va ko'ndalang (r_{Qd}) o'qlari bo'yicha aniqlanadi. Ayon qutbli sinxron mashinaning barqaror rejimdagi induktiv qarshiliklariga mashinaning bo'ylama (x_d) va ko'ndalang (x_q) o'qlari bo'yicha induktiv qarshiliklari, hamda yakor chulg'ami fazasining tarqoq induktiv qarshiligi $x_{1\sigma}$ kiradi. Dempfer va qo'zg'atish chulg'amlarining tarqoq induktiv qarshiliklari sinxron mashinaning o'tish rejimlarida hisobga olinadi. Ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashinada yakorning o'zaro induksiya qarshiligi x_1 (bu xa ko'rinishida ham belgilanadi) qo'yidagi formula bilan aniqlanadi:

$$x_1 = 2\pi \cdot f \cdot L_1, \quad (20.1)$$

bunda L_1 – yakor chulg‘amining induktivligi.

Ayon bo‘lmagan qutbli mashinalarda butun yakor aylanasi bo‘yicha havo oralig‘i bir xil bo‘lgani uchun mashinaning bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha induktiv qarshiliklari bir xil bo‘ladi, ya’ni $x_1 = x_d = x_q$. Yakorning o‘zaro induksiya maydoni yakor chulg‘amida hosil qilgan EYuK quyidagiga teng:

$$E_a = -jx_1 I_1. \quad (20.2)$$

Mashinaning tarqoq induktiv qarshiligi tarqoq maydonning magnit qarshiliklari orqali aniqlanadi. Tarqoq okim chulg‘amning paz qismida va pazdan tashqari qismida qurshaladi. Tarqoq oqimga yuqori garmonikalar tomonidan hosil qilinadigan differensial tarqoq oqim ham ta’sir qiladi (buoqimga magnit zanjirining to‘yinishi darajasi ta’sir qiladi). Yirik mashinalarda differensial tarqoq oqim, odatda, pazaviy tarqoq oqimdan kichik bo‘ladi. Mashina havo oralig‘idagi maydon o‘zgarishining shakli sinusoidadan qancha farq qilsa, differensial tarqoq oqim shuncha ko‘p bo‘ladi. Tarqoq oqim hosil qilgan tarqoq EYuK tok I_1 bilan quyidagicha bog‘langan, ya’ni

$$E_{1\sigma} = -jx_{1\sigma} I_1. \quad (20.3)$$

Ayon bo‘lmagan qutbli sinxron mashinaning to‘la, ya’ni sinxron induktiv qarshiligi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$x_s = x_1 + x_{1\sigma}. \quad (20.4)$$

Ayon qutbli sinxron mashinalarda bo‘ylama o‘qi bo‘yicha havo oralig‘i $\delta_{\min}$ va ko‘ndalang o‘qi bo‘yicha havo oralig‘i $\delta_{\max}$ bo‘lgani uchun, bu o‘qlar bo‘yicha magnit qarshiliklar har xil bo‘lib, mashinaning bo‘ylama (x_d) va ko‘ndalang (x_q) o‘qlari bo‘yicha induktiv qarshiliklari $x_d > x_q$ bo‘ladi.

Mashinaning bo‘ylama o‘qi bo‘yicha induktiv qarshiligi quyidagiga teng:

$$x_d = x_{ad} + x_{1\sigma}, \quad (20.5)$$

bunda $x_{ad} = 2\pi f \cdot L_{ad}$ – mashinaning bo‘ylama o‘qi bo‘yicha yakor reaksiyasining induktiv qarshiligi.

Mashinaning ko‘ndalang o‘qi bo‘yicha induktiv qarshiligi quyidagiga teng:

$$X_q = X_{aq} + X_{1\sigma}, \quad (20.6)$$

bunda $x_{aq} = 2\pi f \cdot L_{aq}$ mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha yakor reaksiyasining induktiv qarshiligi.

Yakor toki I_1 ning bo'ylama (I_{1d}) va ko'ndalang (I_q) o'qlari bo'yicha tashkil etuvchilari yakor chulg'amida hosil qilgan o'zinduksiya EYuK lari quyidagiga teng bo'ladilar:

$$a) E_{ad} = -jx_{ad}I_d; \quad b) E_{aq} = -jx_{aq}I_q \quad (20.7)$$

O'zaro induksiya induktiv qarshiliklari magnit zanjirining to'yinishiga ko'p jihatdan bog'liq bo'ladi, tarqoq induktiv qarshiliklari esa magnit to'yinishga bog'liqligi nisbatan kam bo'ladi. Lekin qisqa tutashuvlarda tok nominalga nisbatan 10÷15 marotaba oshishi tufayli tarqoq oqim o'tadigan yo'llar to'yinadi, va tarqoq induktiv qarshilik o'zgaradi.

Elektr mashinalari nazariyasida mashinaning parametrlarini aniqlashga katta e'tibor beriladi. Sinxron mashinalarning parametrlari mashinaning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini aniqlash uchun muhim ahamiyatga ega bo'ladi. **Sinxron mashinaning induktiv qarshiliklarini tajribada aniqlash.** Mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha induktiv qarshiligi x_d ni salt ishlash va qisqa tutashuv xarakteristikalaridan foydalanib aniqlash mumkin.

O'rta va katta quvvatli ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashinada stator chulg'ami aktiv qarshiligi r_1 ning qiymati ancha kichik ($r_1 = 0,01 \div 0,001$; $x_1 = 1,0 \div 2,5$) bo'lganligidan $r_1 \approx 0$ deb qabul qilinsa va qisqa tutashuv rejimida ($U_1 = 0$) yakor zanjiri qarshiligi sof induktiv bo'ladi va qisqa tutashuv toki $I_{qt} = I_d$ vujudga keltirgan yakor reaksiyasi oqimi mashinani magnitsizlaydi. Natijada mashinaning magnit zanjiri to'yinmagan bo'ladi.

Qisqa tutashuv rejimda ayon va ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashinalar uchun tegishli EYuK lar muvozanat tenglamasidan

$$E_0 = jI_{qt}X_{ad} + jI_{qt}X_{1\sigma} = jI_{qt}X_d; \quad (20.8)$$

$$E_0 = jI_{qt}X_a + jI_{qt}X_{1\sigma} = jI_{qt}X_s. \quad (20.9)$$

ularning induktiv qarshiligini aniqlash mumkin.

(20.1) dan ayon qutbli SG ning magnit to'yinishi hisobga olinmagan hol uchun uning bo'ylama o'qi bo'yicha induktiv qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$x_d = E_0 / I_{qt}, \quad (20.10)$$

bundagi EYuK E_0 va tok I_{qt} to'g'ri chiziqli salt ishlash (20.1-rasm, 2) va qisqa tutashuv (20.1-rasm, 4) xarakteristikalaridan bir xil qiymatli qo'zg'atish tokiga (masalan, $I_{qo'z} = \overline{0A}$ da $E_0 = \overline{Ab}$; $I_{qt} = I_{1N} = \overline{AN}$) to'g'ri kelishi kerak.

Sinxron mashinaning magnit zanjiri to'yinishi hisobga olinganda $x_{d\mu}$ induktiv qarshilik kamayadi. Shuning uchun EYuK E_0 ning qiymatini real salt ishlash xarakteristikasidan (20.1-rasm, 2) olish kerak bo'ladi. Agar sinxron mashinaning bo'ylama (k_d) va ko'ndalang (k_q) o'qlari bo'yicha stator (yakor) maydoni shaklining koeffitsientlari ma'lum bo'lsa, hisoblangan x_d dan foydalanib mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha sinxron induktiv qarshiligi x_q quyidagicha aniqlanadi:

$$x_q = (k_q/k_d) \cdot x_d. \quad (20.11)$$

Ayon qutbli SG larning x_d va x_q induktiv qarshiliklarini sirpanish tajribasidan ham aniqlash mumkin. Bu tajribada stator chulg'amidagi tok $I_1 = 0,25I_{1N}$ ga teng bo'ladigan qilib pasaytirilgan kuchlanish beriladi va SG ning qo'zg'atish chulg'amiga tok berilmagan holda (bu chulg'amga voltmetr ulanadi) uning rotorini birlamchi motor bilan sinxron aylanish chastotadan kamroq bo'lgan aylanish chastota bilan magnit maydon aylanishi tomonga aylantiriladi. Bunda statorning fazaviy chulg'amlari hosil qilgan magnitlovchi kuchning o'qi goh rotorning bo'ylama o'qi bilan, goho ko'ndalang o'qi bilan mos tushadi. Bo'ylama o'qi bilan mos tushganda yakor reaksiyasining magnit oqimi kichik magnit qarshilikka uchraydi, demak, MYuK va uni vujudga keltiradigan stator toki minimal qiymatga ega bo'ladi (bu holda statordagi voltmetr maksimal kuchlanishni ko'rsatadi). Stator chulg'ami magnitlovchi kuchining o'qi rotorning ko'ndalang o'qiga mos tushganda yakor reaksiyasining magnit oqimi katta magnit qarshilikka uchrab, MYuK va uni vujudga keltiradigan stator toki maksimal qiymatga ega bo'ladi (kuchlanish esa minimal bo'ladi).

Shunday qilib, kam miqdordagi sirpanish tajribasida stator chulg'amidagi tok $I_{\min}$ qiymatdan $I_{\max}$ gacha o'zgaradi. Bunda induksion regulyatordagi kuchlanish tushishining o'zgarishi tufayli statorga berilgan kuchlanish $U_{\max}$ dan $U_{\min}$ gacha o'zgaradi.

Stator chulg'amidagi kam miqdordagi aktiv qarshilik e'tiborga olinmasa ($r_1 \approx 0$) mashinaning bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha sinxron induktiv qarshiliklari stator fazaviy chulg'amlari yulduz ulangan hol uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$x_d = U_{\max} / (\sqrt{3} I_{\min}), \quad x_q = U_{\min} / (\sqrt{3} I_{\max}). \quad (20.12)$$

Bu tajribadan aniqlangan x_d va x_q larning qiymatlari mashina magnit zanjirining to'yinmagan holatiga to'g'ri keladi (bunda $x_q \approx 0,6 x_d$). Ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashinalarda yakor aylanasi bo'ylab havo oraliq bir xil bo'lgani tufayli $x_d = x_q = x_s$ bo'ladi. (20.8) dan ayon bo'lmagan qutbli SG ning magnit to'yinishi hisobga olinmagan hol uchun uning ko'ndalang o'qi bo'yicha induktiv qarshiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$x_s = E_0 / I_{qt}. \quad (20.13)$$

Induktiv qarshiliklar nisbiy birliklarda quyidagicha ifodalanadi:

$$x_d^* = (I_{1N} / U_{1N}) \cdot x_d; \quad x_q^* = (I_{1N} / U_{1N}) \cdot x_q, \quad (20.14)$$

bunda I_{1N} va U_{1N} – fazaviy tok va kuchlanishlarning nominal qiymatlari.

O'rta va katta quvvatli zamonaviy turbogenerator va gidrogeneratorlarning simmetrik yuklamada barqaror rejimi uchun parametrlarining qiymatlari 20.2-jadvalda keltirilgan.

20.2-jadval. Turbogenerator va gidrogeneratorlarning parametrlari

Nomi	r_a^*	x_d^*	x_q^*	x_{ad}^*	x_{aq}^*	$x_{1\sigma}^*$
Ayon bo'lmagan qutbli SM lar (Turbogeneratorlar)	0,002–0,008	1,6–2,2	1,6–2,2	1,5–2,1	1,5–2,1	0,08–0,25
Ayon qutbli SM lar (Gidrogeneratorlar)	0,002–0,02	0,6–1,8	0,4–1,2	0,5–1,5	0,3–0,9	0,1–0,3

Qisqa tutashuv nisbati (QTN). Bu sinxron mashinaning muhim parametrlaridan biri bo'lib, magnit to'yinishi hisobga olinmagan ayon qutbli

sinxron mashina uchun to'g'ri chiziqli salt ishlash xarakteristikasida nominal kuchlanish ($E_0=U_N$)ga to'g'ri kelgan qo'zg'atish toki $I_{qo'z(0)N}$ ning (20.1-rasmda

$\overline{0_1 A} = I_{qo'z,\sigma} + I_{qo'z,a}$) QTX da nominal tok ($I_{qt} = I_{1N}$)ga to'g'ri kelgan qo'zg'atish toki

$I_{qo'z(qt)N}$ ga nisbati orqali ifodalanadi, ya'ni

$$QTN = I_{qo'z(0)N} / I_{qo'z(qt)N} \cdot \quad (20.15)$$

Agar QTN real (magnit to'yinishli) SIX bo'yicha aniqlansa

$$(QTN)_\mu = 1,1 \div 1,2 / x^*_d, \quad (20.15,a)$$

bu yerda x^*_d – yakorning bo'ylama induktiv qarshiligi.

Noyon qutbli sinxron mashina (turbogenerator)lar uchun $QTN = 0,5 \div 1,0$, ayon qutbli mashinalar uchun esa $0,8 \div 1,8$.

QTN sinxron mashinaning ekspluatatsion xossalarini baholashda katta amaliy ahamiyatga ega: QTN kichik bo'lgan mashina parallel ishlashda turg'unligi nisbatan kam, chunki yuklama o'zgarishida vujudga keladigan kuchlanish tebranishlari anchagina bo'ladi, lekin bunday mashinalarning gabaritlari kichik, demak, QTN katta bo'lgan sinxron mashinaga nisbatan arzon bo'ladi. Tarqoq induktiv qarshilik x_{1a} ni aniqlash. Buning uchun sinxron generatorning SIX, QTX va induksion yuklanish xarakteristikalaridan foydalaniladi. (20.1-rasm, 4) da A nuqta qisqa tutashuv rejimiga ($I_{qt} = I_{1N}$ da $U_1 = 0$ ga) mos keladi. Bundagi ABC uchburchak reaktiv yoki xarakteristik uchburchak deyiladi; uning gorizonta kateti $\overline{CA}$ yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri F_{adN} ni kompensatsiyalaydigan qo'zg'atish tokining qiymati $I_{qo'z,a}$ ga, uchburchakning vertikal kateti $\overline{BC}$ esa – nominal tokdagi kuchlanish pasayishi $I_{1N}x_{1\sigma}$ ni kompensatsiyalash uchun zarur bo'lgan EYuK ga teng. Demak, agar SG ning bo'ylama induktiv qarshiligi x_{ad} ma'lum bo'lsa 20.1-rasmdagi A nuqta (tok $I_{qt} = I_{1N}$)da stator chulg'amidagi EYuK ning quyidagi

$$E_{qt} = -jI_{1N}x_d = E_{1d} + E_{1\sigma} = -jI_{1N}x_{ad} + (-jI_{1N}x_{1\sigma}) \quad (20.16)$$

muvozanat tenglamasidan foydalanib tarqoq induktiv qarshilik $x_{1\sigma}$ nisbiy birliklarda quyidagiga teng bo'ladi:

$$x^*_{1\sigma} = x^*_d - x^*_{ad} \quad (20.17)$$

Reaktiv uchburchakni qurish. Buning uchun tarqoq induktiv qarshiligi $x_{1\sigma}$ da tok I_{1N} hosil qilgan $jI_{1N}x_{1\sigma}$ kuchlanish pasayishi qiymatini ordinatalar o'qiga qo'yib, uni SIX ga ko'chiriladi (rasmda B nuqta) va undan abssissalar o'qiga perpendikulyar tushirib C nuqta hosil qilinadi. Bundagi $\overline{0_1C}$ kesma mazkur kuchlanish pasayishini muvozanatlovchi EYuK ni hosil qiluvchi qo'zg'atish tokining ulushi ($I_{qo'z,\sigma}$) ga teng. «B» nuqtani «A» nuqta bilan birlashtirib reaktiv uchburchak hosil qilinadi

SG ning SIX va induksion yuklanish xarakteristikasi hamda reaktiv uchburchak yordamida induksion yuklanish xarakteristikasining nominal kuchlanishga to'g'ri keladigan tarqoq induktiv qarshilikning qiymati aniqlanadi. Buning uchun $\overline{0_1A} = \overline{0_1A'}$ kesmani induksion yuklanish xarakteristikasida kuchlanish U_{1N} ga to'g'ri kelgan nuqta A' ga qo'yiladi va $O'1$ nuqtadan SIX ning to'g'ri chiziqli qismiga parallel qilib real SIX bilan kesishguncha $\overline{0_1B'}$ yordamchi chiziq o'tkazib B' nuqtadan $\overline{0_1A'}$ kesmaga perpendikulyar tushiriladi, hosil bo'lgan kesma esa $\overline{B'C'} = I_{1N}x_{1a}$ ga teng. Bundan x_{1a} aniqlanadi:

$$x_{1a} = x_R = \overline{B'C'} / I_{1N}. \quad (20.18)$$

Bu usul bilan aniqlangan induktiv qarshilik (buni Pote induktiv qarshiligi x_R deyiladi) tarqoq magnit oqim hosil qilgan induktiv qarshilikka nisbatan bir oz kattaroq bo'ladi.

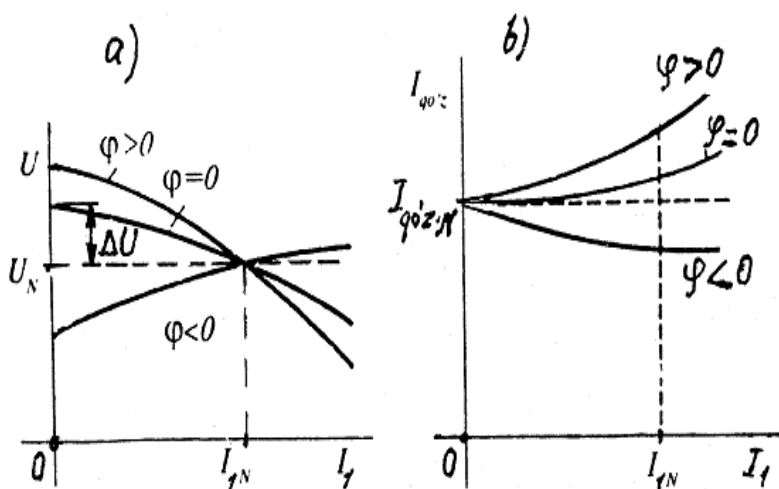
Reaktiv uchburchak ABC ni qurishdagi mashina magnit zanjirining to'yinish darajasi induksion yuklanish xarakteristikasida kuchlanish U_N ga to'g'ri kelgan A' nuqtasidagiga nisbatan har xil bo'lgani tufayli reaktiv uchburchak yordami bilan aniqlangan tarqoq induktiv qarshilik (rasmda $\overline{B'C'} = I_{1N}^* x_{1a}$) oldingiga nisbatan kattaroq bo'ladi. Ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashinalarda $x_R \approx (1,05 \div 1,1)x_{1\sigma}$, ayon qutbli sinxron mashinalarda esa $x_R \approx (1,1 \div 1,3)x_{1\sigma}$.

20.3§. Tashqi va rostdash xarakteristikalari

Tashqi xarakteristikalari. Bu xarakteristikalar qo'zg'atish toki $I_{qo'z} = \text{const}$, $f = \text{const}$ (demak, aylanish chastotasi $n = n_N = \text{const}$) va $\cos\varphi = \text{const}$ bo'lganda generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanish U_1 ning yuklama toki I_1 ga bog'liq holda o'zgariishini ko'rsatadi, ya'ni $U_1 = f(I_1)$. SG ning tashqi xarakteristikalari yuklamaning xarakteriga qarab har xil bo'ladi. 20.2-rasmda generatorning bu xarakteristikalari uch xil (aktiv, aktiv-induktiv va aktiv-sig'imiyl) xarakterli yuklamalarga tegishli $\cos\varphi$ uchun ko'rsatilgan.

Aktiv-induktiv ($\varphi > 0$) yuklamada mashina yakor reaksiyasining bo'ylama o'q bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri tufayli yakor tokining ortishi bilan SG chiqish klemmasidagi kuchlanish kamayadi (bunda $E_0 > U_1$), aktiv-sig'imiyl ($\varphi < 0$) yuklamada esa yakor reaksiyasi mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi va I_1 tokning ortishi bilan kuchlanish ham ortadi (bunda $E_0 < U_1$). Sof aktiv ($\varphi = 0$) yuklamada esa yakor reaksiyasi mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha ta'sir qilib, bo'ylama o'qi bo'yicha yo'nalgan asosiy magnit oqimini deformatsiyalaydi, ya'ni uning qutb o'qiga nisbatan simmetrik taqsimlangan shaklini buzadi (bu holda burchak $\psi > 0$ bo'ladi). Natijada rotorning aylanish yo'nalishiga bog'liq holda qutb o'qining bir tomonida magnit maydon susayadi, ikkinchi tomonida esa kuchayadi va mashina magnit zanjirining bu qismi magnit jihatdan to'yinadi.

20.2-rasm. Sinxron generatorning yuklamasini kamaytirib olingan tashqi (a) va yuklamasini oshirib olingan rostlash (b) xarakteristikalari (bular: $\varphi = 0$ – aktiv, $\varphi > 0$ – aktiv-induktiv va $\varphi < 0$ – aktiv sigim xarakterli yuklamalarga xos)



Bunda ma shinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yo'nalgan natijaviy magnit oqimi nisbatan kamayadi, demak, bu holda ham yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha bo'lar ekan. Shuning uchun yuklama toki I_1 ning ortishi bilan kuchlanish kamayadi ($E_0 > U_1$).

Agar SG ning tashqi xarakteristikasini tajribada olishda nominal yuklama ($I_1 = I_{1N}$) dan salt ishlash rejimigacha kamaytirib olinsa, yakor reaksiyasi ta'sirining kamayishi tufayli kuchlanish oshadi ($U_0 > U_{1N}$), agarda tashqi xarakteristikani tajribada olishda yuklamani nominalgacha oshirib olinsa unda kuchlanish ΔU ga kamayadi. Uning kattaligi foizda quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U\% = [(U_0 - U_{1N})/U_{1N}] \cdot 100. \quad (20.19)$$

Odatda SG lar $\cos\varphi = 0,85 \div 0,9$ bilan kuchlanishdan orqada qoluvchi tokda ishlaydilar. Bu holda $\Delta U = 20 \div 30\%$ bo'ladi. Iste'molchilar nominal kuchlanish U_N va unga yaqin kuchlanish bilan ishlashi uchun SG qo'zg'atishni avtomatik rostlash qurilmasi bilan ta'minlanib, kuchlanish rostlanib turiladi.

Sinxron generator EYuK larining amaliy (Pote) diagrammasi. Nominal yuklama bilan ishlab turgan SG ning yuklamasi birdaniga uzib qo'yilgandan keyin rotorning aylanish chastotasi va qo'zg'atish tokining qiymati o'zgartirilmay qoldirilsa SG ning chiqish klemmlaridagi kuchlanish nominal qiymatiga nisbatan ΔU kattalikka oshadi. Buni grafik usulda EYuK larning amaliy (Pote) diagrammasidan aniqlash mumkin. Buning uchun bitta grafikda salt ishlash va qisqa tutashuv xarakteristikolari quriladi. Amaliy diagrammada kattaliklar nisbiy birliklarda beriladi va uni aktiv-induktiv xarakterli yuklama ulangan ayon bo'lmagan qutbli sinxron generator uchun qurish tartibi quyidagidan iborat:

- 1) Ordinatalar o'qiga $OA = U_N$ vektori chiziladi;
- 2) kuchlanish U_N dan φ_N burchakka orqada qoluvchi I_{1N} vektori chiziladi;
- 3) U_N vektorga mashinaning aktiv ($I_{1N} \cdot r_1$) va induktiv ($jI_{1N} \cdot x_p$) qarshiliklaridagi kuchlanish pasayishi vektorlarini geometrik qo'shib nominal yuklamada ishlayotgan SG ning EYuK $OC = E_{yu}$ aniqlanadi, ya'ni

$$E_{yu} = U_N + I_{1N} \cdot r_1 + jI_{1N} \cdot x_p, \quad (20.20)$$

$$E_0 = E_{\text{vu},N} + E_{\text{ad}}; \quad (20.21)$$

5) yakor reaksiyasi EYuK E_{ad} qiymatni hisobga olish uchun yakor reaksiyasining bo'ylama magnitsizlovchi ta'siriga mos keladigan qo'zg'atish toki $I_{qo'z.a}$ ni aniqlaymiz (buning kattaligi 20.1-rasmda qisqa tutashuv tajribasidan grafik usulda aniqlangan mashina bo'ylama yakor reaksiyasini kompensatsiyalovchi qo'zg'atish toki $I_{qo'z.a}$ kabi aniqlanadi); bu kattalik 20.3-rasmda boshqa masshtabda LG = $I_{qo'z.a}$ belgilangan;

6) so'ngra D nuqtadan SD ga $\varphi' = \varphi + \gamma$ burchak ostida vektor $DK = I_{qo'z.a}$ ni o'tkazamiz. Markaz O dan OK radius bilan abstsissalar o'qi bilan N nuqtada kesishguncha yoy chiziladi. U holda $ON = I_{qo'z.N}$ qo'zg'atish tokining qiymati EYuK $E_0 = NP$ ga mos keladi. A nuqtadan abstsissalar o'qiga parallel qilib AR chiziqni o'tkazib izlanayotgan ΔU_N ni olamiz:

$$\Delta U_N = [(NP - NR)/NR] \cdot 100 = [(E_0 - U_N)/U_N] \cdot 100. \quad (20.22)$$

Rostlash xarakteristikasi. Bu xarakteristika $U = U_N = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$ va $f = f_N = \text{const}$ bo'lganda, $I_{qo'z} = f(I_1)$ bog'liqlikni ifodalaydi. 20.2-rasmda SG ning uch xil xarakterli yuklamaga tegishli $\cos\varphi$ qiymatlari uchun rostlash xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Aktiv-induktiv ($\varphi > 0$) xarakterli yuklamada I_1 tokning ortishi bilan yakor reaksiyasining mashina bo'ylama o'qi bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri oshadi, sof aktiv ($\varphi = 0$) yuklamada ham, tashqi xarakteristikaning tahlilida ta'kidlanganidek mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha nisbatan kam miqdorda magnitsizlovchi ta'sir qiladi va SG ning chiqish klemmlaridagi kuchlanish pasayadi, shartga ko'ra esa, $U_1 = \text{const}$ bo'lishi uchun qo'zg'atish tokini oshirish zarur bo'ladi. Aktiv-sig'imiyl ($\varphi < 0$) xarakterli yuklamada yakor reaksiyasi magnitlovchi ta'sir qilishi tufayli kuchlanish ortadi, bu holda $U_1 = \text{const}$ bo'lishini ta'minlash uchun esa qo'zg'atish tokini kamaytirish kerak bo'ladi.

Nazorat savollari

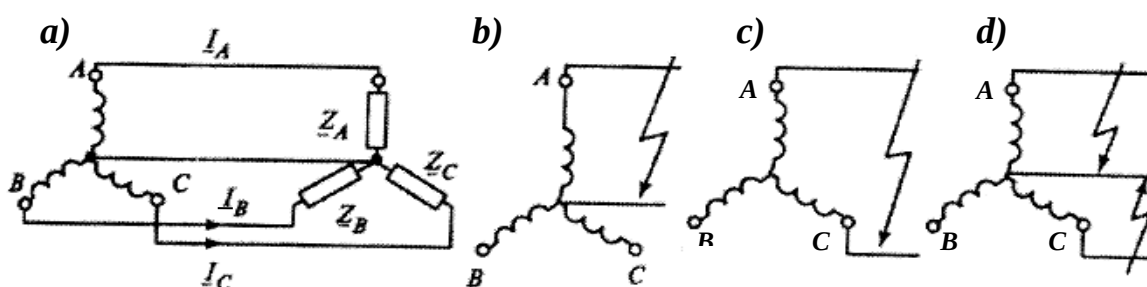
1. SG salt ishlash xarakteristikasining ahamiyati nimadan iborat?
2. Yakor reaksiyasi nima va u SG xarakteristikalariga qanday ta'sir qiladi?
3. SG ning I.Y.X-si nima uchun SIX dan pastda joylashadi?
4. Qisqa tutashuv nisbati nima va u qanday aniqlanadi?
5. SG ning induktiv qarshiliklari tajribada qanday aniqlanadi?

* * *

21-Bob. Sinxron generatorning nosimmetrik ish rejimlari

21.1§. Nosimmetrik yuklamada sinxron generatorning ishi

Sinxron generator energiya bilan ta'minlayotgan elektr tarmoqqa simmetrik yuklamadan tashqari bir fazali yuklamalar (masalan, elektr chiroqlari, bir fazali tokda ishlaydigan elektr transporti, elektr pechlari va elektr yoyi bilan payvandlash transformatorlari va boshq.) ham ulanganda yoki bir fazali va ikki fazali qisqa tutashuv rejimlarda fazaviy toklarning nosimmetrikligi vujudga kelib, bunda faza toklarining orasidagi siljish burchagi 120° elektr burchakka teng bo'lmaydi. Bunday nosimmetrik rejimni tahlil qilish uchun uch fazali transformatorlardagi nosimmetrik tizim tahlil qilinganidek simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalaniladi. Bunda I_A, I_B, I_C – uch fazali nosimmetrik toklar tizimini to'g'ri I_1 , teskari I_2 va nol I_0 ketma-ketlikli simmetrik toklar tizimiga ajratadilar (8.1-banddga qarang).

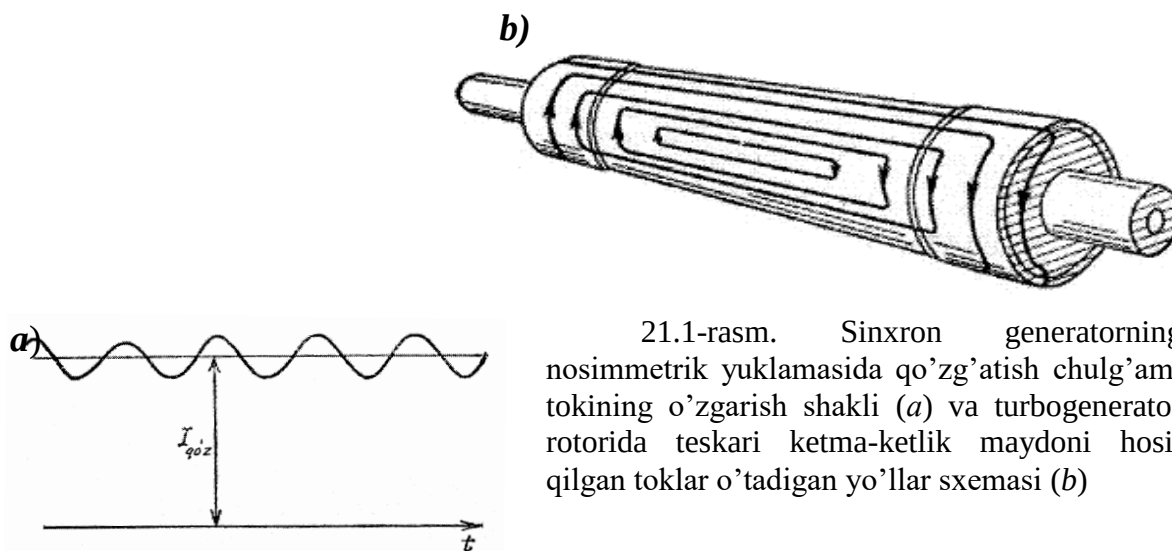


21.2-rasm. Uch fazali sinxron generatorning yuklamasi nosimmetrik ($Z_A \neq Z_B \neq Z_C$) (a) hol uchun kamida bir (b), ikki (c) va neytral tushgan ikki fazali (d) qisqa tutashuv sxemalari

Toklar tizimining to'g'ri ketma-ketligi I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} uch fazali sinxron mashinada rotor bilan bir xil chastotada aylanadigan yakor MYuK ni hosil qiladi. Bu MYuK rotor chulg'amlariga nisbatan qo'zg'almasdir. To'g'ri ketma-ketlikli toklar uchun yakor chulg'aming induktiv qarshiligi x_d va x_q larga teng.

Teskari ketma-ketlikli toklarning sinxron generator ishiga ta'siri. Toklar tizimining teskari ketma-ketligi I_{A2} , I_{B2} , I_{C2} rotorning aylanish yo'nalishiga teskari tomonga aylanadigan yakor MYuK ni hosil qiladi. Demak, teskari ketma-ketlikli toklarning hosil qilgan magnit maydoni rotordagi qo'zg'atish va tinchlantirish (dempfer) chulg'amlarni kesib o'tadi va ularda EYuK larni (demak, toklarni ham) hosil qiladi. Bu EYuK va toklarning (21.1,b-rasm) chastotasi yakor chulg'aminikiga nisbatan 2 marotaba kattadir.

Teskari ketma-ketlikli toklar hosil qilgan teskari aylanma maydonga turbogeneratorlar nihoyatda sezgirdirlar, chunki ularning rotorlari massiv (quyma, ya'ni yaxlit) bo'lgani uchun ularda isroflar katta bo'lib, rotorning ortiqcha qizishi xavfli, mashinaning FIK ham kamayadi. Shu sababli nosimmetrik yuklamada turbogenerator quvvatini nisbatan kamaytirish lozim bo'ladi. Qo'zg'atish chulg'amida hosil bo'ladigan, chastotasi esa 2 marotaba oshgan o'zgaruvchan toklar, shu chulg'amning o'zgarish tokiga ta'sir qilib (ya'ni qo'shilib) 21.1,a-rasmdagidek o'zgaradigan tokni hosil qiladi.



21.1-rasm. Sinxron generatorning nosimmetrik yuklamasida qo'zg'atish chulg'ami tokining o'zgarish shakli (a) va turbogenerator rotorida teskari ketma-ketlik maydoni hosil qilgan toklar o'tadigan yo'llar sxemasi (b)

Qo'zg'atish maydonining stator teskari ketma-ketlikli maydoni bilan hamda statorning to'g'ri ketma-ketlikli maydoni va chastotasi 2 marotaba oshgan rotor tokining maydoni bilan o'zaro ta'sirlari natijasida mashinada tarmoq chastotasidan ikki karra katta bo'lgan o'zgaruvchan ishorali pulslanuvchi momentlar tangensial kuchlar paydo bo'lib qo'shimcha titrash sodir bo'ladi. Rotor chulg'amlaridagi EYuK va tokning chastotasi yakor chulg'aminikiga

nisbatan 2 marotaba katta bo'lgani uchun, teskari ketma-ketlikli toklarni hisoblashda o'ta o'tkinchi (yoki o'tkinchi) induktiv qarshiliklardan foydalanish tavsiya qilinadi. Boshqacha aytganda, teskari ketma-ketlikli oqimlar uchun qisqa tutashgan tinchlantirish (dempfer) chulg'ami, xuddi asinxron mashinalardagi qisqa tutashgan rotor chulg'aming stator aylanma magnit oqimiga ta'siri kabi vazifani o'taydi.

Ayon bo'lmagan qutbli sinxron generatorda teskari ketma-ketlikli maydonga massiv rotorda induksiyalanadigan uyurma toklar aks ta'sir ko'rsatib, uning ta'sirini ancha susaytiradi.

Ayon qutbli sinxron generatorda teskari ketma-ketlikli oqim dempfer chulg'amida EYuK ni (demak, toklarni ham) hosil qilib, ular o'z navbatida Lens qoidasiga binoan, bu oqimga magnitsizlovchi ta'sir qiladi va mashinaning teskari ketma-ketlikli natijaviy oqimi kamayadi. Teskari ketma-ketlikli oqim rotorning goh bo'ylama va goho ko'ndalang o'qlarini kesib o'tadi. Shu sababdan teskari ketma-ketlikli toklar uchun mashina induktiv qarshiligining o'rtacha qiymatini quyidagiga teng deb olish mumkin:

$$x_2 = 0,5 (X_d'' + X_q''), \quad (21.1)$$

agar dempfer chulg'ami yakor aylanasi bo'ylab joylashgan bo'lsa, unda

$$x_2 \approx X_d'' \approx X_q''. \quad (21.2)$$

Teskari ketma-ketlikli induktiv qarshilik x_2 ni tajribada olish uchun sinxron mashina stator chulg'amini o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulab, uning rotorini maydonning aylanishiga teskari tomonga sinxron chastota bilan aylantirish kerak bo'ladi (bunda qo'zg'atish chulg'amiga ulangan voltmetr katta kuchlanishni ko'rsatadi).

Dempfer chulg'ami bilan ta'minlangan ayon qutbli sinxron generatorlarda teskari ketma-ketlikli induktiv qarshilik $x_2^* = 0,15 \div 0,35$, turbogeneratorlarda esa dempfer chulg'ami vazifasini rotor massivi bajaradi va ularda $x_2^* = 0,12 \div 0,25$.

Nol ketma-ketlikli toklarning sinxron generator ishiga ta'siri. Nosimmetrik yuklamada nol ketma-ketlikli toklar faza chulg'amlari «yulduz» sxemasiga

ulangan stator chulg'aming nol nuqtasi tashqariga chiqarilgan yoki bu nuqta zaminlangan bo'lganda paydo bo'ladi.

Ma'lumki, nol ketma-ketlikli toklar hamma fazalarda bir xil va yo'nalishi bo'yicha mos tushadi. Shu sababli ular fazoda bir-biridan 120° el. burchakka siljigan stator faza chulg'amlari bo'yicha o'tganda, ular vujudga keltirgan MYuK larning 1-garmonikasi istalgan vaqt uchun uchta bir-biriga teng, lekin bir-biriga nisbatan 120° ga siljigan MYuK larni hosil qiladi. Bu uchta MYuK ning yig'indisi nolga teng va, demak, nol ketma-ketlikli toklar mashinaning havo oralig'ida magnit maydonning 1-garmonikasini yaratmaydi. Mashinaning havo oralig'idagi magnit maydonni uch karrali pulslanuvchi MYuK lar yaratadi. Bu garmonikalar yaratgan maydonlarning qiymati kichik, shu sababli ular qo'zg'atish va dempfer chulg'amlarida hosil qiladigan EYuK va toklar ham kam bo'ladi.

Yakor faza chulg'aming nol ketma-ketlikli toklarga ko'rsatadigan qarshiligini nol ketma-ketlikli qarshilik deyiladi, ya'ni:

$$Z_0 = r_0 + jx_0. \quad (21.2)$$

Nol ketma-ketlikli induktiv qarshilik x_0 asosan tarqoq maydon tomonidan hosil qilinadi va shu sababli nisbatan kam bo'ladi. Nisbiy birliklarda u quyidagiga teng, ya'ni $x^*_0 = 0,02 \div 0,1$. Nol ketma-ketlikli aktiv qarshilik taxminan to'g'ri ketma-ketlikli aktiv qarshilikka teng: $r_0 \approx r_a$. Kuchlanish tushishi $U_0 = I_0 Z_0$ mashinaning barcha fazalarida bir xil yo'nalishga ega va faza kuchlanishlarining nosimmetrikligini vujudga keltiradi. Nol ketma-ketlikli toklar liniyaviy kuchlanishlar simmetriyasiga ta'sir ko'rsatmaydi.

21.2§. Sinxron generatorlarda nosimmetrik qisqa tutashuvlar

Sinxron generatorlarni ekspluatatsiya qilish jarayonida ikki va bir fazali qisqa tutashuvlar bo'lib turadi. Simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalanib qisqa tutashuv toklarining barqaror qiymatlari uchun quyidagi hisobiy ifodalarni olish mumkin:

ikki fazali qisqa tutashuv uchun

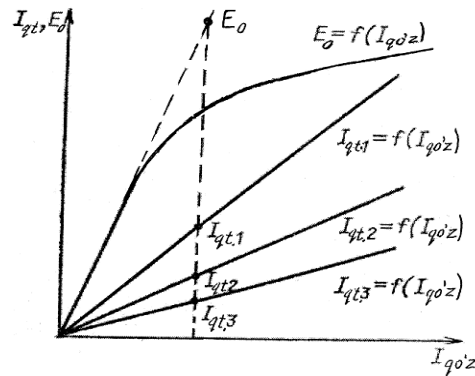
$$I_{qt.2} = \sqrt{3} E_0 / (x_d + x_2); \quad (21.3)$$

bir fazali qisqa tutashuv uchun

$$I_{qt.1} = 3E_0 / (x_d + x_2 + x_0); \quad (21.4)$$

uch fazali qisqa tutashuv uchun

$$I_{qt.3} = I_{qt} = E_0 / x_d . \quad (21.5)$$



21.2-rasm. Sinxron generatorning bir, ikki va uch fazali qisqa tutashuv xarakteristkalari

Qisqa tutashuv toklari amaliy jihatdan sof induktiv hisoblanadi. Qisqa tutashuv xarakteristikalaridan bir fazalisi eng yuqorida, undan pastroqda ikki fazalisi va undan yana pastroqda uch fazalisining joylashishiga sabab bo'ylama magnitsizlovchi yakor reaksiyasi nosimmetrik yuklamada faqat to'g'ri ketma-ketlikli toklarni hosil qiladi. Uch fazali qisqa tutashuvda qisqa tutashuv toki ($I_{qt.3}$) ning bari, ikki fazalida qisqa tutashuv tokining bir qismi ($I_{qt.2}/\sqrt{3}$), bir fazalida esa $I_{qt.2}/3$. Shu sababli bir xil qiymatli ($I_{qt.3} = I_{qt.2} = I_{qt.1}$) qisqa tutashuv toklarini olish uchun uch fazalida eng ko'p, ikki fazalida kam, bir fazalida esa undan ham kam qo'zg'atish toki talab qilinadi. Qisqa tutashuv xarakteristikalaridan mashinaning x_2 va x_0 parametrlarini aniqlash mumkin. Buning uchun qisqa tutashuv toklari uchun (21.3), (21.4) va (21.5) tenglamalarni birgalikda yechib quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$x_2 = \sqrt{3} E_0 / I_{qt.2} - E_0 / I_{qt.3}; \quad (21.6)$$

$$x_0 = 3E_0 / I_{qt.1} - \sqrt{3} E_0 / I_{qt.2}. \quad (21.7)$$

21.2-rasmdan qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ning bir xil qiymatiga to'g'ri keladigan $I_{qt.3}$, $I_{qt.2}$ va $I_{qt.1}$ toklarning hamda shu $I_{qo'z}$ ga mos keladigan salt ishlash

xarakteristikasining to'g'ri chiziqli qismidan aniqlanadigan EYuK E_0 ning qiymatini (21.6) va (21.7) larga qo'yib mashinaning x_2 va x_0 parametrlarini olamiz.

Nazorat savollari

1. Nosimmetrik rejimlarning kelib chiqish sabablari nimalardan iborat?
2. Nosimmetrik rejimlarni tekshirishda qaysi usuldan foydalaniladi?
3. Teskari ketma-ketlikli toklar sinxron generator ishiga qanday ta'sir qiladi?
4. Nosimmetrik qisqa tutashuvlar to'g'risida ma'lumot bering.

* * *

22-Bob. Sinxron generatorning elektr tarmog'I bilan parallel ishlashi

22.1§. Uch fazali sinxron generatorlarni tarmoqqa parallel ulashi

Hozirgi vaqtda bir nechta elektr stansiyalar parallel ishlab, energetika tizimini hosil qiladi. Tizim iste'molchilarni uzluksiz energiya bilan ta'minlashga, elektr stansiyalarining quvvatidan to'laroq foydalanishiga, ta'mirlash ishlarini osonlashtirish imkonini beradi. Har bir elektr stansiyasida bir nechta generator o'rnatilgan bo'lib, elektr tizimida yuzlab generatorlar parallel ishlaydi. Ana shuning uchun ham har bir generatorning quvvati energetika tizimida yuklanishni har qanday o'zgarishi bilan sis-temada ishlayotgan generatorning chastotasi va kuchlanishi amalda o'zgarmaydi.

1. SG ni elektr tarmog'iga yoki ishlab turgan generatorlar bilan parallel ulash uchun quyidagi shartlar bajarilishi shart:

Sinxron generatorning EYuK E_G elektr tarmog'i kuchlanishiga teng ($\underline{E}_G = \underline{U}_T$) va faza jihatdan 180° , ya'ni teskari yo'nalgan bo'lishi lozim;

2. SG ning chastotasi f_G elektr tarmog'ining chastotasi f_t ga teng ($f_G = f_t$) bo'lishi kerak;

3. Uch fazali SG va elektr tarmog'i fazalarining ketma-ketligi bir xil bo'lishi kerak.

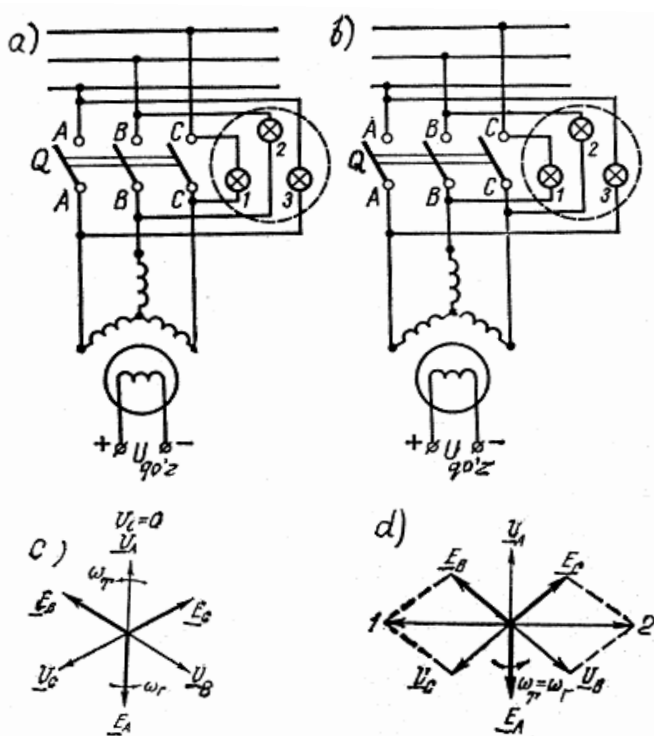
EYuK ni tarmoq kuchlanishiga tenglash uchun SG qo'zg'atish toki o'zgartiriladi, chastotalarni tenglash uchun esa generator rotorining aylanish chastotasini o'zgartirish kerak bo'ladi.

Sinxron generatorlarni parallel ulash usullari. SG larni parallel ulashning quyidagi usullari mavjud:

1) aniq sinxronlash usuli – bu usulda generatorlarni parallel ulashning uchta talabi aniq bajarilishi shart. Birinchi shartning bajarilishi generator klemmalariga ulangan voltmetr vositasida, qolgan ikki shart esa «sinxronoskop» asbobi yordamida tekshiriladi (22.1-rasm). Eng oddiy sinxronoskop asbobi chiroqli (lampali) sinxronoskopdir.

Agar ulagich Q_1 uzilgan bo'lsa, SG salt ishlashi holatida ishlaydi va Q_1 klemmalarida EYuK $\underline{U} = \underline{E}_G + \underline{U}_T$ bo'ladi. Agarda parallel ulanadigan generatorning aylanish chastotasi o'zgaras bo'lib, u nominal aylanish chastotasiga teng bo'lsa, $\underline{E}_G$ va $\underline{U}_T$ lar bir xil burchak chastota bilan aylanardi, natijada $\underline{U}$ ni o'zgaras qilib saqlab bo'lmaydi, shu sababli $\underline{E}_G$ va $\underline{U}_T$ larning chastotalari orasida farq bo'ladi. Ana shuning uchun ham $\underline{E}_G$ va $\underline{U}_T$ bir-biriga nisbatan $\omega_T - \omega_G = 2\pi \cdot (f_T - f_G)$ burchak chastota bilan aylanadi. Buning oqibatida U noldan $2U_t$ gacha o'zgaradi va chiroqlardagi kuchlanish ham o'zgarib turadi, ya'ni chiroqlar bir vaqtda yonib va o'chib turadi.

22.1-rasm. Uch fazali SGni elektr tarmog'iga chiroqli sinxronoskop yordamida parallel ulashning: «o'chish» (a) va «yorug'lik aylanishi» (b) sxemalarida hamda SG ni tarmoqqa ulash vaqtida mos keladigan EYUK va kuchlanish vector diagrammalari (c, d)



Generatorni tarmoqqa parallel ulashning eng qulay vaqti $U=0$ bo'lgandagi holatdir, bunda chiroqlar o'chgan holat bo'ladi. Ana shu vaqtda $\underline{E}_G$ va $\underline{U}_T$ vektorlari bir-biriga nisbatan teskari fazada bo'ladi, ya'ni $\underline{E}_G = -\underline{U}_T$.

Uch fazali SG larni sinxronoskop chiroqlari «o'chish» 22.1,a-rasm va «yorug'lik aylanishi» 22.1,b-rasm sxemalari bo'yicha ulanadi. Quyida «o'chish» sxemasi (22.1,a-rasm) bo'yicha generatorni parallel ulash usulini ko'rib chiqamiz.

Bu sxemada chiroqlar A-A', B-B' va C-C' nuqtalar orasiga ulangan bo'lib, har bir juft nuqtalar bir fazani tashkil qiladi. Bu nuqtalar orasidagi kuchlanishlar qiymati nolga teng bo'lganda va chiroqlar o'chganda ulagich «Q» qo'shiladi. Bu holda tarmoq kuchlanishi $\underline{U}_T$ va SG EYuK $\underline{E}_G$ lar bir-biriga nisbatan teskari fazada bo'ladi (22.1,a-rasm).

«Yorug'lik aylanishi» sxemasi bo'yicha generatorni tarmoqqa parallel ulash 22.1,b-rasmda ko'rsatilgan. Bunda I-chiroq A-A' bir xil faza nuqtalariga, qolgan ikkita chiroq esa har xil faza nuqtalariga B-C' va C-B' ulangan bo'ladi. Ulagich «Q₁» A-A' nuqtadagi chiroq o'chgan va qolgan ikki chiroq esa bir xil ravshan yongan holatda ulanishi kerak. Ulagich «Q₁» ning yaxshi ulash holatini bilish uchun yuqoridagi sxemada ham A-A' nuqtalar orasiga voltmeter ulanadi. A-A' nuqtalar orasidagi kuchlanish qiymati nol bo'lganda bu voltmetrning strelkasi chiroqlar o'chganda va yonganda sekin tebranadi va nolni ko'rsatadi. Ana shu vaqtda generator ulanishi lozim. Hozirgi vaqtda elektr stansiyalarda mukammallashgan sinxronoskoplar ishlatilmoqda. Bu sinxronoskoplar SG larni parallel ulashdagi vaqtni aniq ko'rsatib beradi.

2. Noaniq sinxronlash usuli. SG larni aniq sinxronlash usuli bilan parallel ulash ko'p vaqt (≈ 10 minut) talab qiladi. Shuning uchun hozirgi vaqtda juda ko'p elektr stansiyalarda o'z-o'zini (noaniq) sinxronlash usuli qo'llanilmoqda. Bu usul bilan SG kuchlanishi va chastotasi tarmoqnikidan nisbatan kam miqdorda farqli bo'lgan holda ham generatorni qisqa vaqtda tarmoqqa parallel ulashga erishiladi. Noaniq sinxronlashda birlamchi motor yordamida hali qo'zg'atilmagan (qo'zg'atish chulg'ami o'zgarmas tok manbaiga ulanmagan) generatorning rotorini

sinxron aylanish chastotaga yaqin chastota bilan aylantiriladi, keyin stator chulgʻamlari tarmoqqa ulanadi va qoʻzgʻatish chulgʻamiga oʻzgarmas tok beriladi. Bu paytda stator tokining tebranishi kuzatiladi. Shuning uchun bu usul generatorni tez va qisqa vaqt ichida tarmoqqa parallel ulash kerak boʻlganda qulay hisoblanadi. Sinxronlashdan oldin generator va tarmoq kuchlanishi ayrim fazalarining ketma-ketligi tekshirilgan boʻlishi shart.

22.2§. Sinxron generatorning elektromagnit quvvati va momenti, burchak xarakteristikalarini va aktiv quvvatini rostdash

Katta quvvatli ($U = \text{const}$, $f = \text{const}$) elektr tarmogʻi bilan parallel ishlayotgan SG ning xarakteristikalarini avtonom ishlayotgan SG nikidan umuman farq qiladi. Katta quvvatli tarmoqning kuchlanishi mashinaning har qanday ish rejimidan qatʼiy nazar oʻzgarmaganligi tufayli sinxron mashinaning vektor diagrammasida oʻzgarmas boʻladi.

SG ning aktiv quvvatini oʻzgartirish uchun uni harakatga keltirayotgan birlamchi mexanizm (masalan, turbina)ga taʼsir etish, yaʼni uning aylanish chastotasini oʻzgartirish lozim. Buni esa turbinaga kelayotgan suv (GES da) yoki bugʻ (IES va AES larda) bosimini oʻzgartirish yoki oʻzgarmas tok motorining qoʻzgʻatish tokini oʻzgartirish, dizel generatorlarda esa yoqilgʻi miqdorini oshirish bilan amalga oshiriladi.

Generatorning tarmoqqa berayotgan aktiv quvvati quyidagiga teng:

$$P_2 = P_{em} - P'_{e1} - P'_m = m \cdot U_1 \cdot I_1 \cos \varphi, \quad (22.1)$$

bu yerda: P'_{e1} – stator chulgʻami zanjiridagi elektr isroflar; P'_m – stator oʻzagidagi magnit isroflar.

Katta va oʻrta quvvatli generatorlarda P'_{e1} va P'_m isroflari juda ham kichik boʻlganligi tufayli ular hisobga olinmasa, generatorning tarmoqqa berayotgan quvvati quyidagiga teng boʻladi:

$$P_2 \approx P_{em} = m E_0 \cdot I_1 \cdot \cos \psi. \quad (22.2)$$

Tarmoq bilan parallel ishlayotgan SG ni tekshirish vaqtida P_{em} quvvatni mashinaning parametrlari, rotorining holati va uning natijaviy magnit maydoni orasidagi siljish burchagi θ orqali ifodalash qulaydir.

Buning uchun (22.1) formula boshqa ko'rinishga keltiriladi. Magnit to'yinishi hisobga olinmagan ayon bo'lmagan qutbli SG ning 19.6,a-rasmda ko'rsatilgan vektor diagrammasi stator chulg'aming aktiv qarshiligi e'tiborga olinmagan ($r_1 \approx 0$, demak, $I_1 r_1 = 0$) hol uchun 22.2,a-rasmda keltirilgan.

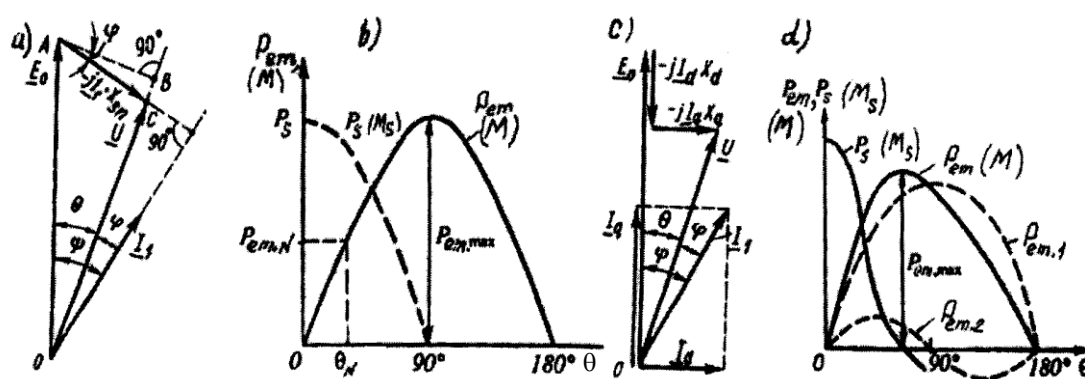
Bu diagrammadan quyidagini aniqlaymiz, ya'ni $0AB$ va ACB uchburchaklarning umumiy tomoni $\overline{AB} = OA \cdot \sin\theta = AC \cdot \cos\varphi$ yoki OA va AC vektorlarning modullari orqali ifodalansa quyidagi tenglikka ega bo'lamiz:

$$E_0 \sin\theta = I_1 x_{sn} \cos\varphi. \quad (22.3)$$

Bu tenglamaning ikkala tomonini SG ning fazalar soni m ga va kuchlanishi U ga ko'paytirib, sinxron induktiv qarshilik x_{sn} ga bo'lamiz, natijada uch fazali sinxron mashinaning elektromagnit quvvatini aniqlash formulasi kelib chiqadi:

$$P_{em} = mUI_1 \cos\varphi = (mUE_0 / x_{sn}) \sin\theta. \quad (22.4)$$

Bu ifodadan ko'rinishicha, elektromagnit quvvat P_{em} kuchlanish U , EYuK E_0 va ular orasidagi siljish burchagi θ larga bog'liq bo'lar ekan. Kuchlanish U va EYuK E_0 vektorlar orasidagi θ burchak yuklanish burchagi deyiladi.



22.2-расм. Аyon bo'lmagan qutbli (a, b) va ayon qutbli (c, d) SG ning elektromagnit quvvatini aniqlashga oid soddalashtirilgan vektor diagrammalar (a, c) va tegishli aktiv quvvatning burchak xarakteristikalar (b, d)

Ayon bo'lmagan qutbli SG ning elektromagnit momenti quyidagi ifodadan topiladi:

$$M = P_{em} / \omega_1 = [(mU_1 E_0 / (\omega_1 x_{sn}))] \cdot \sin \theta, \quad (22.5)$$

bu yerda: $\omega_1 = 2\pi n / 60 = 2\pi f_1$ – magnit maydonining burchak tezligi. $\omega_1 = \text{const}$ bo'lgani uchun $M \sim P_{em}$ bo'ladi. 22.2,b-rasmda P_{em} (yoki M) = $f(\theta)$ bog'liqlik ko'rsatilgan bo'lib, unga SG elektromagnit quvvati yoki elektromagnit momentining burchak xarakteristikasi deyiladi.

Bunda $U = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ va $E_0 = \text{const}$ ($I_{qo'z} = \text{const}$) bo'ladi. P_N va M_N larning qiymatlariga nominal burchak θ_N to'g'ri keladi va u $\theta_N = 20^\circ \div 35^\circ$ oralig'ida bo'ladi. Burchak $\theta = \pi/2$ bo'lsa, $\sin \theta = 1$ bo'lib, quvvat va moment o'zlarining maksimum qiymatlariga ega bo'ladi.

$$P_{em, \max} = mUE_0 / x_{sn}, \quad M_{\max} = mUE_0 / (\omega_1 x_{sn}). \quad (22.6)$$

Ayon bo'lmagan qutbli SG burchak $\theta = 0 \div \pi/2$ oraliqda sinxron rejimda ishlay oladi. $\theta > \pi/2$ da esa sinxronizmdan chiqib ketadi va avariya holati yuz beradi.

Ayon qutbli SG ning elektromagnit quvvatini vektor diagrammadan (22.2,c-rasm) foydalangan holda quyidagicha aniqlanadi. Magnit zanjirining to'yinishi hisobga olinmagan SG stator chulg'aming aktiv qarshiligi kichikligidan $r_1 \approx 0$ deb hisoblanadigan katta va o'rta quvvatli SG ning aktiv quvvati quyidagiga teng:

$$P \approx m \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi. \quad (22.7)$$

Vektor diagrammadan $\varphi = \psi - \theta$ ekanligini aniqlab (22.7) formulaga qo'yamiz

$$\begin{aligned} P &= m \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos(\psi - \theta) = m \cdot U \cdot I_1 (\cos \psi \cdot \cos \theta + \sin \psi \cdot \sin \theta) = \\ &= m \cdot U (I_q \cdot \cos \theta + I_d \cdot \sin \theta). \end{aligned} \quad (22.8)$$

Kuchlanish va kuchlanish pasayishi vektorlarini E_0 vektori yo'nalishiga (bunga mashinaning ko'ndalang «q» o'qi to'g'ri keladi) va unga perpendikulyar bo'lgan yo'nalish (mashinaning «d» o'qi)ga proeksiyalab quyidagi ifodalarga:

$$E_0 = U \cos \theta + I_d x_d; \quad I_q x_q = U \sin \theta. \quad (22.9)$$

ega bo‘lamiz, bulardan esa tokning ko‘ndalang (I_q) va bo‘ylama (I_d) tashkil etuvchilarini aniqlaymiz:

$$I_q = U \sin \theta / x_q, \quad I_d = (E_0 - U \cos \theta) / x_d. \quad (22.10)$$

Toklarning bu qiymatlarini (22.8) ga quyib ayon qutbli sinxron mashinaning parametrlari orqali ifodalangan elektromagnit quvvatini hisoblash formulasini hosil qilamiz:

$$P_{em} = (mUE_0 / x_d) \cdot \sin \theta + (mU^2 / 2) \cdot (1/x_q - 1/x_d) \sin 2\theta. \quad (22.11)$$

(22.11) dan ko‘rinishicha, quvvatning birinchi, ya’ni asosiy tashkil etuvchisi kuchlanishga va EYuK E_0 ni hosil qiladigan qo‘zg‘atish chulg‘aming magnit oqimiga bog‘liq bo‘ladi, ikkinchi tashkil etuvchisi esa mashinaning qo‘zg‘atish oqimiga bog‘liq emas, ya’ni u kuchlanish kvadratiga va mashinaning bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha induktiv qarshiliklarining farqi ($x_d \neq x_q$, odatda $x_d > x_q$) tufayli hosil bo‘ladi. Nominal qo‘zg‘atishda quvvatning ikkinchi tashkil etuvchisi birinchi (asosiy) tashkil etuvchi amplitudasining 20÷35% ni tashkil etadi. Ayon bo‘lmagan qutbli sinxron mashinalarda $x_d = x_q$, shu sababli (22.11) formulada ikkinchi tashkil etuvchisi qatnashmaydi.

Sinxron mashinaning elektromagnit momenti. Buni aniqlash uchun elektromagnit quvvatni hisoblash formulasini magnit maydonning burchak tezligi ω_1 ga bo‘lish kerak, masalan, ayon qutbli sinxron mashina uchun:

$$M = P_{em} / \omega_1 = [m U_1 E_0 / (\omega_1 x_d)] \cdot \sin \theta + \{ [m U_1^2 / (2\omega)] (1/x_q - 1/x_d) \} \cdot \sin 2\theta, \quad (22.12)$$

ayon bo‘lmagan qutbli sinxron mashinalar uchun esa 2-tashkil etuvchisi bo‘lmaydi.

Sinxron mashina reaktiv quvvatining burchak xarakteristikasi. $U_t = \text{const}$, $I_{qo'z} = \text{const}$ shartlari bajarilganda olinadigan $Q = f(\theta)$ bog‘liqlikka reaktiv quvvatning burchak xarakteristikasi deyiladi (22.3-rasm).

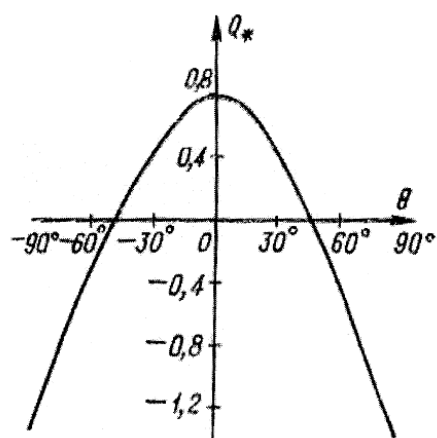
Ayon qutbli SG ning reaktiv quvvati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q = mU \cdot I \sin \varphi = (mUE_0 \cos \theta) / x_d + (mU^2/2) \cdot (1/x_q - 1/x_d) \cos 2\theta - (mU^2/2) \cdot (1/x_q - 1/x_d). \quad (22.13)$$

Calt ishlashda ($\theta = 0$) reaktiv quvvat maksimal qiymatga erishadi:

$$Q_{\max} = mU (E_0 - U) / x_d - mU^2 / (2x_q). \quad (22.14)$$

Agar $E_0 > U$ bo'lsa reaktiv quvvat $Q_{\max} > 0$ bo'ladi, ya'ni sinxron generator reaktiv quvvatni elektr tarmog'iga beradi. Burchak θ ning oshishi bilan reaktiv quvvat kamaya bo radi va burchak θ ning biror qiymatida quvvat ishorasini o'zgartiradi, ya'ni mashina elektr tarmog'idan reaktiv quvvatni ola boshlaydi.



22.3-rasm. Magnit to'yinishi hisobga olinmagan ayon qutbli o'ya qo'zg'atishli sinxron generator reaktiv quvvatining burchak xarakteristikasi ($E^* = 1,87$, $U^* = 1$, $x_d = 1,1$, $x_q = 0,75$)

22.3§. Elektr tarmog'i bilan parallel ishlayotgan sinxron generatorning statik turg'unligi, sinxronlovchi quvvati va momenti

Statik turg'unlik tushunchasi. Sinxron mashinaning burchak xarakteristikasi statik turg'unlikni va ortiqcha yuklama bilan ishlay olish darajasini baholash uchun muhim ahamiyatga egadir. Elektr tarmog'i bilan parallel ishlayotgan sinxron mashinaning valiga qo'yilgan tashqi aylantiruvchi yoki tormozlovchi momentning kam miqdorda o'zgarishida sinxron (ya'ni $n = n_1$) aylanish chastotasini saqlay olish qobiliyatiga uning statik turg'unligi deyiladi. Statik turg'unlik faqat $M < M_{\max}$ ga mos keladigan θ burchaklarda ta'minlanadi.

Agar $dM / d\theta > 0$ bo'lsa, sinxron mashina turg'un ishlab, $dM / d\theta > 0$ bo'lganda esa noturg'un ishlaydi; burchak θ qancha kichik bo'lsa mashina shuncha katta turg'unlik zaxiraga ega bo'ladi.

Sinxron generatorning sinxronlovchi quvvati va momenti. Elektr tarmog‘i bilan parallel ishlayotgan SG ning normal ish rejimi buzilsa, uning sinxron ishlashini ta‘minlovchi sinxronlovchi quvvat va moment bo‘lishi kerak, bu holda SG yuklanish burchagi θ ning ma‘lum bir o‘zgarish oralig‘ida o‘zining normal ishlashini saqlaydi. Demak, generatorga berilayotgan mexanik quvvat va uning elektromagnit quvvati orasidagi muvozanat buzilganda, generatorning sinxron ish rejimini tiklovchi quvvatga sinxronlovchi quvvat deyiladi. Ayon bo‘lmagan qutbli mashinaning sinxronlovchi quvvati P_s ni aniqlash uchun elektromagnit quvvat P_{em} dan yuklanish burchagi θ bo‘yicha hosila olinadi:

$$P_s = dP_{em} / d\theta = (mUE_0 / x_d) \cdot \cos\theta, \quad (22.15)$$

sinxronlovchi moment esa

$$M_s = dM / d\theta = [mU E_0 / (\omega_1 x_{sn})] \cdot \cos\theta. \quad (22.16)$$

Ayon qutbli sinxron mashina uchun sinxronlovchi quvvat

$$P_s = (mUE_0 / x_d) \cdot \cos\theta + [m U^2 (1/x_q - 1/x_d)] \cdot \cos 2\theta, \quad (22.17)$$

sinxronlovchi moment esa

$$M_s = [mUE_0 / (\omega_1 x_d)] \cdot \cos\theta + [(m U^2 / \omega) \cdot (1/x_q - 1/x_d)] \cdot \cos 2\theta. \quad (22.18)$$

$U_1 = U_N$ va $I_{qo'z} = I_{qo'z.N}$ bo‘lganda maksimal quvvat P_{max} ning nominal quvvat P_N ga nisbatiga sinxron mashinaning ortiqcha yuklama bilan ishlash qobiliyati deyiladi va $k_{o,yu}$ bilan belgilanadi:

$$k_{o,yu} = P_{max} / P_N = M_{max} / M_N. \quad (22.19)$$

Ayon bo‘lmagan qutbli sinxron mashinalar uchun ortiqcha yuklama bilan ishlash qobiliyatini quyidagicha yozish mumkin $k_{o,yu} = 1/\sin\theta_N$.

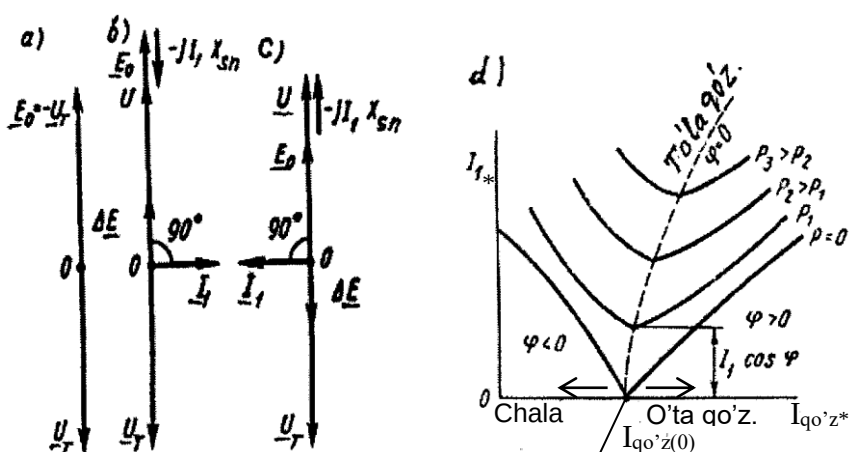
Standart bo‘yicha quvvati 160 MW gacha bo‘lgan turbogeneratorlar uchun $k_{o,yu}=1,7$; quvvati 500 MW gacha bo‘lgan turbogeneratorlar uchun $k_{o,yu}=1,6$. Quvvati 800 MW gacha va undan katta quvvatli turbogeneratorlar uchun $k_{o,yu}=1,5$ ga tengdir. Standart bo‘yicha gidrogeneratorlar uchun $k_{o,yu} = 1,7$ dan kichik bo‘lmasligi kerak.

23.4§. Sinxron generatorning reaktiv quvvatini rostlash va U-simon xarakteristikalari

Kuchlanish $U = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ va quvvat $P = \text{const}$ bo'lganda stator toki I_1 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liqligini, ya'ni $I_1 = f(I_{qo'z})$ – sinxron mashinaning U-simon xarakteristikalari deyiladi.

Quyida elektr tarmog'i bilan parallel ulangan ayon bo'lmagan qutbli SG ning salt ishlash (ya'ni $P = 0$) rejimini ko'rib chiqamiz. Generatorni tarmoqqa ulagandan so'ngra uning EYuK E_0 tarmoq kuchlanishi U_t bilan muvozanatlashadi, ularning yig'indisi esa $\underline{\Delta U} = \underline{E}_0 + \underline{U}_T = 0$ bo'ladi (22.4,a-rasm). Bu holda yakor zanjiridagi tok ham nolga teng bo'ladi, ya'ni salt ishlaydi. Agar mashinaning qo'zg'atish toki oshirilsa (o'ta qo'zg'atishda), E_0 oshadi va $\underline{\Delta U} = \underline{E}_0 + \underline{U}_T > 0$ bo'ladi. Natijada yakor zanjirida I_1 tok hosil bo'ladi (22.4,b-rasm), bu tokning vektori EYuK vektori E_0 dan 90° ga orqada qoladi. Bunda elektromagnit quvvatning aktiv tashkil etuvchi si $E_0 \cdot I \cos \psi = 0$ bo'ladi va generator faqat reaktiv quvvat ishlab chiqaradi va uni tarmoqqa beradi. Agar qo'zg'atish tokining qiymati oshirilsa reaktiv quvvatning qiymati oshadi, natijada EYuK E_0 ham ortadi. Agar $E_0 = U_T$ bo'lgan holda (22.4,s-rasm) qo'zg'atish toki kamaytirilganda EYuK E_0 ham kamayadi. Bu holda sinxron mashina chala qo'zg'atishli rejimda ishlaydi va

22.4-rasm. Aktiv yuklama $P = 0$ bo'lganda, tarmoq bilan parallel ishlayotgan ayon bo'lmagan qutbli sinxron generatorning oddiy vector diagrammalari (a, b, c) va U-simon xarakteristikalari



teskari yo'nalishdagi kuchlanishlar farqi $\underline{\Delta U}$ vujudga keladi. Shu sababli yakor toki I_1 kuchlanish U dan 90° ga orqada qolib, EYuK E_0 dan esa $\psi = 90^\circ$ oldinda keladi. Natijada reaktiv quvvat o'zining yo'nalishini o'zgartirib,

tarmoqdan generatorga uzatiladi. Qo'zg'atish tokining keyingi kamaytirilgan qiymatlarida esa yakor toki I_1 ortadi.

Shunday qilib, qo'zg'atish tokining o'zgarishi, reaktiv quvvatning o'zgarishiga olib keladi. O'ta qo'zg'atish holatida ishlayotgan generator orqada qoluvchi tok, chala qo'zg'atish holatida esa oldinda keluvchi tok bilan ishlar ekan. 22.4, d-rasmda $I_1 = f(I_{qo'z})$ bog'liqlik, ya'ni U-simon xarakteristikalarini ko'rsatilgan. Yuklanish rejimda U-simon xarakteristikalaridagi yakor tokining minimum qiymati $\cos\varphi = 1$ ga to'g'ri keladi. Generatorning tarmoqqa berayotgan aktiv quvvati P ortishi bilan U-simon xarakteristika oldingi aktiv quvvatda olingan mazkur xarakteristikadan yuqoriroqda joylasha boradi (22.4-rasm), chunki aktiv quvvatning ortishi stator tokining aktiv tashkil etuvchisini oshiradi. Bunda yakor tokining minimum nuqtalari ($\cos\varphi=1$) o'ngga tomon siljiydi. Bunga sabab, aktiv quvvatning ortishi bilan stator toki aktiv tashkil etuvchisi I_{1a} ning ortishi tufayli statoridagi $I_{1a}X_{sn}$ kuchlanish pasayishi ham ortadi. Tarmoq kuchlanish $U_T = \text{const}$ bo'lganligidan yoki oshayotgan $I_{a}X_{sn}$ kuchlanish pasayishini qoplash uchun qo'zg'atish tokini oshirib EYuK E_0 ni ham ko'paytirishga to'g'ri keladi, chunki $E_0 = U_1 + jI_{1a}X_{sn}$.

22.5§. Sinxron generatorlarning tebranishlari va asinxron rejimga o'tishi

SG ning tebranishlari. Tarmoq bilan parallel ishlayotgan SG rotoriga elastik

(egiluvchan) va inersion kuchlar ta'sir qiladi, shuning uchun sinxron mashina yuklamasining o'zgarishida θ burchagining bitta barqaror qiymatidan boshqasiga o'tishida o'zining yangi qiymati yaqinida tebranishlar yuz beradi. Burchak θ qutblar o'qining natijaviy magnit maydon o'qiga nisbatan holatiga bog'liq bo'lganligidan SG θ burchagining tebranishlari mashina rotorini va unga biriktirilgan mexanizmlarning tebranishlari bilan bog'langandir. SG da teranishlarning paydo bo'lishini quyidagicha tushuntirish mumkin. SG ning valiga qo'yilgan M moment, M_1 qiymatdan M_2 gacha keskin oshib, keyinchalik o'zgarmay qoladi, deb faraz

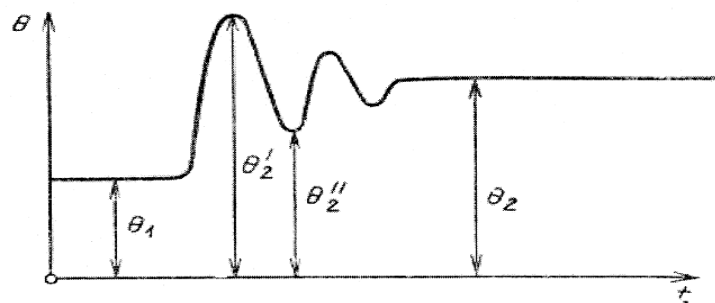
qilaylik. Momentning oshishi bilan θ burchak θ_1 dan θ_2 gacha oshishi lozim (22.5-rasm). Lekin θ burchagi oshganda sinxron mashina va mexanizmlar aylanuvchi qismlarining inersion kuchlari tufayli rotor $\theta'_2 > \theta_2$ burchakka buriladi. θ'_2 burchakda tormozlovchi ta'sir qiladigan elektromagnit moment M_2 momentdan katta bo'lganligidan rotor aylanish chastotasini sekinlashtirib, θ burchak esa kamaya boradi. Lekin bu holda ham inersiya kuchlari sababli rotor $\theta''_2 < \theta_2$ holatga o'tadi va elektromagnit moment (M_{em}) M_2 momentdan kamayadi. Bu esa rotor aylanish chastotasining oshishiga, θ burchagining esa yana o'sishiga olib keladi. Buning natijasida rotor θ_2 burchakning barqaror qiymatiga nisbatan yana bitta tebranish qiladi. Odatda SG larning tebranishlari so'nuvchi xarakterga ega bo'ladi, shuning uchun tebranishlar amplitudasi asta-sekin kamaya boradi va biror vaqt o'tishi bilan θ burchak θ_2 burchakka tenglashadi. Tebranishlarning so'nishiga quyidagilar sababchi bo'ladi, ya'ni rotor magnit maydonga nisbatan holatini o'zgartirishida uning konturlarida tok induksiyalanadi. Bu toklar mashina magnit maydoni bilan o'zaro ta'sirlashib tormozlovchi momentni vujudga keltiradi.

Tormozlovchi momentni oshirish va, demak, tebranishlarni pasaytirish uchun sinxron mashinaning qutb uchliklarida pazlar yasali ularga maxsus dempfer (tinchlantiruvchi) chulg'ami joylashtiriladi. Rotorning yuqorida ko'rib chiqilgan tebranishlarini erkin tebranishlar deyiladi.

Sinxron mashinaning erkin tebranishlar chastotasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$f_0 = [1/(2\pi)] \sqrt{(M_{\sin x} \cdot p) / J}, \quad (22.20)$$

22.5-pacm. Sinxron generatorning yuklamasi keskin o'zgarganda vujudga keladigan tebranishlar



bunda $M_{\sin x}$ – solishtirma sinxronlovchi moment; p – juft qutblar soni;

J – aylanuvchi qismlarning inersiya momenti. Odatda, sinxron generatorlarda erkin tebranishlar chastotasi $f_0 = 0,5 \div 2$ Hz.

Agar SG ning valini porshenli mashina (bug‘ mashinasi yoki ichki yonuv motori) bilan aylantirilsa (bunda tashqi moment davriy o‘zgaruvchan bo‘ladi) uning ish jarayonida erkin tebranishlardan tashqari majburiy tebranishlar ham sodir bo‘lishi mumkin. Erkin va majburiy tebranishlarning chastotalari tenglashganda rezonans hodisasi ro‘y berib, SG ning ishi mumkin bo‘lmay qoladi, chunki tebranishlarning amplitudasi tobora osha borib mashina sinxronizmdan chiqib ketadi (bu esa sinxron mashina uchun avariya holatidir). Bunday holatning oldini olish maqsadida agregatni loyihalashda uning valiga maxovik (katta massaga ega bo‘lgan doirasimon jism) o‘rnatib, inersiya momenti J ni oshirish yo‘li bilan erkin tebranishlar chastotasini o‘zgartiradilar.

SG ning asinxron rejimga o‘tishi. SG lar tarmoq bilan parallel ishlaganda ulardan ayrimlari tarmoq kuchlanishining pasayishi, qo‘zg‘atishning yo‘qolishi va boshqa sabablar tufayli sinxronizmdan chiqib ketish hollari bo‘lishi mumkin. Bunday holda SG asinxron rejimga o‘tadi, ya’ni rotor statorning aylanma magnit maydoniga nisbatan katta chastota bilan aylana boshlaydi. Buning natijasida uning konturlarida toklar vujudga keladi. Bu toklar aylanma magnit maydon bilan ta’sirlashib valda moment hosil bo‘lishiga va aktiv quvvat ishlab chiqishiga olib keladi.

Sinxron mashina sinxronizmdan chiqib ketganda (bunda qo‘zg‘atish chulg‘ami o‘zgarmas tok manbasidan ajratilib, razryad qarshiligiga ulanishi lozim), konstruksiyasiga bog‘liq bo‘lgan o‘ziga xos xususiyatlarini saqlagan holda asinxron generatorga o‘xshab ishlaydi. Bunda u faqat aktiv quvvat ishlab chiqarib, tarmoqdan esa reaktiv quvvatni oladi. Rotorning aylanish chastotasi valdagi tormozlovchi va elektromagnit momentlar teng bo‘lgunga qadar oshadi.

Odatda SG ning asinxron rejimda ishlab chiqarayotgan quvvati uning nominal quvvatidan kam bo‘ladi. Masalan, turbogeneratorlarda amalda yo‘l qo‘yiladigan quvvat nominal quvvatining $40 \div 60$ % ga teng bo‘lishligi qabul qilinadi. Chetdan sovitiladigan turbogeneratorlar asinxron rejimdagi yo‘l

qo'yiladigan ishining davomiyligi 30 minutdan oshmasligi lozim, ichi kavak o'tkazgichlarning ichidan sovitish muhitini o'tkazib to'g'ridan-to'g'ri sovitiladigan turbogeneratorlarda esa amalda yo'l qo'yiladigan quvvat nominal quvvatining 40 foizigacha, mumkin bo'lgan ishining davomiyligi –15 min.

Nosozliklar bartaraf etilgandan keyin sinxron mashina yangidan sinxronizmga o'tkazish uchun qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok berish zarur. Sinxron mashinani asinxron rejimdan sinxron rejimga o'tkazish jarayonni resinxronizatsiya deyiladi. Bu jarayon sinron generatorning yuklamasi kam bo'landa yoki salt ishlaganda tez kechadi.

Gidrogeneratorlarning asinxron rejimdagi xarakteristikalarini turbogeneratorlarnikiga nisbatan ancha yomon, shuning uchun ularni asinxron rejimda ishlatishga yo'l qo'yilmaydi.

Nazorat savollari

1. Uch fazali SG ni elektr tarmog'iga parallel ulash shartlari qanday bajariladi?
2. SG ni elektr tarmog'iga parallel ulashning qanday usullari mavjud?
3. Ayon bo'lmagan va ayon qutbli SG larning elektromagnit quvvatlarini aniqlash formulalari vektor diagrammadan qanday aniqlanadi?
4. Ayon qutbli SG ning elektromagnit momentini tahlil qiling.
5. Ayon qutbli SG aktiv quvvatining burchak xarakteristikasini tahlil qiling.
6. SG ning U-simon xarakteristikalarini va ularni tahlil qiling.

* * *

23-Bob. Sinxron motorlar va kompensatorlar

23.1§. Sinxron motorlarning ishlash prinsipi

Sinxron motorning tuzilishi umumiy holda sinxron generatorniki kabi (bunga oid ma'lumot 18.1-bobda keltirilgan) bo'lishiga qaramasdan, uning konstruksiyasida ayrim farqlar mavjuddir. Sinxron mashinalar boshqa turdagi elektr mashinalari singari, qaytuvchanlik xossaga ega, ya'ni ular generator rejimida ham, motor rejimida ham ishlashi mumkin. Lekin elektr sanoati sinxron mashinalarni aniq rejim uchun, ya'ni faqat generator rejimida yoki motor rejimida

ishlash uchun mo'ljallab ishlab chiqaradi, chunki mashina ishining mazkur rejimlardagi o'ziga xos xususiyatlari uning konstruksiyasiga har xil talablar qo'yadi.

Sinxron motorlar asosan ayon qutbli ($2p = (6 \div 24)$) qilib tayyorlanadi; havo oralig'i generatorkiga nisbatan kamroq qilinadi (bunda uning ishga tushirish toki kamayadi); ishga tushirish jarayonidagi elektromagnit momenti generatorlar momentiga nisbatan katta bo'lishi uchun ularning ishga tushirish (dempfer) chulg'ami katta toklarga mo'ljallab hisoblanadi, chunki bu chulg'am sinxron motorni ishga tushirishda asosiy vazifani bajaradi.

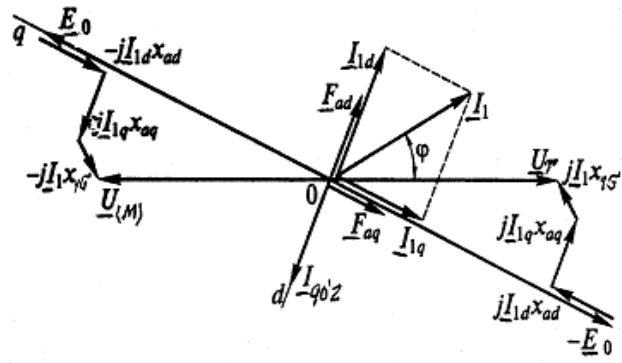
Sinxron motorlar katta quvvatli nasoslarda, ventilyatorlarda, havo haydagichlarda, kompressorlarda, sharli tegirmonlarda, prokat stanlarida va un tayyorlash tegirmonlarida foydalaniish mumkin.

Ishlash prinsipi. Sinxron mashina motor rejimda ishlashi uchun uning stator chulg'amlariga uch fazali o'zgaruvchan tok, qo'zg'atish chulg'amiga esa o'zgarmas tok beriladi. Stator chulg'amida toklar vujudga keltirgan MYuK lar aylanma magnit maydonni hosil qiladi. Bu maydon qo'zg'atish chulg'amidagi tok bilan ta'sirlashib aylantiruvchi momentni hosil qiladi va u rotorni aylantiradi. Demak, sinxron motorning stator chulg'amiga berilgan elektr energiya uning validagi mexanik energiyaga aylanar ekan. Sinxron motorlarning vektor diagrammalarini qurishda tok fazasini tarmoq kuchlanishi U_T ga nisbatan aniqlash qabul qilingan. Sinxron motor stator chulg'amiga berilgan kuchlanish $U_{(M)}$, tok I_1 va ular orasidagi vaqt bo'yicha siljish burchagi φ ma'lum bo'lganda vektor diagrammani qurish sinxron generatorki kabi amalga oshiriladi (23.1-rasmning chap tomoni). Masalan, ayon qutbli motor uchun quyidagi tenglamaga asosan quriladi (bunda katta va o'rta quvvatli sinxron mashinalar uchun stator, ya'ni yakor chulg'amining aktiv qarshiligini $r_1 = 0$ deb qabul qilingan):

$$U_{(M)} = E_0 - jI_{1d}X_{ad} - jI_{1q}X_{aq} - jI_1X_{1\sigma}. \quad (23.1)$$

Agar diagrammani tarmoq kuchlanishi U_T ma'lum bo'lganda qurilsa, unda (23.1) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$U_T = E_0 + jI_{1d} X_{ad} + jI_{1q} X_{aq} + jI_1X_{1\sigma}. \quad (23.2)$$



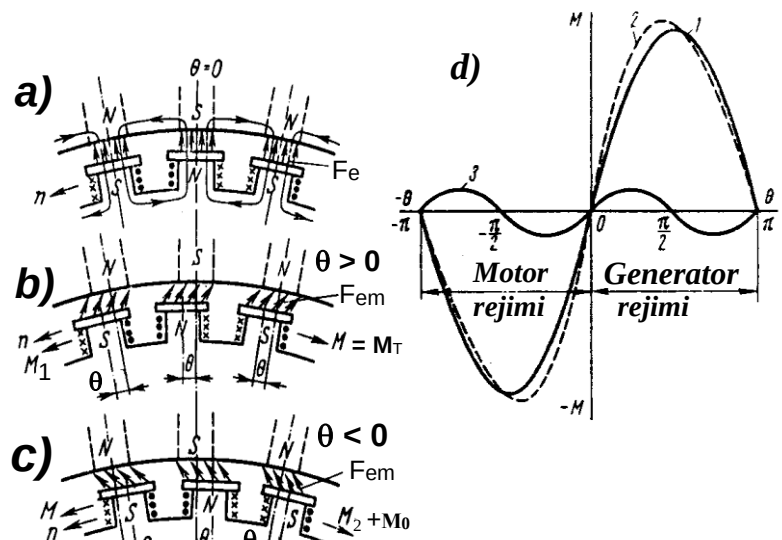
23.1-rasm. Ayon qutbli sinxron motorning o'ta qo'zg'atishli rejim uchun vector diagrammasi

(23.1) va (23.2) tenglamalarga mos keluvchi vektor diagrammalar yakor toki kuchlanishdan oldin keladigan, ya'ni o'ta qo'zg'atishli rejimi uchun 23.1-rasmda ko'rsatilgan. Bundan ko'rinishicha, sinxron motorda yakorning bo'ylama reaksiyasi o'ta qo'zg'atishli rejimda magnitsizlovchi ta'sir qiladi (chunki MYuK $\underline{F}_{ad}$ vektori qo'zg'atish MYuK vektori $\underline{F}_{qo'z}$ vektoriga teskari yo'nalgan). Shunga o'xshash holda ko'rsatish mumkinki, sinxron motorda kuchlanishdan vaqt bo'yicha orqada qoluvchi tokda yakorning bo'ylama reaksiyasi magnitlovchi ta'sir ko'rsatadi.

23.2§. Sinxron motorning burchak va U-simon xarakteristikalar

Sinxron motor elektr tarmog'idan elektr quvvat P_1 ni iste'mol qiladi. Bu quvvatning bir qismi statorda yakor chulg'amidagi elektr isroflari P'_{e1} ni va stator po'lat o'zagidagi isroflar P'_{m1} ni qoplashga sarflanadi. Elektr quvvati P_1 ning qolgan qismi magnit maydon vositasida rotorga uzatiladi. Bu quvvatga elektromagnit quvvat P_{em} deyiladi; uning bir qismi mexanik P'_{mex} va qo'shimcha $P'_{qo'sh}$ isroflarga sarflanadi, qolgan qismi esa valdagi foydali quvvat P_2 deyiladi.

23.2-rasm. Qo'zg'atish chulg'ami magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ va stator chulg'ami natijaviy magnit oqimi Φ_{nat} larning sinxron mashina salt ishlashida (a), generator (b) va motor (c) rejimlarida o'zaro ta'siri natijasida burchak θ ning hosil bo'lishi hamda motor va generator rejimlari uchun burchak xarakteristikalar



Agar statordagi quvvat isroflari e'tiborga olinmay $P_1 = P_{em} = P$ deb qabul qilinsa, ayon qutbli sinxron motor uchun elektromagnit quvvatni SG niki kabi quyidagicha yozish mumkin:

$$P = (mUE_0 / x_d) \cdot \sin(-\theta) + (mU_2 / 2) \cdot (1/x_q - 1/x_d) \cdot \sin(-2\theta) = P' + P'' \quad (23.3)$$

Ayon bo'lmagan qutbli sinxron motorda $x_d = x_q$ bo'lgani sababli P'' tashkil etuvchisi bo'lmaydi, ya'ni:

$$P = (mUE_0 / x_d) \cdot \sin\theta. \quad (23.4)$$

Agar (23.3) ni $\omega_1 = 2\pi n_1 / 60$ ga bo'lsak, u holda elektromagnit momentning formulasiga ega bo'lamiz. Ayon qutbli sinxron motor uchun:

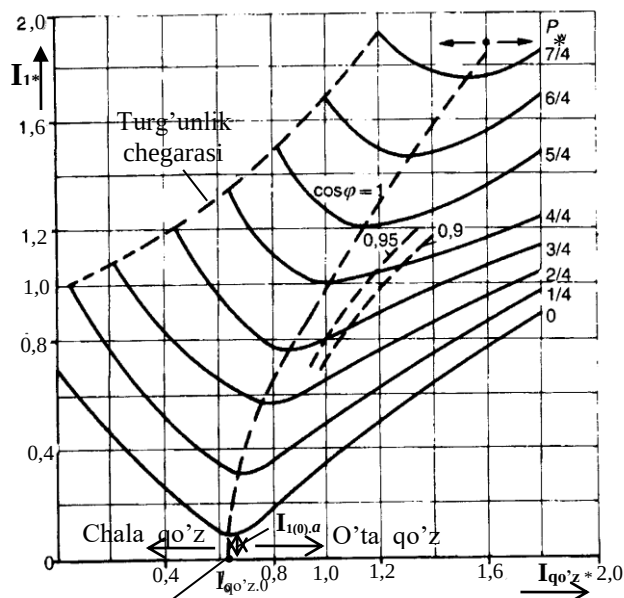
$$M = [m \cdot U \cdot E_0 / (\omega_1 \cdot x_d)] \cdot \sin(-\theta) + [m \cdot U_2 / (2\omega_1) \cdot (1/x_q - 1/x_d)] \cdot \sin(-2\theta) = M' + M'' \quad (23.5)$$

Ayon bo'lmagan qutbli sinxron motor uchun:

$$M = [m \cdot U \cdot E_0 / (\omega \cdot x_d)] \cdot \sin(-\theta). \quad (23.6)$$

23.2,d-rasmda $U_t = \text{const}$, $f_t = \text{const}$ va $I_{qo'z} = \text{const}$ bo'lganda $M=f(\theta)$ bog'liqlik, ya'ni ayon qutbli sinxron mashina elektromagnit momentining burchak xarakteristikasi ko'rsatilgan.

23.3-rasm. Sinxron motorning U-simon xarakteristikalari (bunda: $I_{1(0)a}$ va $I_{qo'z,0}$ – tegishli aktiv quvvat $P^*=0$ va EYUK $\underline{E}_{SM} = \underline{U}_t$ bo'lgandagi salt ishlash isroflarini qoplash uchun zarur bo'lgan salt ishlash tokening aktiv tashkil etuvchisi va quzg'atish tokining qiymati



Bunda motor rejimida yuklanish burchagi θ ning ishorasi manfiy bo'ladi, chunki musbat ishora generator rejimi uchun qabul qilingan. Sinxron motorda elektromagnit moment stator magnit maydoni yo'nalishiga mos bo'lsa (23.2,b-rasm), sinxron generatorda esa u momentning yo'nalishi stator magnit maydoni yo'nalishiga teskari bo'ladi (23.2,b-rasm).

Ayon qutbli sinxron motorda qo'zg'atish toki $I_{qo'z} = 0$ (demak, $E_0 = 0$) bo'lsa ham M'' tashkil etuvchi hisobiga elektromagnit moment mavjud bo'ladi. Tarmoq kuchlanishi $U_t = U_N = \text{const}$ va valdagi quvvat $P_2 = \text{const}$ chastota $f_t = f_N = \text{const}$ bo'lganda yakor toki I_1 ning qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga bog'liqligi – $I_1 = f(I_{qo'z})$ ni xarakterlovchi egri chiziqlarga motorning U-simon xarakteristikalarini deyiladi (23.3-rasm).

Qo'zg'atish tokining nominal qiymati $I_{qo'z.N}$ dan chap tomoni chala qo'zg'atish ($E_0 < U_t$) va o'ng tomoni esa o'ta qo'zg'atish ($E_0 > U_t$) hisoblanadi, yakor tokining minimum nuqtalarida esa $\cos\varphi = 1$ bo'ladi. O'ta qo'zg'atishlida sinxron motor elektr tarmog'iga reaktiv quvvat beradi, natijada tarmoqning yuklama ulangan qismida $\cos\varphi$ ning oshishiga yordam beradi. Undan tashqari, reaktiv quvvat iste'molining kamayishi elektr stansiyalardagi SG lar ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvatni, elektr uzatish liniyalarida tok va isroflarni kamaytirishga imkon beradi. Shu sababli sinxron motorlarni nominal quvvatda o'ta qo'zg'atish va $\cos\varphi_N = 0,9$ bilan ishlash uchun loyihalanadi. U-simon xarakteristikalaridagi AB punktir chiziq (23.3-rasm) sinxron motorning statik turg'unlik chegarasi hisoblanadi, bunda yuklanish burchagi $\theta = \theta_{kr}$ bo'ladi. Sinxron motorning salt ishlashi (ya'ni $P = 0$) dagi U-simon xarakteristikaning minimal nuqtasi abstsissalar o'qigacha yetib kelmaydi (sinxron generatordagi esa yetib keladi).

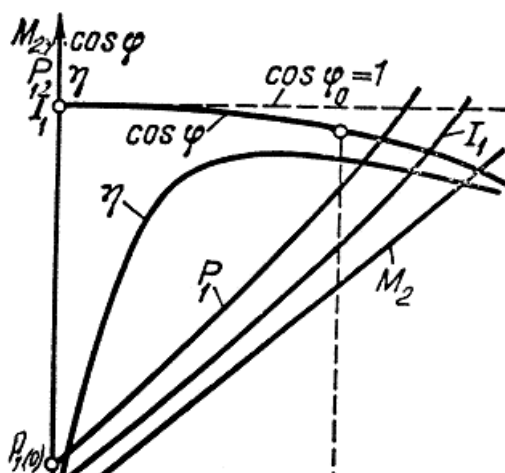
23.3§. Sinxron motorning ish xarakteristikalarini

$U_t = \text{const}$, $f_t = \text{const}$ va $I_{q0} = \text{const}$ bo'lganda sinxron motorning validagi foydali moment M_2 , elektr tarmog'idan iste'mol qiladigan quvvati P_1 , stator chulg'aming toki I_1 , FIK η va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ larning motor validagi foydali quvvatga bog'liq holda o'zgarishi, ya'ni M_2 , P_1 , I_1 , η , $\cos\varphi = f(P_2)$ bog'liqlikka sinxron motorning ish xarakteristikalari deyiladi. Bu xarakteristikalar valdagi yuk P_2 ni noldan nominalgacha o'zgartirib tekshiriladi (23.4-rasm).

Motorning aylanish chastotasi n stator chulg'amidagi tok chastotasi o'zgarmas bo'lganda $n = n_1 = 60 \cdot f_1 / p = \text{const}$ bo'lgani uchun $n = f(P_2)$ bog'liqlik absissalar o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqli ko'rinishga ega bo'ladi. $P_1 = f(P_2)$ bog'lanish yuqoriga bir oz egilgan ko'rinishda bo'ladi, chunki P_1 quvvat yakor tokining kvadrati (I_1^2) ga mutanosib bo'ladi. $I_1 = f(P_2)$ bog'lanish P_1 ning oshishi bilan o'sadi, chunki $I_1 = P_1 / (m \cdot U_1 \cos\varphi)$.

FIK ning yuklamaga nisbatan o'zgarishi $\eta = f(P_2)$ hamma elektr mashinalari uchun umumiy xarakterga ega, ya'ni sinxron motorning o'zgaruvchan va o'zgarmas isroflari teng bo'lganda FIK maksimal qiymatga erishadi. Bu qiymatdan chap tomonida magnit isroflari elektr isroflardan katta bo'lib, o'ng tomonida esa stator chulg'amidagi elektr isroflar magnit isroflardan ko'p bo'ladi. Sinxron motorlarning asinxron motorlarga nisbatan afzalliklari va kamchiliklariga quyidagilar kiradi.

Afzalliklari: Sinxron motorning $\cos\varphi = 1$ da ishlay olishi tarmoqning quvvat koeffitsientini yaxshilaydi; motorning o'lchamlari kichiklashadi, chunki sinxron motorning toki shunday quvvatli asinxron motornikiga nisbatan kamligi motorning o'lchamlarini qisqartirishga imkon yaratadi; sinxron motor maksimal



23.4-rasm. Sinxron motorning ish xarakteristikalar

momentning kuchlanishga to'g'ri mutanosibli tufayli mazkur motor kuchlanishning o'zgarishini kam sezadi; valdagi yuklamaning me'yoriy qiymatlarida qanday bo'lishidan qat'iy nazar sinxron motorning aylanish chastotasi o'zgarmas bo'ladi.

Kamchiliklari: Konstruksiyasining murakkabligi; ishga tushirishning va aylanish chastotasini rostdashning murakkabligi; qo'zg'atish chulg'amini o'zgarmas tok bilan ta'minlash uchun qo'zg'atgich yoki boshqa qurilmalarning talab etilishi; asinxron motorga nisbatan narxining qimmatligi; cho'tka-halqa qismining mavjudligi tufayli ishonchlilikning nisbatan kamligi ularning kamchiliklari hisoblanadi.

23.4§. Sinxron motorlarni ishga tushirish usullari

Sinxron motorning elektromagnit momenti stator va rotor magnit maydonlari ta'sirlashishi natijasida hosil bo'lib, rotorining va stator magnit maydonining aylanish chastotalari sinxron bo'lsa, elektromagnit moment o'zining ishorasini o'zgartirmaydi. Agarda sinxron motorning stator chulg'ami bevosita tarmoqqa ulansa, motor ishga tushib keta olmaydi, chunki rotor qo'zg'almas bo'lganda stator magnit maydonining qutblari yarim davrda rotorning bir xil qutblari bilan, davrning qolgan yarmida rotorning boshqa qutblari bilan ta'sirlashadi. Buning oqibatda momentning ishorasi o'zgaradi, hamda rotorning mexanik inersiyasi hisobiga moment rotorni yarim davrda aylantirib yubora olmaydi. Sinxron motorni ishga tushirishning quyidagi usullari mavjud: yordamchi motor vositasida, tok chastotasini o'zgartirish yo'li bilan va asinxron usulda ishga tushirish. Bu usullardan eng ko'p qo'llaniladigini asinxron usulda ishga tushirishdir.

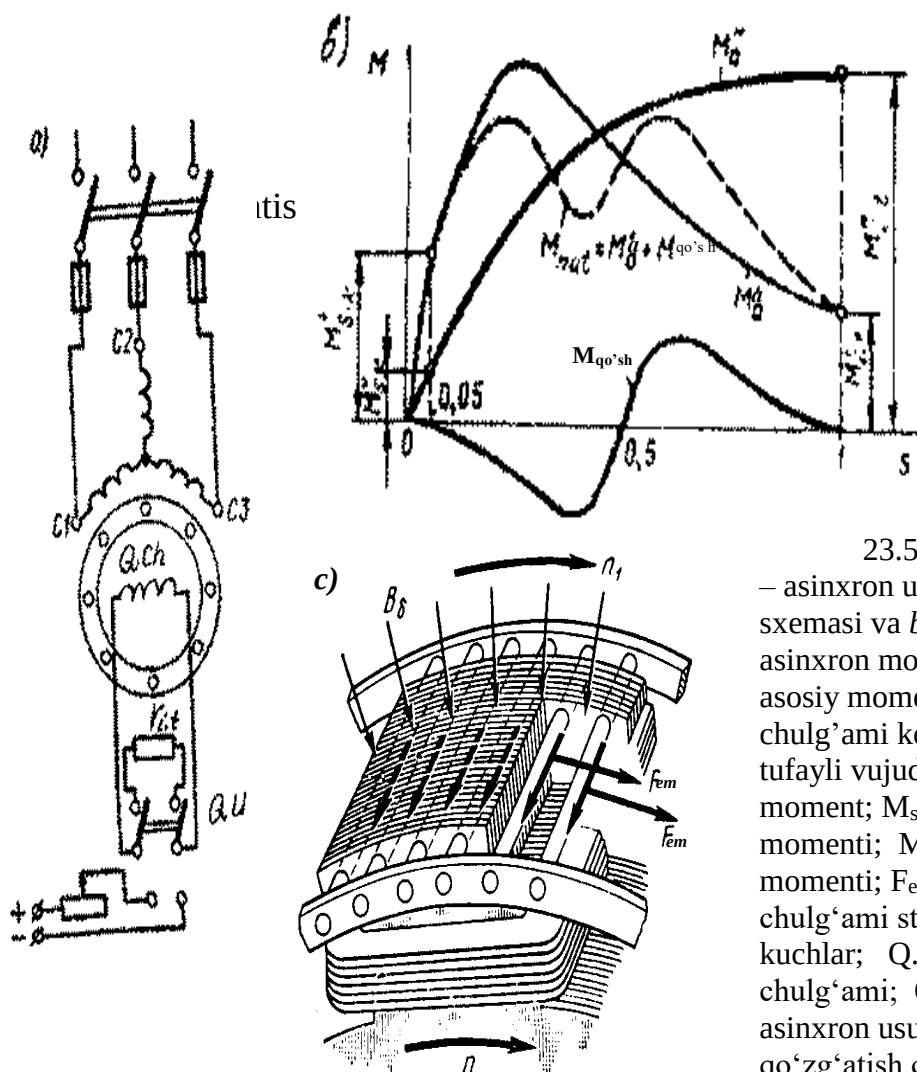
Yordamchi motor vositasida ishga tushirish. Dastlab sinxron motorning rotorini $n \approx n_N$ ga yaqin aylanish chastota bilan yordamchi motor vositasida aylantiriladi. Bunda qo'zg'atish chulg'ami o'zgarmas tok manbaiga ulangan, stator chulg'ami esa ochiq bo'lib, sinxron motor salt ishlayotgan generator rejimida ishlaydi. So'ngra generator parallel ulash shartlari bajarilgan holda tarmoqqa parallel ulanadi. Shundan so'ng yordamchi motor ajratiladi va sinxron generator motor rejimiga o'tadi. Yordamchi motor sifatida odatda qutblar soni sinxron motornikidan ikkita kam bo'lgan faza rotorli asinxron motor qo'llaniladi (bu holda sinxron motorning aylanish chastotasini sinxron chastotagacha yetkazish mumkin) va uning quvvati sinxron motor quvvati tining 10÷20 % ni tashkil etadi.

Tok chastotasini o'zgartirish yo'li bilan ishga tushirish. Bu usul chastota o'zgartirish qurilmasi bo'lgan sharoitda amalga oshirilishi mumkin. Bunday chastota o'zgartirish yordamida kuchlanish chastotasi noldan nominal qiymatgacha oshirib boriladi, natijada stator magnit maydonining aylanish chastotasi ham oshib boradi. Rotor esa aylanma magnit maydoni yo'nalishi bo'yicha nominal chastota bilan aylanadi.

Asinxron usulda ishga tushirish. Bu usul bilan sinxron motorni ishga tushirish uchun rotor qutblari uchliklarida ishga tushirish chulg'ami o'rnatilgan bo'lishi lozim. Bu chulg'am asinxron motorning qisqa tutashtirilgan chulg'amiga o'xshagan bo'ladi. Sinxron motorni asinxron usulda ishga tushirish sxemasi 23.5,a-rasmda keltirilgan. Stator chulg'ami uch fazali tok manbaiga ulanganda undan uch fazali tok o'tib, statorda aylanma magnit maydon hosil bo'ladi. Bu maydon rotordagi ishga tushirish chulg'amini kesib o'tib, unda EYuK va tok hosil qiladi. Ishga tushirish chulg'amidagi tok aylanma magnit maydon bilan ta'sirlashib elektromagnit kuch (23.5,c-rasm) va aylantiruvchi momentni hosil qiladi. Agar $M_{em} > M_t$ bo'lsa rotor aylanish boshlaydi, rotorning aylanish chastotasi stator aylanma magnit maydonining sinxron aylanish chastotasiga yaqinlashganda ($n = 0,95 \cdot n_1$) qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok beriladi. Bu tok sinxronlovchi

moment M_s ni hosil qiladi. Shu moment ta'sirida motor sinxron aylanish chastota bilan ishlay boshlaydi.

Ishga tushirish vaqtida qo'zg'atish chulg'amini ochiq qoldirib bo'lmaydi, chunki statorning aylanma magnit maydoni o'ramlar soni ko'p bo'lgan qo'zg'atish chulg'amida uning izolyatsiyasi va sinxron motorni ishga tushiruvchilar uchun juda xavfli bo'lgan katta qiymatli EYuK hosil qiladi. Shuning uchun sinxron motorni ishga tushirishda uning qo'zg'atish chulg'ami o'z qarshiligidan taxminan 10 marta katta bo'lgan aktiv qarshilikga ($r_{i,t} \approx 10 r_{qo'z}$) ulangan bo'lishi lozim.



23.5–rasm. Sinxron motorni: *a* – asinxron usulda ishga tushirish sxemasi va *b* – ishga tushirishdagi asinxron momentlar, bunda: M_a – asosiy moment; $M_{qo'sh}$ – qo'zg'atish chulg'ami konturida bir o'qli effect tufayli vujudga keladigan qo'shimcha moment; $M_{s,k}$ – sinxronizmga kiritish momenti; $M_{i,t}$ – ishga tushirish momenti; F_{em} – ishga tushirish chulg'ami sterjenlaridagi elektromagnit kuchlar; $Q.Ch$ – qo'zg'atish chulg'ami; QU – qayta ulagich; $r_{i,t}$ – asinxron usulda ishga tushirishda qo'zg'atish chulg'amiga ulanadigan aktiv qarshilik.

umkin emas, chunki bu holda u nosimmetrik bo'lgan bir fazali konturni hosil qiladi. Bu kontur qo'shimcha momentni hosil qilib, sinxron motorning mexanik xarakteristikasida aylanish chastotasining $n = n_s / 2$ ga yaqin qiymatida aylantiruvchi momentning kamayishiga olib keladi (23.5,b-rasm). Buning oqibatida rotor aylanish chastotasi sinxron qiymatigacha yeta olmasligi ham mumkin.

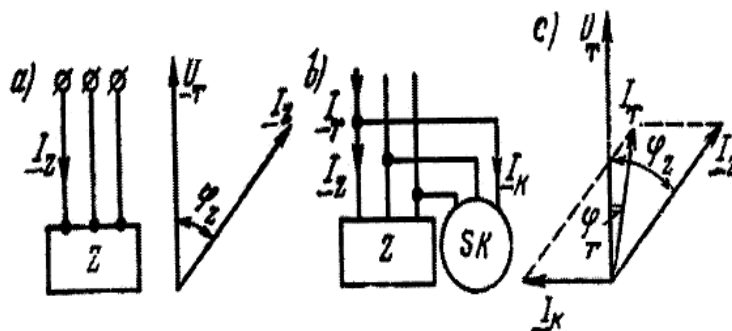
Agar sinxron motor ulanadigan tarmoqning quvvati nisbatan kam bo'lsa, motorni asinxron usul bilan ishga tushirishda ishga tushirish tokening ta'siridan tarmoqda juda katta kuchlanish pasayishi hosil bo'ladi. Bunday holda ishga tushirish tokini kamaytirish uchun sinxron motor tarmoqqa avtotransformator, reaktor yoki tokni cheklaydigan boshqa qurilmalar yordamida ulanadi.

23.5§. Sinxron kompensator va uning elektr ta'minoti tizimida quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ ni yaxshilashi

Sinxron kompensator elektr ta'minoti tizimida reaktiv quvvatni rostlovchi sinxron mashina bo'lib, u asosan asinxron motorlar va transformatorlar tarmoqdan oladigan reaktiv quvvatni kompensatsiyalash uchun xizmat qiladi. Valida mexanik yuklamasi bo'lmagan salt ishlayotgan sinxron motorga sinxron kompensator deyiladi. Uning qo'zg'atish toki nominal qiymatdan katta bo'lganda elektr tarmog'iga kuchlanishdan oldinda keluvchi reaktiv tok beradi va elektr tarmog'ining quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ ni oshiradi (23.6-rasm). Elektr energiyasi uzoq masofaga uzatilganda elektr uzatish liniyasida induktiv yuklama katta bo'lganligi uchun liniya oxirida kuchlanish ancha pasayadi, yuklama kamayganda esa liniyaning sig'im qarshiligi ta'sirida kuchlanish nominal qiymatdan ancha katta bo'ladi. Liniyaning yuklamasi katta bo'lganda sinxron kompensator kattaroq qo'zg'atish toki bilan, yuklama kamayganda esa kichikroq qo'zg'atish toki bilan ishlab elektr tarmog'ining oxirida kuchlanishni $U_T = \text{const}$ bo'lishini ta'minlaydi. Bunda qo'zg'atish toki avtomatik usulda rostlab turiladi. Demak, sinxron kompensatorlar kuchlanishning o'zgarmas holda qolishini ta'minlash uchun ham

ishlatilar ekan. Bunda tarmoqdan o'tuvchi reaktiv tokning qiymati kamayadi, bu esa quvvat isrofini kamaytiradi.

23.6-rasm. Quvvat koeffisientini oshirish uchun sinxron kompensatorning ishlatilishi



Sinxron kompensator induktiv (orqada qoluvchi) tokining eng katta qiymati qo'zg'atish toki nolga teng bo'lganga to'g'ri keladi, sig'imiyl (oldinda keluvchi) tokining me'yoriy qiymati kompensator aktiv qismlarining qizishi bilan chegaralanadi. Odatda, oldinda keluvchi tokning keyinda keluvchi tokka nisbati $1,5 \div 2$ bo'ladi. Kompensatorning quvvati eng katta oldinda keluvchi tok bilan aniqlanadi. Sinxron kompensatorlarda θ burchagi nolga yaqin bo'ladi, rotorlari ayon qutbli, aylanish chastotasi esa $750 \div 1000$ ayl/min bo'ladi. Sinxron kompensatorlarda ham sinxron motorlarga o'xshagan ishga tushirish chulg'ami bo'lib, u qutblar uchida joylashgan bo'ladi va asinxron usulda ishga tushiriladi. Yuklama momenti nolga teng bo'lgani uchun sinxron kompensatorlarning ishga tushirilishi yengil kechadi. Sinxron kompensatorning U-simon xarakteristikasi asosiy ish xarakteristikasi hisoblanadi. Bu xarakteristika sinxron motorning $P = 0$ dagi U-simon xarakteristikasi kabi bo'ladi-yu, lekin uning minimum nuqtasidagi tokning aktiv tashkil etuvchisi $I_{1(0)a}$ 23.3-rasmdagiga nisbatan kamroq bo'ladi. Bunga sabab, rotor konstruksiyasining sinxron motornikidan quyidagilar bilan farqidir, ya'ni: valining yuklama ulash uchun chiqib turadigan qismi bo'lmasligi, undan tashqari, valning diametri nisbatan kamroq qilib tayyorlanishi; sinxron kompensatordan o'ta yuklanish qobiliyati talab qilinmaganligidan uning maksimal momenti M_{max} ni havo oralig'ini kamaytirish hisobiga pasaytirilishi (bunda x_d oshadi), bu esa, qo'zg'atish chulg'ami o'lchamlarini kamaytirishga imkon beradi. Bularning hammasi sinxron kompensator gabaritlarini kamaytirishga olib keladi.

Sinxron kompensator ishlab chiqaradigan reaktiv quvvatining qiymati qo'zg'atish tokiga bog'liq bo'ladi. O'ta qo'zg'atish rejimida ishlayotgan

kompensator tarmoq kuchlanishidan oldinda keluvchi tok bilan ishlab, tarmoqqa reaktiv quvvatni beradi. Chala qo'zg'atish rejimida esa tarmoq kuchlanishidan orqada qoluvchi tok bilan ishlab, tarmoqdan reaktiv quvvatni iste'mol qiladi. Liniyaning quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ ni oshirish uchun sinxron kompensator o'ta qo'zg'atish rejimida ishlashi kerak. Qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ shunday rostlanishi kerakki, bunda yakor toki I_1 tarmoq kuchlanishi U_t dan 90° oldinda kelishi va yuklama toki I_{yu} ning reaktiv tashkil etuvchisi $I_{yu,r}$ ga teng bo'lishi kerak, natijada tarmoq faqat yuklama tokining aktiv tashkil etuvchisi bilan yuklanadi, ya'ni $I_t = I_{yu,a}$. Tarmoq kuchlanishini $U_T = \text{const}$ qilib turish uchun, sinxron kompensatorning EYuK $E_0 = U_t$ bo'lishi lozim. Agar tarmoq kuchlanishi sinxron kompensator ulangan joyda nominal qiymatidan katta, ya'ni $U_t > U_{t,N}$ bo'lsa, u holda sinxron kompensator tarmoqni orqada qoluvchi reaktiv tok bilan yuklaydi. Sinxron kompensatorning quvvati katta bo'lsa, tarmoq kuchlanishining tebranishi $0,5 \div 1\%$ dan oshmaydi.

Sinxron kompensatorlar asosan ayon qutbli mashina bo'lib, quvvati $2,8 \text{ MV}\cdot\text{A}$ dan $160 \text{ MV}\cdot\text{A}$ gacha, aylanish chastotasi esa 750 ayl/min yoki 1000 ayl//min bo'ladi. Ta'kidlash lozimki, so'nggi vaqtlarda MDH mamlakatlarida (Rossiya, Ukraina) rotorining konstruksiyasi ayon bo'lmagan qutbli sinxron mashina (turbogenerator) asosida quvvati $320 \text{ MV}\cdot\text{A}$ bo'lgan bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli kompensator ishlab chiqilgan va samarali ishlatilmoqda.

Nazorat savollari

1. Sinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipini so'zlab bering.
2. Sinxron motorni qanday ishga tushirish usullarini bilasiz?
3. Sinxron motorning ish xarakteristikalarini tushuntirib bering.
4. Sinxron motorning burchak va U-simon xarakteristikalarini tahlil qiling.

* * *

24-Bob. Sinxron mashinalarning istiqbolli turlari

24.1§. Krioturbogenerator.

Uning rotorini suyuqlangan geliy bilan sovutilgan kriostatdan iborat bo'ladi. Qo'zg'atish chulg'amida tok zichligi 100 A/mm^2 mashinaning havo oralig'idagi induksiya esa $1,3 \div 1,5 \text{ T}$ ga yetadi. Bunday induksiyalarda kriogenerator statori tishsiz qilib tayyorlanadi. Stator chulg'ami suv bilan sovutiladi. Krioturbogeneratorlar hozirgi vaqtda ishlab chiqarish bosqichida tajriba sinovlaridan o'tkazilmoqda.

Asinxronlashtirilgan turbogeneratorlar (ASTG). Turbogeneratorlarning quvvati oshgan sari ularning parametrlari yomonlasha boradi; bu hol esa energetika tizimining ekspluatatsiya shartlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Reaktiv qarshiliklar qiymatlarining oshishi, generatorlarning inersiya momentlarining kamayishi, hamda elektr uzatish liniyalari (EUL) uzunligining va ular orqali uzatiladigan quvvatlarning oshishi elektr tizimlarining dinamik turg'unligini pasaytiradi. Energetika tizimida aktiv yuklamaning kamaygan soatlarida ortiqcha reaktiv quvvatning hosil bo'lishi EUL da me'yordan ortiq kuchlanishning oshishi vujudga keladi. Sinxron generatorlar katta qiymatli reaktiv quvvatni iste'mol qilish rejimida, hatto kuchli ta'sir qiluvchi regulyatorlar bo'lganda ham turg'un ishlay olish qobiliyatiga ega emaslar.

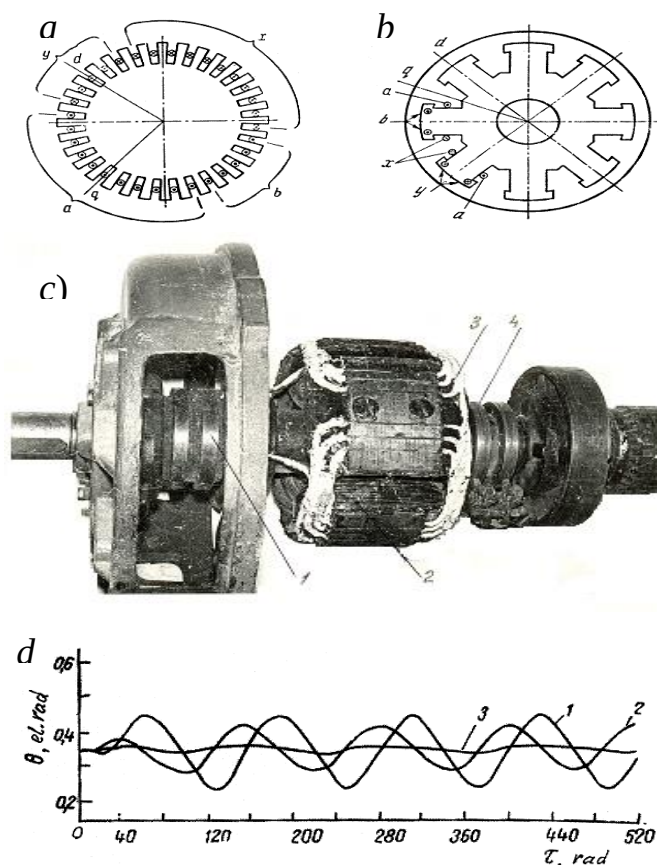
Agar EUL da magnitlanish o'qi buriladigan sinxron turbogeneratorlar (shu jumladan, ASTG lar) qo'llanilsa, yuqorida ko'rsatilgan muammolarni echishda katta ijobiy natijalar olinadi. ASTG ning odatdagi sinxron generatorlardan farqi shuki, uning rotorida biri-biridan fazoda 90° burchakka siljigan ikki fazali qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilgan bo'lib, ular boshqariladigan statik o'zgartgichga ulanadi. Ikki fazaga alohida o'zgarmas tok berib ishlatilsa, ASTG odatdagi sinxron rejimda ishlaydi. Bunday rejimda ishlaydigan sinxron generatorlarni ikki o'qi bo'yicha qo'zg'atishli yoki bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli sinxron mashinalar deyiladi.

24.2§. Magnitlanish o'qi buriladigan sinxron mashinalar

Bo'ylama – ko'ndalang qo'zg'atishli sinxron mashinalar. Bunday sinxron mashinalarning stator tuzilishi an'anaviy sinxron mashinalarnikidan farq qilmaydi. Sinxron mashina rotoridagi tinchlantiruvchi (generator rejimida) yoki

ishga tushirish chulgʻami (motor rejimida) oʻrniga ikki yoki m fazali qoʻzgʻatish chulgʻami joylashtiriladi. Quyida ikki fazali, chulgʻami boʻlgan ayon boʻlmagan va ayon qutbli rotorning tuzilishini koʻrib oʻtamiz. Boʻylama va koʻndalang oʻqlari boʻyicha qoʻzgʻatiladigan sinxron mashinaning rotor ayon boʻlmagan qutbli boʻlsa, simmetrik ikki fazali qoʻzgʻatish chulgʻami rotor pazlariga xuddi yakor chulgʻami yoki faza rotorli asinxron motorning rotor chulgʻami kabi oʻralgan boʻladi. Agar ikki chulgʻam "ax" va "by" lar har xil boʻlsa, yaʼni nosimmetrik boʻlsa, ular har xil hajmni egallaydi. 24.1,a-rasmda "ax" chulgʻam umumiy pazlarning $\frac{3}{4}$ qismini, «by» chulgʻam esa $\frac{1}{4}$ qismini egallagan bir qatlamli ayon boʻlmagan qutbli rotorning chulgʻamlari koʻrsatilgan. Ayon boʻlmagan qutbli boʻylama va koʻndalang oʻqlari boʻyicha qoʻzgʻatiladigan sinxron mashinalarda boʻylama oʻqi "ax" qoʻzgʻatish chulgʻamining oʻqi boʻyicha yoʻnalgan boʻlib, uning musbat yoʻnalishi "ax" chulgʻamning magnit oqimi bilan bir xilda yoʻnalgan boʻladi. Koʻndalang oʻq «q» esa "by" qoʻzgʻatish chulgʻami oʻqi boʻyicha yoʻnalgan boʻladi. Shu sababli "ax" qoʻzgʻatish chulgʻamini – boʻylama, "by" qoʻzgʻatish chulgʻamini esa koʻndalang qoʻzgʻatish chulgʻamlari deyiladi.

Boʻylama-koʻndalang oʻqlari boʻyicha qoʻzgʻatiladigan sinxron mashinaning rotor ayon qutbli boʻlsa, u holda qoʻzgʻatish chulgʻamlari "ax" va "by" larni bir xil, yaʼni simmetrik qilish mumkin emas. Asosiy boʻylama qoʻzgʻatish chulgʻami "ax" xuddi oddiy sinxron mashinalardagi qoʻzgʻatish chulgʻami kabi joylashtiriladi, qoʻshimcha koʻndalang chulgʻami "by" esa dempferlovchi (motor rejimida «ishga tushiruvchi») chulgʻam oʻrnida joylashtiriladi (24.1,b-rasm) va bu chulgʻamning MYuK asosiy chulgʻam MYuK ning $15 \div 20$ % ni tashkil etishi mumkin. Bunday sinxron mashinalarning ishlash prinsipi oddiy sinxron mashinanikidan farq qilmaydi, faqatgina oʻtish jarayonlar vaqtida koʻndalang qoʻzgʻatish chulgʻami "by" ishga tushiriladi. Ikkala qoʻzgʻatish chulgʻamiga ham oʻzgarmas tok manbasidan kuchlanish beriladi. Bu mashinalar motor, generator,



24.1-rasm. Quzg'atish chulg'amlari "ax" va "by" har xil bo'lgan ayon bo'lmagan qutbli rotor (a), damfer chulg'ami o'rniga kundalang qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilgan 8 qutbli (b) va 4 qutbli (c) ayon qutbli rotorlar (4 qutbli modelda: bo'ylama (2) va ko'ndalang (3) qo'zg'atish chulg'amlari; 4 va 1 – mos ravishda ularga tegishli kontakt xalqalar) hamda majburiy va erkin yebanishlar chastotalari $\omega_{maj} \approx \omega_{xus}$ bo'lgandagi yuklanish burchagi θ ning tebranishlarini rostlash natijalari, d- rasmda: 1 – tebranishlar co'ndirilmagan hol; 2 – faqat bo'ylama o'qi bo'yicha rostlanganda burchak θ ning tebranishlari nisbatan kamayadi, lekin to'la so'ndirib bo'lmaydi; $U_{qo'z(0)d} = \text{const}$ bo'lib, ko'ndalang qo'zg'atish MYuK bilan rostlashda esa (3) mazkur tebranishlarni deyarli to'la so'ndirish imkoniyati bo'ladi hamda mashinani boshqarish yaxshilanadi.

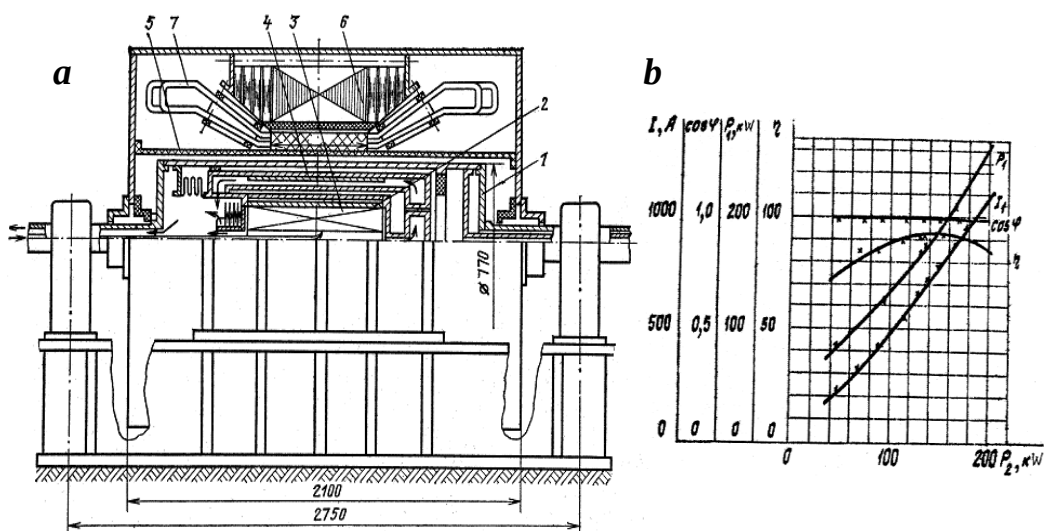
sinxron kompensator rejimlarida ishlashi mumkin. Bo'ylama-ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinalarning ekspluatatsion xarakteristikalarini magnitlanish o'qi burilishi tufayli an'anaviy sinxron mashinalarnikidan afzal bo'ladi, chunki yakor reaksiyasining ta'siri ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami MYuK tomonidan kompensatsiyalanadi. Natijada, qo'shimcha ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami MYuK ning ijobiy ta'siri tufayli mashinaning statik va dinamik turg'unligi oshadi, erkin va majburiy tebranishlar chastotalari tenglashgan holda rezonans hodisalaridagi mashina parametrlarining katta amplituda bilan tebranishlarini (24.1,d-rasm) so'ndirish imkoni tug'iladi.

Hozirgi vaqtda Ukrainada Rossiya hamkorligida quvvati 320 MV·A bo'lgan bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli ayon bo'lmagan qutbli sinxron kompensator ishlab chiqarilgan va samarali ishlatilmoqda.

Asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar. Agar sinxron mashinada bir-biriga perpendikulyar bo'lgan ikkita qo'zg'atish chulg'ami bo'lib, ularga ikki fazali o'zgaruvchan kam chastotali kuchlanish manbai ulansa, u holda bu chulg'amlardan sinusoidal toklar o'tadi va qo'zg'atish chulg'amida magnitlanish o'qi buriladigan MYuK va aylanma magnit maydonini hosil qiladi. Bu maydon rotorga nisbatan kam qiymatli sirpanish bilan aylanadi. Shu sababli, bunday mashinalarni asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar deyiladi. Bunday mashinalarning tuzilishi va ishlash prinsipi bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinalarniki kabi bo'ladi, ammo qo'zg'atish chulg'amlariga barqaror ish jarayonida o'zgarmas tok berilsa, o'tish jarayonlarda esa bu chulg'amlarga o'zgaruvchan chastotali kuchlanish beriladi. Bu mashinalar ham motor, generator va sinxron kompensator rejimlarida ishlashi mumkin. Bu mashinalarning xarakteristikalarini (sinxron ish rejimida) va ko'ndalang qo'zg'atish chulg'amining roli ham xuddi bo'ylama-ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan mashinalarniki kabi bo'ladi. Hozirgi vaqtda Ukrainaning Burshtinsk IES da ikkita 200 MW li ikki o'qi buyicha qo'zg'atishli asinxronlashtirilgan turbogenerator ishlab turibdi. Ta'kidlash lozimki, Rossiyada Ukraina bilan hamkorlikda quvvati 800 MW bo'lgan asinxronlashtirilgan turbogeneratorning loyihasi ustida ham ishlar olib borilmoqda.

24.3§. O'ta o'tkazuvchan qo'zg'atish chulg'amli sinxron mashinalar

Hozirgi vaqtda qo'zg'atish chulg'amlari o'ta o'tkazuvchan materiallardan tayyorlangan sinxron mashinalarga bo'lgan qiziqish oshib bormoqda. Ayrim metallar absolyut nul temperaturada o'ta o'tkazuvchanlik kuzatiladi. O'ta o'tkazgichlarning qarshiligi amaliy jihatdan nulgacha teng. Bu holda ma'lum bir kritik temperatura va magnit induksiya hamda kritik tok zichligi saqlanadi. Hozirgi vaqtda sanoat maqsadlari uchun niobiy va titan yoki niobiy va qalay qotishmalaridan tayyorlangan o'ta o'tkazuvchan materiallar foydalanilmoqda.



24.2-rasm. Quvvati 1200 kW, 3000 ayl/min bo'lgan o'ta o'tkazgich qo'zg'atgich chulg'amli turbogenerator (a): 1 – rotor; 2 – qo'zg'atish g'altagi (3) ni siqib turuvchi rotor bandaji; 4 – ekran; 5 – shisha plastikdan tayyorlangan vacuum idish; 6 – elektrotexnik po'lat plastinkalardan yig'ilgan stator; 7 – mis o'tkazgichning ichidan suv bilan sovutiladigan stator chulg'ami ; e) – quvvati 200 kW, 3000 ayl/min bo'lgan o'ta o'tkazgich qo'zg'atgich chulg'amli turbogeneratorning yuklama bilan ishlashidagi xarakteristikasi

Bunday o'tkazuvchan materiallar uchun kritik temperaturaning qiymati $4,2 \div 5$ K, kritik tok zichligi 1000 A/mm^2 , kritik magnit induksiyasi $4 \div 7 \text{ T}$ ga teng. Elektr mashinalari chulg'amlari uchun o'ta o'tkazuvchan materiallarni qo'llash kichik kesim yuzasidan juda katta tok o'tkazib kuchli magnit maydonni hosil qilishga va chulg'amning massasini kamaytirishga imkoniyat yaratadi. O'ta o'tkazuvchan materiallar asosan o'zgarmas tok manbasiga ulanadigan mashinalarning qo'zg'atish chulg'amlari o'rnida ishlatildi (24.2-rasm). Ularning o'zgaruvchan tok oqadigan chulg'amlar o'rnida ishlatish texnik jihatdan mumkin, lekin elektr isroflar va juda kichik kritik toklar bo'lgani uchun qulay hisoblanmaydi. Shuning uchun hozirgi vaqtda sinxron va o'zgarmas tok mashinalari qo'zg'atish chulg'amlari uchun ishlatiladigan o'ta o'tkazuvchan materiallarni yaratish ustida ishlar olib borilmoqda.

Qo'zg'atish chulg'ami o'ta o'tkazuvchan materialdan tayyorlangan bo'lsa, kritik temperaturada bu materialni tutib turish uchun maxsus sovitish qurilmasi ichiga solish kerak. Bunday sovitish qurilmasiga kriostat deyiladi. Kriostat Dyuar idishi bo'lib, uning ichida qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilib

suyuq geliy bilan sovutilib turadi. Issiqlikni kamaytirish maqsadida bu idish azot bilan to'ldirilgan boshqa idish ichiga joylashtiriladi. Sinxron mashinalarda kriostat rotorda joylashtiriladi, o'zgarmas tok mashinalarda esa kriostat statorda joylashtiriladi.

O'ta o'tkazuvchan materialdan bo'lgan chulg'anda kuchli magnit maydoni hosil bo'lgani uchun, odatdagi magnit o'tkazgichni ishlatsa magnit isroflar ancha ko'payib ketadi, va shu sababli, yakor chulg'ami joylashtirilgan muhit pazzisiz yoki nomagnit materialdan yasaladi, natijada mashinaning og'irligi kamayadi va o'lchamlari kichiklashadi. Ferromagnit po'lat o'zakning bo'lmasligi esa mashinaning xarakteristikalariga yakor reaksiyasining ta'siri sezilarsiz bo'ladi. Oddiy mashinalarga qaraganda o'ta o'tkazuvchan chulg'amli mashinalarda havo oralig'ida magnit induksiyasining qiymatini $3\div 4$ marta, chizig'iy yuklamani esa $1\div 2$ marta oshirish mumkin bo'ladi, natijada mashinaning aktiv hajmi $4,5\div 8$ martagacha kichiklashadi.

Elektr mashinalarida o'ta o'tkazuvchan materiallardan tashqari krioo'tkazuvchan materiallarni ham qo'llash ustida izlanishlar olib borilmoqda. Bunday material juda kuchli sovutilganda o'zining qarshiligini kamaytiradi, lekin o'ta o'tkazuvchanlik xossaga ega bo'lmaydi. Krioo'tkazuvchan materialga tozalangan alyuminiy misol bo'ladi. Alyuminiy 20 K temperaturada o'zining qarshiligini 104 marta kamaytiradi. Krioo'tkazuvchan materiallarni transformatorlar chulg'amlarini tayyorlash uchun ham ishlatish mumkin.

24.4§. Katta quvvatli istiqbolli sinxron mashinalar

Turbogeneratorlar. Hozirgi vaqtda elektr mashinasozligidagi muammolardan biri katta quvvatli elektr mashinalarini yaratishdir. Bu muammoni amalga oshirish uchun elektr mashinasozligida sifatli elektrotexnik va konstruksion materiallarni va effektiv sovitish tizimlarini qo'llash lozim bo'ladi. Bu sohada turli xorijiy va MDH mamlakatlarida katta tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Hozirgi vaqtda Rossiyada quvvati 500 va 800 MW, aylanish chastotasi 3000 ayl/min bo'lgan turbogeneratorlarni ishlab chiqarish yo'lga qo'yilgan. 1976 yildan buyon Rossiyada quvvati 1200 MW bo'lgan ikki qutbli turbogenerator Kostroma IES da

ishlatib kelinmoqda. Bu turbogene-ratorning stator chulg'ami bevosita suv bilan, rotor chulg'ami esa vodorod bilan sovutiladi. Xuddi shuningdek GFR va Shveytsariya davlatlarida quvvati 1200 MV·A bo'lgan ikki qutbli turbogenerator, AQSh da esa quvvati 1200 MV·A bo'lgan ikki qutbli turbogenerator va quvvati 1120 MV·A bo'lgan ikki qutbli turbogeneratori yaratilgan. AES da qo'llaniladigan quvvati 500 MW bo'lgan to'rt qutbli turbogeneratori Rossiyada yaratilgan bo'lib, uning chulg'amlari suv bilan sovutiladi. Xuddi shuningdek Rossiyada quvvati 1000 MW bo'lgan to'rt qutbli turbogeneratori ham yaratilib, uning stator chulg'ami suv bilan rotor chulg'ami esa vodorod bilan sovutiladi. Fransiyada esa eng katta quvvatli 1480 MW, GFR da esa quvvatlari 1360 va 1200 MW bo'lgan to'rt qutbli turbogeneratorlari yaratilgan. Xuddi shunday quvvatli to'rt qutbli turbogeneratorlar AQSh da ham tayyorlangan. Hozirgi vaqtda Rossiyada chulg'amlari suv bilan sovutiladigan quvvati 800 MW aylanish chastotasi esa 3000 ayl/min bo'lgan ikkita ikki qutbli turbogenerator ishlatilmoqda.

Gidrogeneratorlar. Keyingi vaqtlarda Rossiyada Krasnoyarsk GES uchun quvvati 590 MV·A, aylanish chastotasi 90 ayl/min va Sayano-Shushensk GES uchun esa quvvati 711 MV·A, aylanish chastotasi 142 ayl/min bo'lgan gidrogeneratorlar yaratilgan bo'lib, stator chulg'ami suv bilan rotor chulg'ami esa havo bilan sovutiladi. Bundan tashqari Nurek GES (Tojikiston) uchun ishlab chiqarilgan, quvvati 353 MV·A, aylanish chastotasi 200 ayl/min bo'lgan gidrogenerator ishlatilmoqda. Generatorning stator va rotor chulg'amlari suv bilan, stator po'lat o'zagi esa havo bilan sovutiladi. Rogun GES (Tojikiston) uchun quvvati 667 MV·A, aylanish chastotasi 167 ayl/min bo'lgan va stator hamda rotor chulg'amlari suv bilan sovutiladigan gidrogeneratorlar yaratilgan.

24.1-jadvalga izoh: « – » ishora ma'lumot noma'lum ekanligini bildiradi.

Shvetsiyada quvvati 190 MV·A, aylanish chastotasi 375 ayl/min bo'lgan gidrogeneratori yaratilgan. Agarda bu generator faqat suv bilan sovutilsa uning quvvatini 1000 MW ga oshirish mumkin bo'lar ekan. Eng katta quvvatli gidrogeneratorlarning ayrim parametrlari 24.1-jadvalda keltirilgan.

24.1-jadval

Generatorlarning turi	Alstom, Fransiya	Vestingauz, AQSh	Toshiba Xitachi	Elektro- sila, Rossiya	UETM, Rossiya; Simens FRG
Šuvvati, MV·A/MW	500 / 475	615/600	700/630	711/640	353/300
Aylanish chastotasi, ayl/min	200	72	112,5	142,8	200
Kuchlanishi, V	15	15	18	15,75	15,75
Stator chulg‘amini sovitish tizimi	havo	havo	havo	suv	suv
Rotor chulg‘amini sovitish tizimi	havo	havo	havo	havo	suv
Quvvat koeffitsienti FIK, %	0,95 —	0,95 98,37	0,9 98	0,9 98,3	0,85 98,3

Sinxron kompensatorlari. Hozirgi vaqtda Rossiyada vodorod bilan sovitiladigan quvvati 160 MV·A bo‘lgan sinxron kompensatorlarini ishlab chiqarish yo‘lga qo‘yilgan. Suv bilan sovitiladigan 350 MV·A quvvatli sinxron kompensatorlarni ishlab chiqarish bo‘yicha tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Shvetsiyadagi firmalardan birida suv bilan sovitiladigan quvvati 345 MV·A, aylanish chastotasi 900 ayl/min bo‘lgan sinxron kompensator yaratilgan.

Nazorat savollari

1. Bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha qo‘zg‘atiladigan sinxron mashinalarning tutuzilishi va ishlash prinsipini tushuntirib bering.
2. Asinxronlashtirilgan sinxron mashinaning tuzilishi va ishlash prinsipi qanday?
3. O‘ta o‘tkazuvchan chulg‘amli sinxron mashinani tuzilishi va o‘ziga xos xususiyatlari qanday?
4. Katta quvvatli istiqbolli sinxron mashinalar haqida ma’lumot bering.

* * *

25-Bob. Maxsus maqsadli sinxron mashinalar.

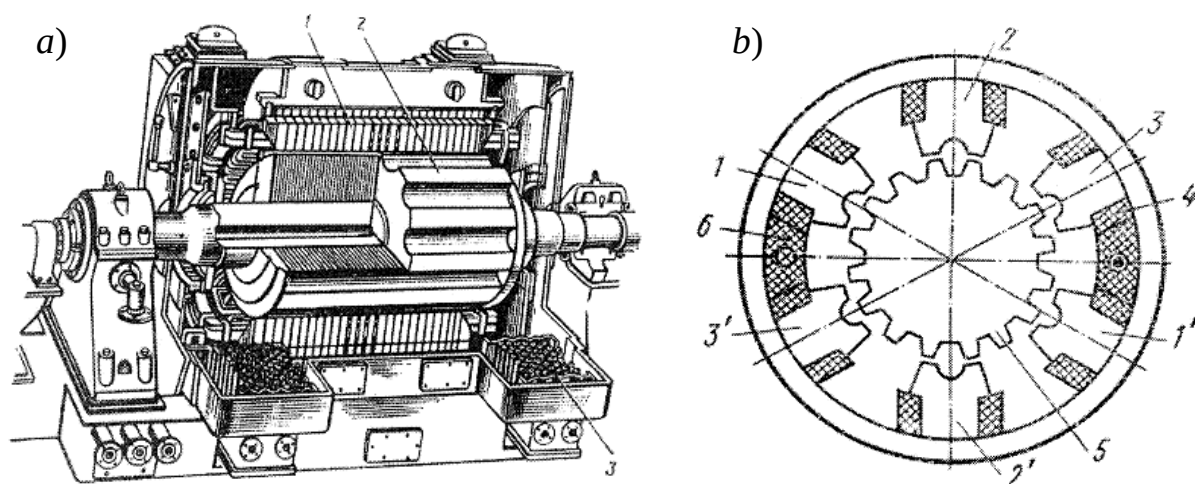
25.1§. Induktorli generatorlar

Induktorli generatorlar sinxron generatorning ko‘rinishlaridan biri hisoblanib, juda katta chastotali EYuK ga ega bo‘ladi. Yuqori chastota ($1000 \div 10000$ Hz) xo‘jalik turlarining ko‘pgina sohalarida, shuningdek, induksion qizdirishda, metallarni elektr yoyi bilan eritishda, elektr payvandlashda, detallarni yuqori chastotali elektr energiya bilan qizdirib ishlov berishda, yuqori tezlikli elektr yuritmalarda va boshqalarda ishlatiladi.

An‘anaviy sinxron generatorning yakor chulg‘amida hosil bo‘ladigan EYuK ning chastotasi $f = pn/60$ bilan aniqlanadi. Chastota f ni, aylanish chastota n ni oshirish hisobiga ko‘paytirish mumkin, lekin uni rotorning mexanik mustahkamligi cheklab qo‘yadi. Juft qutblar sonini ko‘paytirib, chastotani oshirishda esa qutb bo‘linmasining o‘lchamlari o‘zgaradi. Shuning uchun an‘anaviy konstruksiyali sinxron generatorlar $f \leq 400$ Hz bo‘lgan chastotalarda ishlab chiqariladi. Yuqori ($f > 400$ Hz) chastotalarni olish uchun esa induktorli generatorlar ishlatiladi. Induktorli generatorlar katta quvvatli sinxron generatorlar uchun qo‘zg‘atgich bo‘lib ham xizmat qiladi. Masalan, quvvati 2700 kV·A bo‘lgan uch fazali kontaksiz induktorli generator (25.1,a-rasm) katta quvvatli TBB seriyali turbogeneratorlarning qo‘zg‘atgichi sifatida qo‘llaniladi. Bu generator ishlab chiqargan katta chastotali EYuK to‘g‘rilagich orqali o‘zgarmasga aylantirilib turbogeneratorning qo‘zg‘atish chulg‘amiga beriladi.

Induktorli generatorning statori alohida po‘lat plastinalardan yig‘iladi. Stator po‘lat o‘zagi pazlarida chulg‘amlar joylashtiriladi. Pazlar ochiq yoki yarim yopiq shaklda bo‘ladi. Rotor po‘lat o‘zagi alohida-alohida plastinalardan yig‘ilib, undagi pazlarga hech qanday chulg‘am o‘rnatilmaydi, shuning uchun ham induktorli generatorlar kontaksiz hisoblanadi. Statorda yakor chulg‘ami va qo‘zg‘atish chulg‘ami joylashtiriladi. Yakor chulg‘ami stator po‘lat o‘zagi tishlariga o‘raladi. qo‘zg‘atish chulg‘ami esa har xil joylashishi mumkin. Qo‘zg‘atish chulg‘amining joylashishiga qarab induktorli generatorlar bir xil qutbli va har xil qutbli turlarga

bo‘linadi. Har xil qutbli generatorlarda qo‘zg‘atish chulg‘amingining g‘altagi statordagi katta pazlarda joylashtiriladi (25.1,b-rasm) va har xil qutblar ketma-ket keladi.



25.1-rasm. Katta quvvatli TBB seriyadagi turbogeneratorning qo‘zg‘atgichi sifatida ishlatiladigan quvvati 2700 kV·A bo‘lgan uch fazali kontaktsiz yuqori chastotali induktorli generator (a) (bunda: 1 – stator; 2 – rotor; 3 – gaz sovutgich) va uning elektromagnit sxemasi (b) (bunda: 1 - 1', 2 - 2', 3 - 3' – qutblar; 4 – yakor cho‘lg‘ami; 5 – rotor; 6 – qo‘zg‘atish chulg‘ami)

Shuning uchun ham bunday generatorlarga har xil qutbli generatorlar deyiladi. Bularda qo‘zg‘atish chulg‘amingining magnit oqimi stator va rotor paketlarining bir xil ishorali qutbidan boshqa ishorali qutbiga o‘tadi. Induktorli generatorlarda stator va rotor tishlari ma‘lum bir nisbatda bo‘ladi:

$$Z = 2 \cdot Z_2 \cdot m \cdot q, \quad (25.1)$$

bu yerda: m – fazalar soni; q – bir qutb va bir fazaga to‘g‘ri keluvchi pazlar soni.

Stator va rotorda tishlar bo‘lganligi sababli, magnit oqimi qutb bo‘linmasida bir xilda tarqalmaydi. Uning ko‘proq qismi rotor tishi stator tishi ostiga to‘g‘ri kelgan qismida joylashsa, oqimning kam qismi esa rotor pazi stator tishi ostiga to‘g‘ri kelgan joyda bo‘ladi. Magnit induksiya o‘zgarmas va o‘zgaruvchan tashkil etuvchilardan iborat bo‘ladi. Uning o‘zgaruvchan tashkil etuvchisi $B_{\delta \sim}$ yakor chulg‘amlarida EYuK ni hosil qiladi. Bu EYuK ning davri rotorning tish bo‘linmasi bo‘yicha burilishga bog‘liq bo‘lib, chastotasi quyidagicha topiladi:

$$f_1 = z_2 n / 60. \quad (25.2)$$

Uch fazali induktorli generatorda yakor chulgʻaming har qaysi fazasiga stator qutblarining bitta jufti toʻgʻri keladi. Qoʻzgʻatish chulgʻami ikki qutbli magnit maydonni hosil qiladi, yaʼni bu chulgʻam paydo qilgan har qaysi qutb statorning uchta qutbidan tashkil topgan (uch qismga boʻlingan). Stator qoʻshni qutblarining tishlari rotor tishlariga nisbatan $1/6$ tish boʻlinmasiga siljigan, shuning uchun rotor $1/6$ tish boʻlinmasiga burilganda magnit oqimning maksimumi bitta qutbdan boshqasiga koʻchadi. Rotor aylanganda yakor chulgʻaming har bitta fazasida bir fazali mashinadagi kabi chastotasi $f_1 = z_2 n / 60$ (bunda z_2 – rotor tishlarining soni) boʻlgan EYuK:

$$E = 4,44 f_1 W_a k_{ch,a} \Phi_{\sim \max}, \quad (25.3)$$

hosil boʻladi, lekin qoʻshni fazalarning EYuK vaqt boʻyicha 120° ga siljigan boʻladi. (25.3) da $\Phi_{(\sim) \max} = 0,5 (\Phi_{(\sim) \max} - \Phi_{(\sim) \min})$ – bitta qutb magnit oqimining oʻzgaruvchan tashkil etuvchisi.

25.2§. Avtomobil va traktorlarda hamda temir yoʻl vagonlarida kengqoʻllaniladigan changalsimon qutbli sinxron generatorlar

Avtotraktor generatorlari. Oldin taʼkidlanganidek, elektr mashinalarida energiyaning oʻzgarishi, magnit zanjirining magnit maydon energiyasi yigʻilgan joyi- mashina havo oraligʻida yuzaga keladi. Bunda magnit maydonining shakli asosan mashi-naning energetik koʻrsatkichlarini belgilaydi.

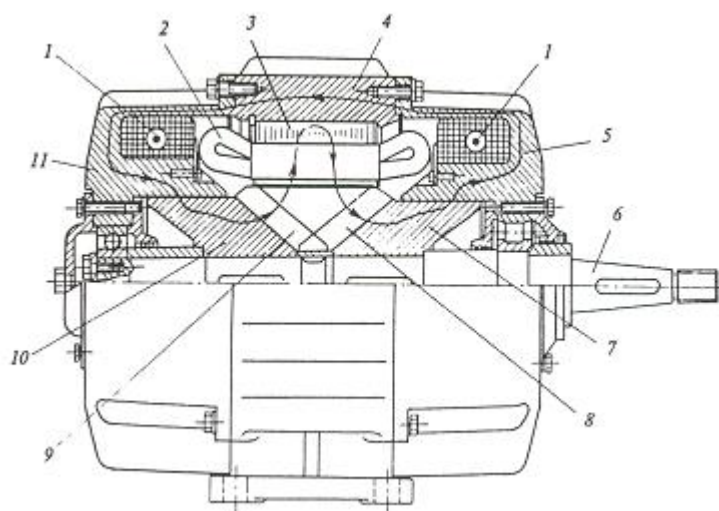
Yigʻilgan gʻaltakli chulgʻamda mashina havo oraligʻida taxminan sinusoidal taqsimlangan magnit maydonni havo oraligʻiga maxsus shakl berish hisobiga uning magnit oʻtkazuvchanligini oʻzgartirish orqali erishish mumkin. Buning uchun rotorda joylashgan qutb uchligiga changalsimon shakl beriladi (25.2,a-rasm). Bunday shakldagi qutb uchliklar mashinaning oʻqi boʻyicha joylashgan bitta qoʻzgʻatish gʻaltagida havo oraliqda aksial (yaʼni shu oʻq boʻyicha) yoʻnalgan alohida qutblar oqimlarini radial yoʻnalishga oʻzgartirib, rotorning uncha katta

bo'lmagan diametrda sinxron generatorning ko'p qutbli konstruksiyasini olishga imkon beradi. Qutblarining konstruksiyasi changalsimon shaklga ega bo'lgan rotorli sinxron generatorlar avtomobil va traktorlarda keng qo'llaniladi. Bu generator – ventil generatoridir (uning korpusida kremniy diodi asosida to'g'rilagich bloki joylashgan). Generator avtomobilda akkumulyator batareyasi bilan parallel ishlab uni zaryadkalab turadi, shuning uchun uning chiqishi-dagi kuchlanish o'zgarmas qiymatga ega bo'lishi lozim.

25.2,a-rasmda changalsimon rotorli G-250 tipli avtomobil generatori ko'rsatilgan. Bunda ikkita changalsimon qutb uchligi (1) o'n ikki qutbli magnit tizimni vujudga keltiradi. Šo'zg'atish chulg'ami (2) vtulka (3)da joylashtiriladi. 18 ta pazli stator (4) yupqa elektrotexnik po'lat listlari-dan yig'ilgan. Stator chulg'ami (5) uch fazali bir qatlamli, bitta qutbga va har qaysi fazaga to'g'ri keladigan pazlar soni $q = 0,5$. Korpus (6) (podshipnik qalqonlari) alyuminiy qotishmasidan tayyorlangan. Uch fazali o'zgaruvchan kuchlanish to'g'rilagich (7) vositasida o'zgarmasga aylantiriladi. O'zgarmas tok rotorda joylashgan qo'zg'atish chulg'amiga ikkita halqa (8) va ikkita cho'tka yordamida beriladi.

Changalsimon qutbli kontaksiz sinxron generator. Agar yuqorida keltirilgan changalsimon qutbli mashinaning konstruksiyasini kontaksiz qilib, ya'ni qo'zg'atish chulg'ami halqasimon ko'rinishda statorda joylashtirilsa muhim ahamiyatli sifatga ega bo'ladi (25.3-rasm). Generatorning qo'zg'atish chulg'ami ikkita qo'zg'almas halqasimon g'altak (1) podshipnik qalqonlari (5, 11) tokchasida

joylashtirilgan. G'altaklarning toklari vujudga keltirgan magnit maydon kuch chiziqlari asosan quyidagi yo'ldan, ya'ni: shimoliy qutblar (9) dan havo oralig'i orqali o'tib yakor o'zagi (3)ning tishlariga; yakor yarmosi va tishlari bo'yicha yana bir marta havo oralig'i orqali o'tib janubiy qutblar (8) magnitga; janubiy qutblar yarmosi (7) bo'yicha; yarmo (7) va qalqon (5) orasidagi havo oraliq orqali o'tib; qalqon (5), stanina (4) va chap tomonidagi qalqon (11) lar bo'yicha; qalqon (11) va shimoliy qutblar yarmosi (10) orasidagi havo oralig'idan hamda yarmo (10) bo'yicha yana shimoliy qutblarga o'tib berk zanjir hosil qiladi. Qo'zg'atish maydoni qisman tarqalib yakor chulg'ami bilan ilashadi. Val (6) qutblarning yarmolari (7, 10) va qutblari (8, 9) bilan aylanganda yakor chulg'ami bilan oqim ilashish davriy ravishda o'zgarib unda EYuK hosil bo'ladi.



25.3-rasm. Rotori changalsimon qutblardan iborat bo'lgan kontakt-siz sinxron generator, bunda: 1 – halqasimon qo'zg'atish g'altaklari; 2 – yakor chulg'ami; 3 – yakorning magnit o'tkazgichi; 4 – stanina (tana gardishi); 5, 11 – podshipnik qalqonlari; 6 – val; 7, 10 – janubiy va shimoliy qutblarning yarmosi; 8, 9 – janubiy va shimoliy qutblar

25.3-rasmda ko'rsatilgan changalsimon qutbli kontakt-siz sinxron genera-tor konstruksiyasi 25.2-rasmdagi bilan shu bilan farq qiladiki, uning rotorida kontakt halqa yo'q, chunki qo'zg'atish chulg'ami statorda joylashtirilgan.

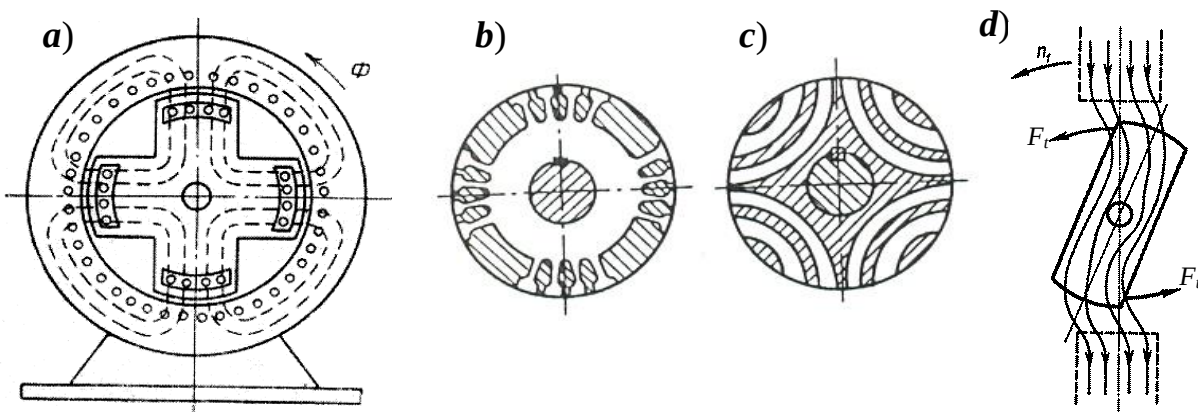
Mashinadan og‘ir sharoitlarda uzoq muddatda ishlatishda yuqori ishonchlilik talab qilinganda kontaksiz sinxron generatorlar qo‘llaniladi. Quvvati 10 kW va undan katta quvvatli bunday generatorlar, masalan, temir yo‘l vagonlari elektr ta‘minoti tizimi uchun qo‘llaniladi.

25.3§. Avtomatika qurilmalarida ishlatiladigan sinxron motorlarning ayrim turlari

1. Reaktiv sinxron motorlar. Reaktiv sinxron motorlar rotorining bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha magnit o‘tkazuvchanligi har xil bo‘ladigan konstruksiyaga ega bo‘lishi kerak. Bunday motorning qutblarida qo‘zg‘atish chulg‘ami bo‘lmaydi. Mashina normal ishlaganda asosiy magnit oqim faqat stator chulg‘amining aylanma MYuK tomonidan hosil qilinadi. Magnit oqim bunday mashinalarda qarshiligi kam bo‘lgan yo‘l bilan tutashadi va qutblarning bo‘ylama o‘qi bo‘yicha o‘tib aylantiruvchi momentni hosil qiladi (25.4,a-rasm). Bu moment reaktiv sinxron motorda bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha magnit o‘tkazuvchanlik har xil bo‘lgani sababli vujudga kelganligidan, uni reaktiv moment deyiladi.

Ma‘lumki, katta quvvatli sinxron motorlarning reaktiv momentini hisoblashda yakor chulg‘amining aktiv qarshiligini $r_a \approx 0$ deb, quyidagi formula bilan aniqlanardi:

$$M_r = [m \cdot U_2 / (2 \cdot \omega)] \cdot (1/x_q - 1/x_d) \cdot \sin 2\theta. \quad (25.2)$$



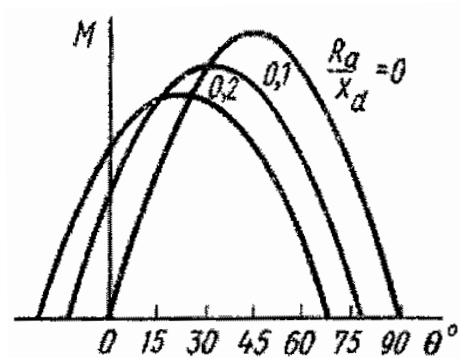
25.4-rasm. To‘rt qutbli ishga tushirish (dempfer) chulg‘amli ayon qutbli sinxron reaktiv motorning odatdagi magnit o‘tkazgich konstruksiyasi (a) va uning ayon bo‘lmagan ko‘rinishdagi modifikatsiyasi (b); takomillashdirilgan, ya‘ni mashinaning ko‘nalang o‘qi bo‘yicha induktiv qarshiligi x_q ni kamaytirish maqsadida nomagnit oraliqlarga quyma alyumeniy sterjenlardan hosil qilingan dempfer chulg‘amli segmentlangan magnit o‘tkazgich (c) va ikki qutbli sinxron motor uchun reaktiv momentning vujudga kelish sxemasi (d); F_t – tangensial kuch

Lekin, avtomatika qurilmalarida ishlatiladigan sinxron reaktiv motorlar kam quvvatli, demak, ularning yakor chulg‘ami aktiv qarshiligi r_a kat ta quvvatli mashinalarnikiga nisbatan katta qiymatga ega bo‘lganligidan, u reakaktiv momentga ta’sir qiladi, shuning uchun uni hisobga olish zarur bo‘ladi (25.5-rasm). Bu holda reaktiv moment quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$M = P_{em}/\omega_1 = [mU_2 / (2\omega_1) \cdot (x_d - x_q) / (x_d x_q + r_a^2)] \cdot [(x_d x_q - r_a^2) \cdot \sin 2\theta - 2r_a(x_d + x_q) \cdot \sin 2\theta + 2r_a x_q]. \quad (25.3)$$

Ta’kidlash lozimki, sinxron mashina rotorining konstruksiyasi ayon bo‘lmagan ko‘rinish da bo‘lganda ham uning bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha magnet o‘tkazuvchanligini har xil qilish mumkin.

25.5-rasm. Kam quvvatli reaktiv sinxron motorning aktiv va induktiv qarshiliklari nisbati r_a/x_d ning har xil qiymatidagi burchak xarakteristiklari

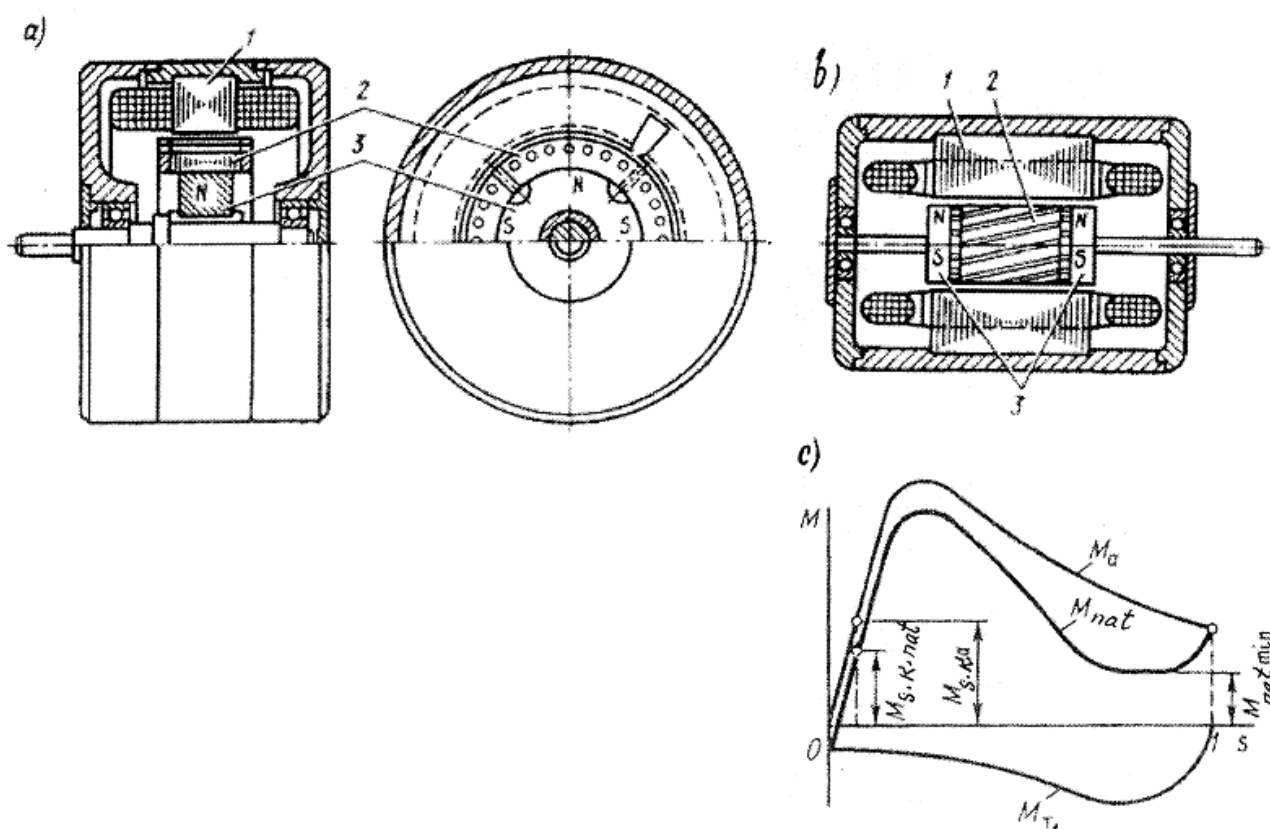


Shu maqsadda rotor po‘lat o‘zagining ko‘ndalang o‘qiga alyuminiy quyiladi (25.4,b-rasm). 25.4,c-rasmda esa bunday modifikatsiyaning takomillashgan, ya’ni ko‘ndalang o‘qqa segment ko‘rinishdagi alyuminiy sterjenlar quyilgandagi konstruksiya, induktiv qarshiliklar nisbati x_d / x_q ni taxminan 4÷5 gacha yetkazishga va, natijada nisbatan kattaroq reaktiv moment olishga imkon beradi.

Reaktiv sinxron motorning stator chulg'ami uch fazali elektr tarmog'iga ulanganda hosil bo'lgan aylanma magnit maydon rotorni o'z orqasidan ergashtiradi (25.4,d-rasm) va rotor magnit maydonning aylanish yo'nalishida sinxron chastotada aylanadi. Burchak $\theta = 45^\circ$ bo'lganda moment o'zining maksimum qiymatiga erishadi.

Reaktiv motorning energetik ko'rsatkichlari (η , $\cos\varphi$) kichikligi uning kamchiligidir. FIK ning kichik bo'lishiga sabab, yakor chulg'amidagi elektr isroflarining katta bo'lishidandir. Quvvat koeffitsientining kichik bo'lishi esa, magnit maydon hosil qiluvchi magnitlovchi tokning katta bo'lishidir. Reaktiv motorlar 50 W dan 100 W gacha mo'ljallab ishlab chiqariladi. Ular avtomatik qurilmalarda va boshqa ayrim sohalarda ishlatiladi. Konstruktsiyasi oddiy, o'zgarmas tok manbasiga ehtiyojning bo'lmasligi va tannarxining kamligi reaktiv sinxron motorning afzalligi hisoblanadi.

Doimiy magnitli sinxron motorlar. Bunday sinxron motorlarning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, ularda qo'zg'atish magnit maydonini hosil qilish uchun rotorda doimiy magnitlar joylashtiriladi. Ular motorni sinxronizmga kiritish vazifasini, qisqa tutashgan chulg'am esa sinxron motorni asinxron usulda ishga tushirish vazifasini bajaradi.



25.6–rasm. Doimiy magnit rotorda radial joylashgan (*a*) va aksial, ya'ni mashina o'qi bo'yicha joylashgan (*b*) sinxron motorlar (bular: 1 – stator; 2 – qisqa tutashgan, ya'ni ishga tushirish chulg'ami; 3 – doimiy magnitlar hamda) hamda sinxron motorni ishga tushirishda elektromagnit momentlarning o'zgarishlari grafigi (*s*) (bunda: M_a – asinxron moment; M_t – tormozlovchi moment; M_{nat} – natijaviy moment; $M_{s,k,nat}$ – natijaviy momentning motorni sinxronizmga kiritish qiymati; $M_{s,k,a}$ – asinxron momentning sinxron motorni sinxronizmga kiritish qiymati)

Konstruksiyasining soddaligi, kontakt halqalarining bo'lmasligi (ya'ni kontaksizligi), FIK ning nisbatan katta bo'lishi, qo'zg'atish chulg'ami bo'lmaganidan elektr isroflarining kamligi hamda mashinada magnit maydon hosil qilish uchun o'zgarmas tok manbasiga zaruratning yo'qligi bunday momotorlarning afzalligi hisoblanib, magnit maydonini boshqarishning qiyinligi, narxining nisbatan qimmatligi ularning kamchiligidir.

25.6,a-rasmda doimiy magnitlarning rotorda radial joylashishi, 25.6,b-rasmda esa aksial joylashishi ko'rsatilgan. Bu motor sinxron usulda ishga tushirilganda asinxron momentdan tashqari yana tormozlovchi moment ham hosil bo'ladi (25.6,c-rasm).

Tormozlovchi moment rotor qutblarida hosil bo'lgan magnit maydoni bilan shu maydon hosil qilgan statordagi tokning ta'sirlashishi natijasida vujudga keladi. Doimiy magnitli sinxron motorlarning energetik ko'rsatkichlari yaxshi, yuklanish qobiliyati yuqori va aylanish chastotasi barqaror bo'ladi. Bunday sinxron mikromotorlar avtomatikada keng ishlatiladi.

Nazorat savollari

1. Induktorli generator haqida ma'lumot bering.
2. Reaktiv sinxron motorning ishlash prinsipi to'g'risida ma'lumot bering.
3. Doimiy magnitli sinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipini gapiring.

Beshinchi bo'lim. O'ZGARMAS TOK MASHINALARI

O'zgartirgich texnikasining jadal o'sishi tufayli o'zgaras tok (O'T) mashinalari ko'pchilik holda motor rejimida ishlatilib amaliyot uchun muhim bo'lgan quyidagi afzalliklarga ega:

- a) aylanish chastotasining oddiy usulda keng ko'lamda silliq o'zgartirilishi;
- b) nisbatan kam tokda katta ishga tushirish momentining hosil bo'lishi;
- v) o'ta yuklama bilan ishlash qobiliyatining nisbatan kattaligi;
- g) har xil bikirlikka xos (aylanish chastotasi kam yoki ko'p o'zgaradigan) mexanik xarakteristikalarini olish mumkinligidir.

26-Bob. O'zgaras tok mashinalarining konstruksiyasi va ishlash prinsipi

26.1§. O'zgaras tok mashinalarining tuzilishi va ishlash prinsipi

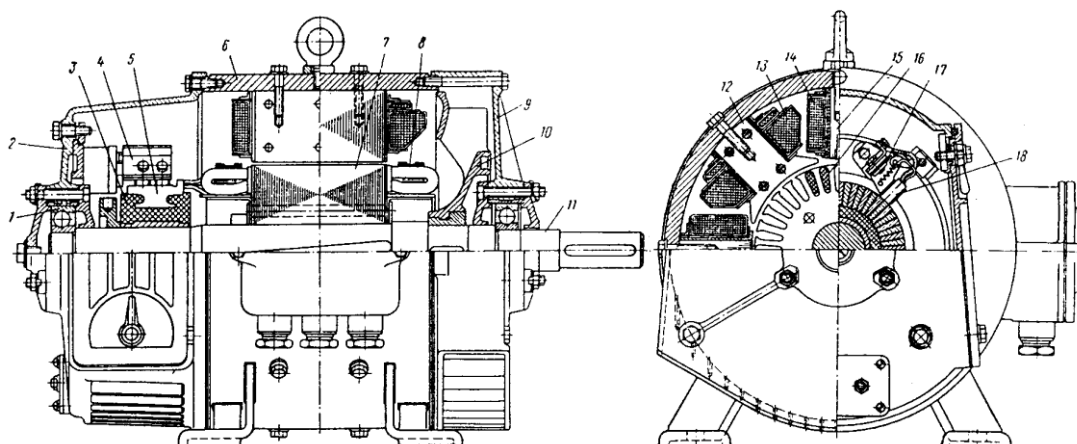
O'zgaras tok motor (O'TM)lari elektr transportida, avtomatik rostlash tizimida, jo'valash stanoklarida, yuk ko'tarish kranlarida, ekskavatorlarda, metallarga ishlov berish stanoklarida, to'qimachilik sanoatida keng ishlatiladi. O'T generatorlari esa O'T energiya manbai sifatida (masalan, katta quvvatli 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÷3 marta qimmat va uni ishlatish uchun O'T energiya manbasi 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 tejimli usuli ishlab chiqilganligi; O'T yuritmasi 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 tayyorlanadigan stanina (tana gardishi) va uning ichki tomoniga mahkamlangan bosh hamda qo'shimcha qutblardan iborat. Stanina va qutblar o'zagi magnit tizimning tarkibiy qismiga kiradi. Asosiy qutb o'zagi qalinligi 1 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat listlardan yig'iladi. Mashina havo oralig'ida magnit maydonni zaruriy shaklda taqsimlash maqsadida asosiy qutblarning yakor tomonidagi uchiga maxsus («qutb uchligi») shakl beriladi (26.1-rasm).

Qo'zg'atish chulg'aming g'altaklari qutb o'zaklariga kiydiriladi va staninaga siqib mahkamlanadi. O'rta va katta quvvatli O'T mashinalarida sovitish yuzani oshirish uchun qo'zg'atish g'altaklarini ikki qismga bo'ladilar. Asosiy qutb g'altaklarini shimoliy va janubiy qutblar navbatma-navbat keladigan tartibda ulab qo'zg'atish chulg'ami hosil qilinadi. Bu chulg'am mashinada asosiy maydon hosil qilish uchun xizmat qiladi.

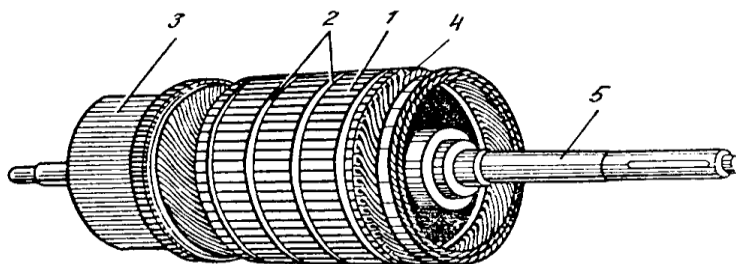


26.1-rasm. Quvvati 6 kW, aylanish chastotasi $n = 1500$ ayl/min, $U_N = 220$ V bo'lgan o'zgarmas tok mashinasi: 1 – sharikli podshipnik; 2 – oldingi (kollektor tomonidagi) podshipnik qalqoni; 3 – kollektorni plastmassa bilan mahkamlagich; 4 – cho'tka tutqich barmog'i; 5 –

kollektor plastinasi; 6 – stanina (tana gardishi); 7 – yakor o‘zagi; 8 – yakor chulg‘ami pazdan tashqari qismining bandaji (kamari); 9 – orqa tomondagi podshipnik qalqoni; 10 – ventilyator; 11 – val; 12 – bosh qutb; 13 – bosh qutb qo‘zg‘atish g‘altagi; 14 – qo‘shimcha qutb qo‘zg‘atish g‘altagi; 15 – qo‘shimcha qutb; 16 – yakor chulg‘ami joylashtirilgan paz; 17 – cho‘tka tutqich; 18 – cho‘tka

Quvvati 1 kW va undan katta bo‘lgan O‘T mashinalarida kommutatsiya jarayonida sodir bo‘ladigan uchqunlanishni kamaytirish uchun qo‘shni joylashgan bosh qutblar orasida (mashinaning ko‘ndalang o‘qi bo‘yicha) qo‘shimcha qutblar o‘rnatiladi. Qo‘shimcha qutblar o‘zagi yaxlit po‘lat yoki qalinligi 1 mm po‘lat listlaridan yig‘ilgan bo‘ladi. O‘zakka to‘g‘ri burchak kesimli simdan tayyorlangan chulg‘am g‘altagi o‘rnatiladi.

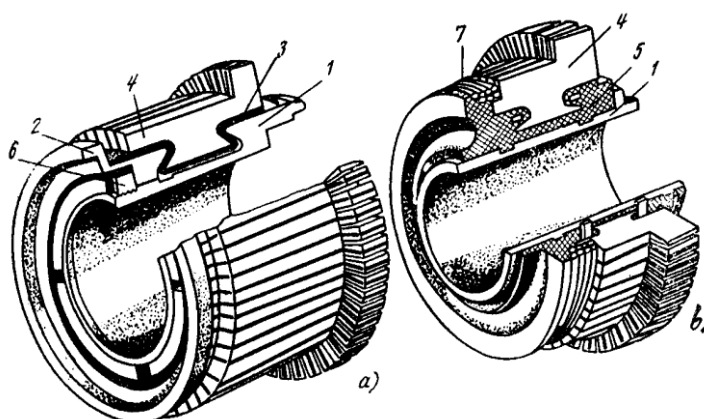
Yakor (26.2-rasm) – val va unga o‘rnatilgan silindrik shakldagi po‘lat o‘zak, uning pazlariga joylashtirilgan yakor chulg‘ami va uning seksiyalarini ulash uchun ma‘lum tartibda yig‘ilgan maxsus shakldagi mis plastinalari majmuasi (kollektor)dan iborat (26.3-rasm).



26.2-rasm. O‘zgarmas tok mashinasining yakori: 1 – yakor o‘zagi; 2 – bandajlar; 3 – kollektor; 4 – yakor chulg‘amining pazlardan tashqari qismi; 5 – val

Yakorning po‘lat o‘zagi qalinligi 0,35 yoki 0,5 mm bo‘lgan elektrotexnik po‘lat listlardan yig‘ilgan bo‘ladi. Bu holda magnit maydonda yakor aylanishida o‘zakda hosil bo‘ladigan uyurma toklar ta’siri keskin kamayadi. Yakor pazlaridagi chulg‘am seksiyalarini maxsus ponalar bilan, pazdan tashqari qismlarini esa bandaj (kamar)lar bilan mahkamlanadi. Kollektor (yig‘uvchi) sovuq holda jo‘valangan qattiq misdan tayyorlangan ponasimon kesimli plastinalardan silindr shaklida yig‘iladi. Plastinalar bir-biridan mikanit qistirmalar bilan izolyatsiyalanadi.

26.3-rasm. O‘zgarmas tok mashinasining metal (a) va plastmassa (b) korpusli kollektori: 1 – korpus; 2 – siquvchi flanes; 3 – izolyasion qistirma; 4 – kollektor plastinalari; 5 – plastmassa; 6 – siquvchi halqa; 7 – bandaj



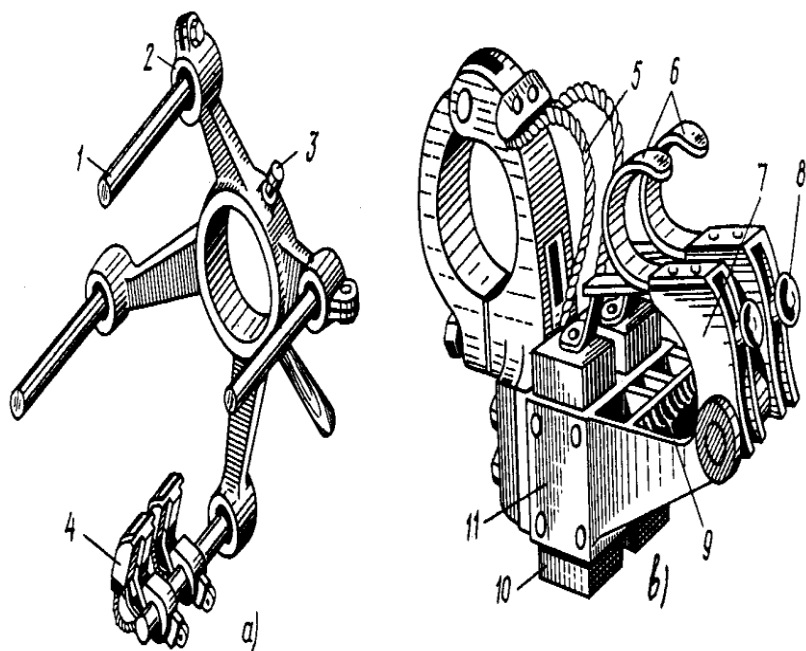
Kam va o'rta quvvatli O'T mashinalarida kollektor plastinalari va mikanit qistirmalar plastmassa yordamida presslab mahkamlanadi (26.3,b-rasm). Yig'ilgan kollektor qizdirilgan holda valning yakor chulg'ami yoniga joylashtirib mahkamlanadi.

Kollektor plastinalarining yakor chulg'ami tomonidagi chiqib turadigan qismiga chulg'am seksiyalari kavsharlanadi.

Kollektor plastinalari yakor chulg'ami o'ramlarini ketma-ket ulaydi. Kollektor yakor chulg'ami bilan birga aylanadi, uning yuzasida chulg'amni tashqi elektr zanjiri bilan bog'lovchi cho'tkalar traversaga (yoki podshipnik qalqoniga) mahkamlangan cho'tka tutqichlar yordamida qo'zg'almas holatda tutib turiladi.

Traversa – zarurat tug'ilganda cho'tkalar tizimini mashina qutblariga nisbatan siljitish imkonini beruvchi qurilmadir (26.4-rasm).

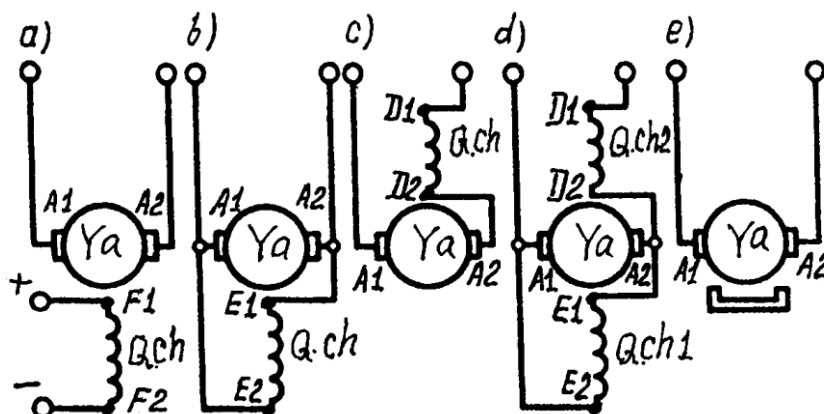
26.4-rasm.
O'zgarmas tok mashinasining chyotka mexanizmi: *a* – traversa; *b* – chyotka tutqich va chyotkalar: 1 – chyotka tutqichni mahkamlash uchun izolyasiyalangan barmoq; 2 – barmoqni siquvchi kronshteyin; 3 – chyotkalar ning kollektortordagi holatini belgilash uchun bolt; 4 – cho'tka tutqich; 5 – sim; 6 va 7 – cho'tkani kollektorga siquvchi qismlar; 8 – cho'tka va kollektor orasidagi bosimni rostlash uchun gayka; 9 –



‘tkalar va qo‘zg‘atish chulg‘amidan chiqqan simlar maxsus klemma (qisqich)lar taxtachasiga chiqarilgan bo‘ladi. O‘T mashinasini sovitish uchun uning valiga ventilyator o‘rnatiladi. Valning ikkala tomoniga podshipnik qalqonlari mahkamlanadi.

O‘T mashinalari qo‘zg‘atish usuliga ko‘ra quyidagi turlarga bo‘linadi (26.5-rasm): mustaqil, ketma-ket, parallel, aralash qo‘zg‘atishli va doimiy magnitli. O‘T mashinasining mustaqil qo‘zg‘atishli turida qo‘zg‘atish chulg‘amiga tashqi O‘T manbasidan tok berib asosiy maydon hosil qilinadi (26.5,a-rasm); parallel qo‘zg‘atishlida (26.5,b-rasm) mashinaning asosiy magnet maydoni qutb o‘zagidagi qoldiq magnet oqimi ta’sirida, ya’ni o‘z-o‘zini qo‘zg‘atish hodisasi tufayli hosil bo‘ladi; ketma-ket qo‘zg‘atishli turida (26.5,c-rasm) mashinaning asosiy maydoni yuklama ulangandan keyingina hosil bo‘ladi, chunki qo‘zg‘atish chulg‘ami yakor chulg‘amiga ketma-ket ulangan bo‘ladi; aralash qo‘zg‘atishli turida

26.5-rasm. Har xil qo‘zg‘atishli o‘zgarmas tok mashinalarining elektr sxemalari: a) mustaqil; b) parallel; c) ketma-ket; d) aralash; e) doimiy magnitli



(26.5,d-rasm), salt ishlash rejimda mashinaning asosiy magnet maydonini parallel qo‘zg‘atishli chulg‘am hosil qiladi, yuklama bilan ishlaganda esa

qo'zg'atish maydonini parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlarining natijaviy maydoni tufayli hosil bo'ladi.

O'T mikromashinalarining ko'pchiligida mashinaning asosiy maydoni doimiy magnit vositasida hosil qilinadi (26.5,e-rasm). Bu holda mashinaning qo'zg'atish chulg'ami vazifasini doimiy magnit bajaradi.

O'zgarmas tok mashinasining generator rejimda ishlash prinsipi. O'T mashinasining rotorini birlamchi motor bilan aylantirilganda yakor chulg'ami o'tkazgichlari qo'zg'atgich chulg'ami magnit maydonini kesib o'tishi tufayli ularning har birida elektromagnit induksiya hodisasiga binoan o'zgaruvchan EYuK hosil bo'ladi. Uning oniy qiymati quyidagiga teng:

$$e = B l v, \quad (26.1)$$

bunda B – magnit maydon induksiyasi; l – o'tkazgichning uzunligi; v – tezlik.

EYuK ning yo'nalishi «o'ng qo'l» qoidasi (2,a-rasm) bilan aniqlanadi. Yakorning burchak tezligi v (yoki aylanish chastotasi n) o'zgarmas bo'lsa, yakor chulg'ami EYuK ning kattaligi va yo'nalishi mashina havo oralig'i magnit induksiyasining kattaligi va yo'nalishi bilan aniqlanar ekan.

O'T generatorining ishlash prinsipini eng oddiy O'T generatori misolida ko'rib chiqamiz (26.6-rasm). Bunda mashinaning magnit qutblari orasida erkin aylanadigan po'lat silindrga ikkita («ab» va «cd») o'tkazgichning ketma-ket ulanishidan hosil bo'lgan bitta o'ram o'rnatilgan bo'lib, u yakor chulg'aminin g eng oddiy bir qismidir. Yakor o'ramining uchlari 2 ta yarim halqaga ulangan. Yarim halqalarga 2 ta qo'zg'almas cho'tka tegib turadi. Yakor aylantirilganda yarim halqalar o'tkazgichlar bilan mos aylanadi. Mazkur yarim halqalar ko'rilayotgan oddiy O'T mashinasining kollektoridir.

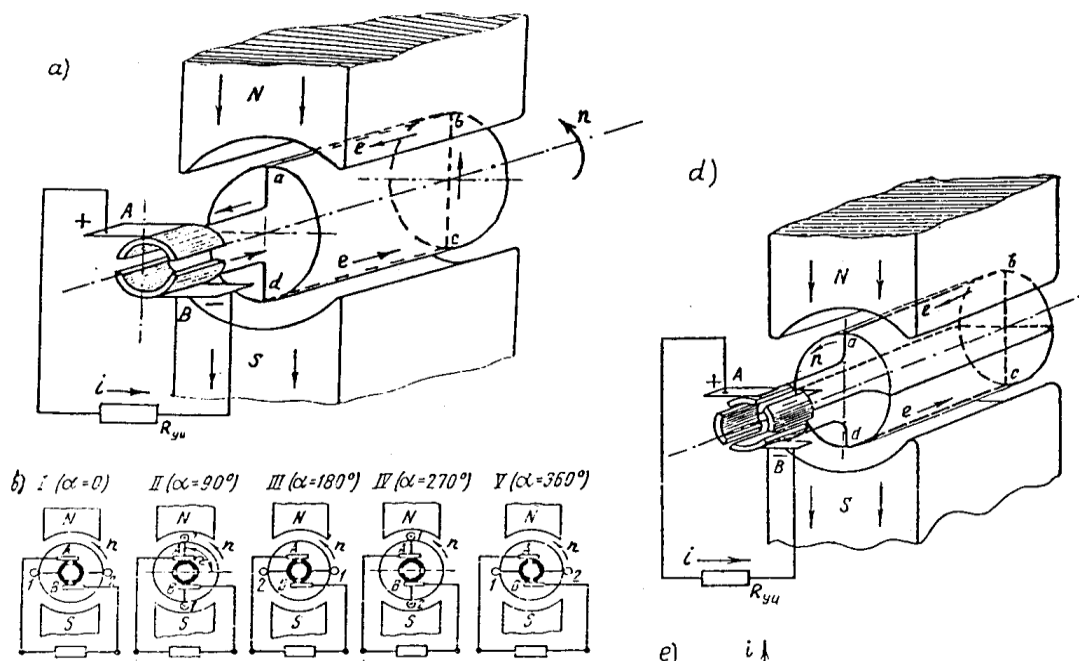
O'tkazgichda hosil bo'lgan EYuK ning vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi mashina havo oralig'ida magnit induksiyaning taqsimlanish shakliga mos keladi. Yakor aylanganda uning chulg'am o'tkazgichlari («ab»,«cd») magnit maydonda magnit induksiyaning kattaliklari har xil bo'lgan holatlarni egallaydi (26.6,b-rasm). Bunda o'tkazgichlar har xil magnit qutblar tagidan o'tgani tufayli unda hosil

bo'lgan EYuK va, demak, yakor chulg'amidagi tok ham sinusoidal shaklda o'zgaruvchan bo'ladi. Yakor 180° ga burilganda o'ramdagi EYuK (yoki tok) ning yo'nalishi teskariga o'zgaradi. Lekin cho'tkalar qutbiyligi (ishorasi) va zanjirning tashqi qismida tokning o'z yo'nalishini o'zgartirgan paytda cho'tkalar tagidagi kollektor plastinalarining ham joyi almashinadi. Shunday qilib, «A» cho'tka tagida hamma vaqt shimoliy qutb ta'siridagi, «B» cho'tka tagida esa janubiy qutb ta'siridagi o'tkazgich ulangan plastina turadi. Natijada O'T generatorida yakor chulg'amidagi o'zgaruvchan tok kollektor va cho'tkalar vositasida zanjirning tashqi qismidagi pulsatsiyalanadigan tokka aylantiriladi (26.6,c-rasm). Agar yakor chulg'ami fazoda bir-biriga nisbatan 90° da joylashgan ikkita o'ramdan iborat bo'lsa (26.6,b-rasm), tashqi zanjirda tokning pulsatsiyalanishi keskin kamayadi (26.6,c-rasm). Albatta, yakor chulg'ami bitta yoki ikkita o'ramdan emas, balki bir necha o'ramdan iborat bo'ladi. Natijada tokning tashqi zanjirdagi pulsatsiyasi keskin kamayadi. Masalan, chulg'amdagi o'tkazgichlar soni 16 ta (o'ramlar soni 8 ta) bo'lsa, tokning pulsatsiyasi sezilmay qoladi va generatorning tashqi zanjiridagi EYuK (yoki tok) ni faqat yo'nalishi bo'yicha emas, balki kattaligi bo'yicha ham o'zgarimas deyish mumkin bo'ladi.

Yakor chulg'amiga yuklama ulanganda o'tadigan tok asosiy maydon bilan ta'sirlashib elektromagnit kuch va moment hosil qiladi. Elektromagnit kuchning qiymati Amper qonuniga binoan quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$F_{em} = V_{o'rt} \ell I_a. \quad (26.2)$$

Bu kuchning yo'nalishi «chap qo'l qoidasi» (2,b-rasm) bo'yicha aniqlanadi.



Bu kuch hosil qilgan elektromagnit moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M = F_{em} \cdot D/2 = C_m F I_a , \quad (26.3)$$

bunda $D/2$ – yakorning radiusi; $C_m = pN/(2\pi a)$ – mashina konstruksiyasiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas son. Mashina generator rejimida ishlaganda bu momoment tormozlovchi ta'sir etadi.

26.2§. Yakor chulg'amlari va ularning turlari

Qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan magnit maydonda aylanishi natijasida chulg'amda EYuK hosil bo'ladigan qismi O'T mashinasining yakori deyiladi. O'T mashinalarida barabanli yakor qo'llaniladi. Bunday yakor chulg'aming o'tkazgichlari magnit o'tkazgichining tashqi silindrik sirtidagi pazlarda joylashadi. Bu chulg'amda ketma-ket ulangan alohida elementlar yakorning buun aylanasi bo'yicha bir tekis taqsimlangan bo'ladi. Yakor chulg'aming asosiy elementi seksiyadir. U bir-biridan izolyatsiyalangan bir yoki bir necha o'ramlardan iborat bo'ladi. Chulg'amdagi hamma seksiyalar odatda bir xil sondagi o'ramlar w_s ga teng bo'ladi. Seksiyalarning pazlarda yotgan qismi uning aktiv tomonlari deb, ularni birlashtiruvchi qismlari esa pazlardan tashqari tomonlari deb ataladi. Chulg'amning pazlardan tashqari tomonlarini joylashtirish qulay bo'lishi uchun yakor chulg'ami ikki qatlamli qilib tayyorlanadi. Yakorning tashqi sirtiga yaqin joylashgan qatlamni yuqorigi qatlam deb ataymiz. Bunda har qaysi seksiyaning chapdagi aktiv tomonini bir pazning yuqorigi qatlamida, o'ng tomondagi aktiv

tomonini esa chulg'am qadamiga teng masofadagi boshqa pazning pastki qatlamida joylashtiriladi. Chulg'am qadami taxminan qutb bo'linmasining eni τ ga teng ($y_1 \approx \tau$) bo'ladi (26.7,b-rasm). Qutb bo'linmasi – bu qo'shni geometrik neytral chiziqlari orasidagi yakor aylanasi bo'yicha o'lchangan masofadir, ya'ni $\tau = \pi D_a / (2p)$, [m].

Seksiyalarning uchlari kollektor plastinalariga ulanadi, bunda har qaysi plastinaga bitta seksiyaning boshi va ikkinchi bir seksiyaning oxiri ulanadi, ya'ni har qaysi seksiya (S)ga bitta kollektor plastinasi (K) to'g'ri keladi ($S=K$). Sxemalar tuzish, ularni o'qish va yakor chulg'ami tayyorlash qulay bo'lishi uchun «elementar paz» tushunchasi kiritiladi. Elementar paz – bu real pazda bir-birining ustida yuqorigi va pastki qatlamlarda joylashgan (26.7-rasm) turli seksiyalarning ikkita aktiv tomonidir. Real pazda bitta yoki bir necha elementar paz (y_p) bo'lishi mumkin. Eng oddiy holda real pazda bitta elementar paz ($y_p=1$) turadi, demak, $Z = Z_e$ bo'lganligidan quyidagini yozish mumkin:

$$Z = Z_e = S = K, \quad (27.4)$$

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

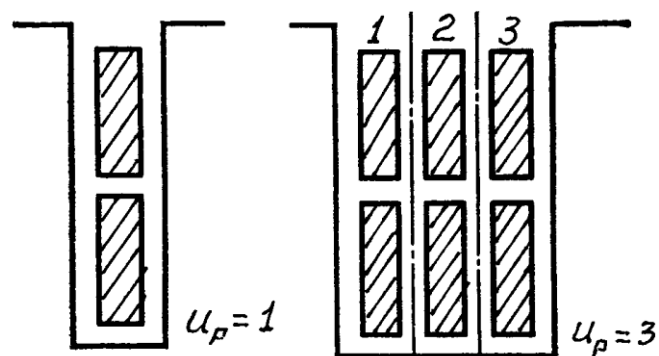
$$Z_e = y_p \cdot Z = S = K, \quad (26.5)$$

bu yerda y_p – bitta real pazdagi elementar pazlar soni.

Chulg'amlarni hisoblashda mashina qutb bo'linmasining uzunligi τ ni elementar pazlar soni orqali ifodalash qulaydir, ya'ni

$$\tau = Z_e / (2p). \quad (27.6)$$

Ma'lumki, yakor chulg'amlarining o'tkazgichlarida elektromagnit induksiya hodisasiga binoan o'zgaruvchan EYuK lar hosil bo'ladi va EYuK o'zgarishining har bir davriga mashina qutblarining bir jufti « p » to'g'ri kelganligi sababli, geometrik va elektr burchaklarini umumiy holda quyidagicha yozish mumkin: $360^\circ_{\text{geom.}} = p \cdot 360^\circ_{\text{el.}}$, bundan $\alpha^\circ_{\text{geom.}} = p \cdot \alpha^\circ_{\text{el.}}$.



26.7-rasm. YAkorning bitta (a) va uchta (b) elementar pazdan tarkib topgan real pazlari

Seksiyalarning shakli va ularning kollektorga biriktirilish usullariga ko'ra yakor chulg'amlarining sirtmoqsimon, to'fqinsimon va aralash turlari mavjuddir. Sirtmoqsimon va to'fqinsimon chulg'amlar oddiy va murakkab ko'rinishda tayyorlanishi mumkin. Aralash chulg'am – murakkab to'fqinsimon va oddiy sirtmoqsimon chulg'amlarning parallel ulanishidan iborat bo'ladi. Chulg'amni yakorga to'g'ri joylash va uni kollektorga to'g'ri ulash uchun chulg'amlarning elementar pazlar soni bilan o'lchanadigan, yakor bo'yicha « y_1, y_2, y » qadamlarini va kolektor plastinalari soni bilan o'lchanadigan kollektor bo'yicha qadam « y_k » ni bilish zarur bo'ladi (26.8-rasm).

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

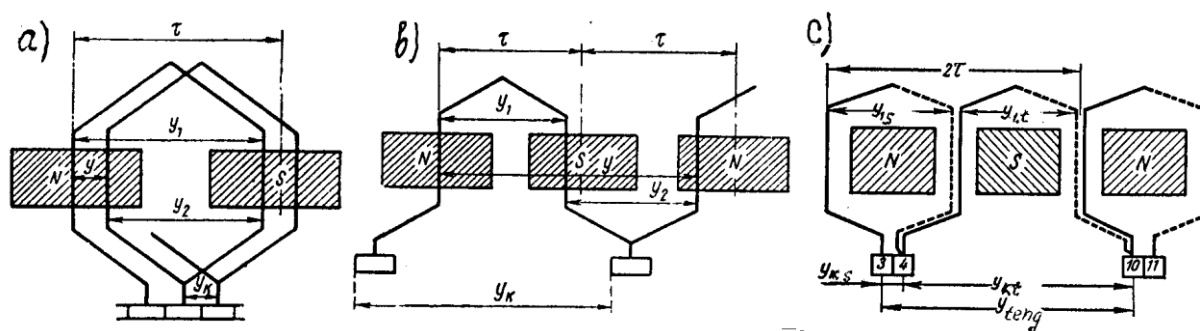
$$y_1 = Z_e / (2p) \pm \varepsilon = \text{b.s.}, \quad (26.7)$$

bu yerda ε – birdan kichik son bo'lib, butun son hosil qilish uchun seksiyaning eni (y_1) ε soniga kamaytiriladi yoki uzaytiriladi; $(+\varepsilon)$ bo'lganida chulg'am uzaytirilgan qadamli ($y_1 > \tau$), $(-\varepsilon)$ bo'lganida qisqartirilgan qadamli ($y_1 < \tau$), $\varepsilon = 0$ bo'lganida esa to'la qadamli ($y_1 = \tau$) chulg'am deyiladi.

Qisqartirilgan qadamli chulg'amning pazlardan tashqari qismlarining uzunligi to'la qadamlilikiga nisbatan bir oz kam bo'ladi; bunda mis kamroq sarflanadi va kommutatsiyaning borishiga ijobiy ta'sir etadi, shuning uchun ham amalda qisqartirilgan qadamli chulg'am ma'qul ko'riladi.

Chulg'amning ikkinchi qisman qadami (y_2) quyidagicha aniqlanadi:

$$y_2 = y_1 - y . \quad (26.8)$$



26.8-rasm. O'zgarmas tok mashinasi yakor chulg'amlarining elementlari va qadamlari: a – sirtmoqsimon (parallel); b – to'lqinsimon (ketma-ket); s – aralash (murakkab to'lqinsimon va oddiy sirtmoqsimon turlarining parallel ulanishidan hosil bo'lgan); $y_{teng} = K/p$ – potensial qadam (ya'ni potentsiallari bir xil bo'lgan nuqtalararo qadami)

Chulg'amning natijaviy qadami (y) ketma-ket ulangan ikkita seksiyaning birinchi aktiv tomonlari orasidagi masofaga teng:

a) oddiy sirtmoqsimon chulg'am uchun

$$y = y_k = \pm 1 ; \quad (26.9)$$

b) murakkab sirtmoqsimon chulg'am uchun

$$y = y_k = \pm m, \quad (26.10)$$

bunda m – chulg'am yo'llari soni;

Chulg'amning kollektor bo'yicha qadami (y_k) bir seksiyaning boshi va oxiri ulangan kollektor plastinalari orasidagi masofaga teng va (26.9, 26.10) lar bo'yicha hisoblanadi. Bu tengliklarda ("+") ishora o'ng yo'lli chulg'amga, ("–") ishora esa chap yo'lli chulg'amga taalluqli ekanligini bildiradi.

Katta quvvatli O'T mashinalarida chulg'am o'rami ikki va undan ortiq seksiyalardan iborat bo'ladi. Bu holda pazlar bo'yicha qadam (y_{1Z}) quyidagicha aniqlanadi:

$$y_{1Z} = Z/(2 p) \pm \varepsilon = b.s., \quad (26.11)$$

Bu qadam seksiya tomonlari orasida joylashgan real pazlar soni bilan o'lchanadi. Agar pazlar soni qutblar soniga qoldiqsiz bo'linmasa, u holda qadamni eng yaqin kichik songa yaxlitlanadi. Chulg'am seksiyalari amalda yakor aylanasi

bo'yicha chapdan o'ngga qarab joylashtirilsa o'ng yo'lli chulg'am bo'lib, misdan bir oz tejaladi.

Yakor chulg'ami seksiyalarini pazlarga joylashtirib kollektor bilan ulagandan keyin tenglashtiruvchi ulanishlar qo'yiladi; u parallel shoxobchalarning bir jufti "a" ga mos keladigan seksiyalar yoki kollektor plastinalari soni bilan o'lchanadi.

Chulg'amlarning simmetriya shartlari. Mashinaning ishlashiga eng yaxshi sharoitlar yaratib berish uchun chulg'amning hamma parallel shoxobchalarining EYuK lari va ularning qarshiliklari bir xil bo'lishi zarur. Bu holda barcha parallel shoxobchalarning toki ia bir xil va quyidagiga teng bo'ladi:

$$i_a = I_a / (2a), \quad (26.12)$$

buning uchun ular bir xil magnit sharoitida bo'lishi kerak. Bu talablarni qondiruvchi chulg'am simmetrik chulg'am deyiladi. Bunda:

1. Yakorda pazlar bir tekis taqsimlanishi kerak:

$$S/Z = K/Z = \text{b.s.}, \quad (26.13)$$

2. Ko'p qutbli ($p > 1$) mashinalarda chulg'amning har qaysi juft parallel shoxobchalari tarkibida butun songa teng bo'lgan bir xil seksiyalar va kollektor plastinalari bo'lishi kerak:

$$S/a = K/a = \text{b.s.}, \quad (26.14)$$

3. Har qaysi parallel shoxobchaning seksiyalari yakorda bir xil sondagi pazlarni egallashi kerak:

$$Z/a = \text{b.s.}, \quad (26.15)$$

4. Chulg'amning simmetrik joylashgan parallel shoxobchalari magnit maydonida bir xil vaziyatda bo'lishi kerak:

$$2 p/a = \text{b.s.}, \quad (26.16)$$

(26.13)÷(26.16) lar O'T mashinalari yakor chulg'amlarining simmetriya shartlaridir. Bu simmetriya shartlari bajarilmasa chulg'am nosimmetrik bo'lib, undan va cho'tkalardan mashinaning ishiga salbiy ta'sir etuvchi tenglashtiruvchi toklar o'tadi.

O'zgarmas tok mashinasi chulg'amlari uchlarining belgilanishi. Xalqaro standartga moslashtirib ishlab chiqilgan standart (ГОСТ 26772–85) ga muvofiq 1.01.1987 dan MDH mamlakatlari elektr mashinasozligi zavodlarida ishlab chiqarila boshlagan O'T mashinalari chulg'amlari uchun yangicha belgilanish joriy qilingan (26.1-jadval).

O'zgarmas tok mashinasi chulg'amlari uchlarining eski va yangi (ГОСТ 26772-85) belgilanishiga oid ma'lumot.

26.1-jadval.

Chulg'amning nomi	O'zgarmas tok mashinasi chulg'amlari uchlarining belgilanishi			
	1.01.1987 yilgacha ishlab chiqarilgan va modernizatsiya qilinadigan mashinalar uchun (eski)		1.01.1987 yildan keyin ishlab chiqarilgan mashinalar uchun (Yangi)	
	Boshi	Oxiri	Boshi	Oxiri
Yakor chulg'ami	YA1	YA2	A1	A2
Mustaqil qo'zg'atish chulg'ami	N1	N2	F1	F2
Parallel qo'zg'atish chulg'ami	SH1	SH2	Ye1	Ye2
Ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami	S1	S2	D1	D2
Šo'shimcha qutblar chulg'ami	D1	D2	V1	V2
Kompensatsion chulg'am	K1	K2	S1	S2

26.3§. O'zgarmas tok mashinalari chulg'amlarini hisoblash tartibi

O'TM chulg'amlarini hisoblash quyidagicha amalga oshiriladi.

1. $(26.13) \div (26.16)$ lar bo'yicha chulg'am simmetriya shartlari tekshiriladi.
2. $(26.7) \div (26.9)$ formulalar bo'yicha chulg'amning qadamlari aniqlanadi.
3. Chulg'amning yoyilma sxemasi chiziladi, buning uchun:
 - a) yakor pazlari seksiyalarining aktiv tomonlari bilan sxematik tarzda chiziladi;
 - b) seksiyaning aktiv tomonlari ulangan kollektor plastinalari shu seksiyaga

nisbatan simmetrik qilib joylashtiriladi; v) seksiyalar va pazlar (1-seksiyaning yuqori qatlami 1-pazda, 2-seksiyaning yuqorigi qatlami 2-pazda va hokazo tarzda joylashadigan qilib) hamda kollektor plastinalari nomerlab chiqiladi (pazni nomerlash ixtiyoriy bo'lib, uni xohlagan pazdan boshlash mumkin); g) tish bo'linmalari birligida o'lchangan qutb bo'linmasi $\tau_z = Z/(2p)$ aniqlanadi va yakor yoyilmasi bo'yicha geometrik neytralni bir-biridan " τ " masofada joylashtirib, qutblarning ta'sir oralig'i chegaralanadi. Qutbning eni (b_m) taxminan $b_m = 0,8\tau_z$ ga teng qilib olinadi;

d) yakorga hamma seksiyalarni oldin aniqlangan y_1, y, y_2, y_k qadamlar bo'yicha joylashtirib chiqiladi; e) cho'tkalar joyiga qo'yiladi va ularning qutbiyligi (ishorasi) aniqlanadi. Buning uchun yakorning aylanish yo'nalishi va qutblarning ishorasi ixtiyoriy tanlanadi. So'ngra «o'ng qo'l» qoidasiga ko'ra, yakor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYuK larning yo'nalishi aniqlanadi (26.9-rasm); j) bir necha tenglashtiruvchi ulanishlar qo'yib chiqiladi (26.9-rasm).

4. Chulg'amning yoyilgan sxemasi bo'yicha, uning prinsipial elektr sxemasi tuziladi. Sxemani chizish ixtiyoriy cho'tkadan boshlanadi va shu cho'tkaning o'zida tugallash kerak bo'ladi (26.9-rasm).

26.4§. Sirtmoqsimon chulg'amlar

Oddiy (bir yo'lli) sirtmoqsimon chulg'amda har qaysi seksiyaning boshi va oxiri yonma-yon yotgan ikkita kollektor plastinalariga ulangan bo'ladi. Bunda har qaysi oldingi seksiyaning oxiri keyingi seksiyaning boshi bilan ulanadi va shu tarzda chulg'am so'nggi seksiyasining oxiri birinchi seksiyaning boshi bilan, ya'ni chulg'am tutashgunga qadar yakor aylanasi bo'yicha (kollektor bo'yicha ham) ulab boriladi.

26.1–m i s o l. Seksiyalari bir o'ramli, oddiy, o'ng yo'lli, ikki qatlamli sirtmoqsimon chulg'amni $Z=18$, $2p = 4$, $y_p=1$, $2a = 2p$ berilganlar bo'yicha hisoblash, yoyilma va elektr sxemalarini chizish talab etilgan bo'lsin. Buning uchun $(26.13) \div (26.16)$ lar bo'yicha chulg'amning simmetriya shartlarini tekshiramiz: $S_3 = 18/18 = 1$; $S_4 = 18/2 = 9$; $S_5 = 18/2 = 9$; $S_6 = 4/2 = 2$, demak, $S_3 \div S_6$ lar b.c., binobarin, hamma simmetriya shartlariga rioya qilingan.

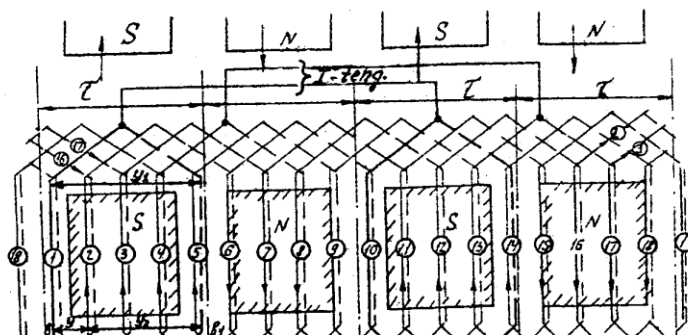
Berilgan chulg'amni hisoblash yuqorida keltirilgan tartibda quyidagicha amalga oshiriladi.

Oddiy o'ng yo'lli sirtmoqsimon chulg'am uchun (26.9) formulaga muvofiq $y = y_k = +1$. Elementar pazlar soni $y_p = 1$ bo'lgani uchun (26.4) formulaga ko'ra

$$Z_e = Z = S = K = 18 \text{ ga ega bo'lamiz.}$$

Chulg'amning birinchi y_1 va ikkinchi y_2 qadamlarini (26.7 va 26.8) formulalar bo'yicha hisoblaymiz: $y_1 = Z_e / (2p) \pm \varepsilon = 18/4 \pm 2/27$. Chulg'am qadami butun son bo'lishi shart, shu boisdan $y_1 = 4$ deb qabul qilamiz, ya'ni qisqartirilgan qadam olamiz, chulg'amning ikkinchi qadami esa $y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3$ ga teng bo'ladi.

Mazkur chulg'amni yoyilma sxema tarzida chizish uchun tekislikda 18 ta vertikal to'g'ri chiziq o'tkazamiz, ular elementar pazlarni tasvirlaydi. Bunda tutash chiziqlar seksiyaning birinchi aktiv tomonini, ya'ni pazdagi chulg'amning yuqorigi qatlamini, punktir chiziqlar esa shu pazda joylashgan boshqa seksiyaning ikkinchi aktiv tomonini ifodalaydi. Seksiyalarni (ularning boshi bo'yicha) va kollektorlarni chapdan o'ngga tomon nomerlaymiz. Elementar pazlarning yuqorigi qatlamida yotuvchi seksiyalarning 1-tomonlari bilan ulangan kollektor plastinalarini bir xil raqamlar bilan belgilaymiz va 1-kollektor plastinasidan boshlaymiz. Uni 1-seksiyaning boshi bilan tutash chiziq yordamida birlashtiramiz. Bu seksiyaning ikkinchi tomoni ($1 + y_1 = 5$)-elementar pazning pastki qatlamida yotadi va 2-kollektor plastinasi ($5 - y_2 = 2$) ga punktir chiziq bilan ulanadi. Xuddi shu plastinaga 2-seksiyaning boshini ulaymiz, so'ngra yana $y_1 = 4$ qadam tashlab, bu seksiyaning oxirini ($2 + y_1 = 6$)-elementar pazning pastki qatlamiga joylashtiramiz va hokazo. Nihoyat, so'nggi, ya'ni 18-seksiyaning boshini 18-elementar pazning yuqorigi qatlamiga, oxirini esa 4-pazning pastki qatlamiga



joylashtiramiz va 1–chulg‘am boshlangan kollektor plastinasiga ulaymiz. Natijada chulg‘am butunlay tutashtirilgan bo‘ladi (26.9-rasm).

Oddiy sirtmoqsimon chulg‘amda kollektor plastinalari quyidagicha joylashtiriladi. Masalan, 1-kollektor plastinani simmetrik joylashtirish uchun:

a) 1 va 2-kollektor plastinalarini ajratib turuvchi chiziq oddiy chulg‘amlarda 1- seksiya o‘qi bilan ustma-ust tushishi kerak;

b) seksiyaning har ikki uchlarining uzunligi bir xil, ya‘ni $ab = a_1b_1$ bo‘lishi kerak (26.9-rasm).

Bizning misolimizda yoyilma chizig‘i 18 va 1-pazlar orasida joylashgan geometrik neytral bilan ustma-ust tushgan. Barcha seksiyalarni ulab bo‘lgandan keyin sxemada qutblar tasvirlanadi; ularning o‘rtasi (o‘qi) bir-biridan τ masofada bo‘ladi. Magnit maydon kuch chiziqlarining yo‘nalishini odatda shimoliy qutb N dan yakor chulg‘ami tomon chiqib, janubiy qutb S ga kiradigan qilib olinadi. Yakor soat strelkasiga teskari yo‘naladi deb olamiz va EYuK larning yo‘nalishini seksiyaning yuqorigi qatlamlarida ko‘rsatish tavsiya etiladi. Sxemaning eng muhim jihatlaridan biri, unda cho‘tkalarning to‘g‘ri joylashtirilishidir. Cho‘tkalarni kollektorning aylanasi bo‘ylab geometrik neytrallarda mutlaqo bir tekis o‘rnatish zarur. Bunda yakordagi neytral bilan kollektordagi neytralni bir-biridan ajrata bilish zarur.

Yakordagi neytral – mashinaning geometrik neytrali, kollektordagi neytral esa mazkur cho‘tkaning ro‘parasidagi qutb o‘qi bilan ustma-ust tushadigan chiziqdir. Chulg‘amning qadami to‘la bo‘lgandagina seksiyaning tomonlari

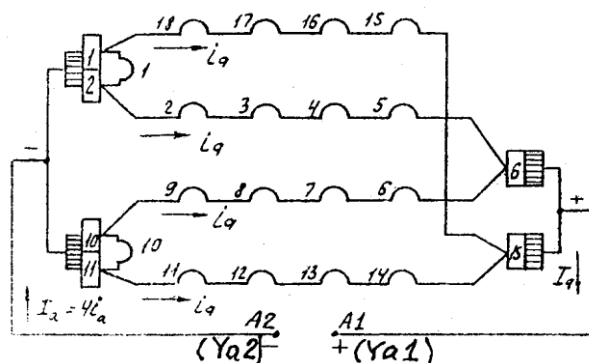
geometrik neytral chiziqlari bilan ustma-ust tushadi, chulg'am qisqartirilgan qadamli bo'lganda esa bu tomonlar geometrik neytral yaqinida yotadi. Seksiyaning pazlardan tashqarida joylashgan qismi simmetrik ulangan bo'lsa cho'tkalar kollektorga qutblarning o'qi bo'yicha o'rnatiladi. Ko'rib chiqilayotgan onda cho'tkalar orqali qisqa tutashgan seksiyalar neytral oraliqlarda yotadi (26.9-rasm). Qolgan qutblar va cho'tkalarning o'qlari biri undan keyingisidan 180° el. gradusli yoy masofasida turishi, ya'ni qutblar $Z_e / (2p)$ seksiya masofasida (ko'rilayotgan misolda $- 18 / 4 = 4,5$), cho'tkalar esa $K / (2p)$ kollektor plasti-nalari masofasi (ko'rilayotgan holda $- 18 / 4 = 4,5$)da turishi kerak. Oddiy sirtmoqsimon chulg'amlarda cho'tkalar soni qutblar soniga teng.

Yakor chulg'aming parallel shoxobchalari. Yakorning aylanish yo'nalishini belgilab o'ng qo'l qoidasi bo'yicha EYuK lar yo'nalishi aniqlanadi. Cho'tkalarning ishorasini aniqlashda qaysi cho'tka (yoki cho'tkalar)dan tashqi zanjirga tok yo'nalgan bo'lsa u (yoki ular) musbat ishorali (ko'rilayotgan holda B1 va B2 cho'tkalar), qolgan (A1 va A2) cho'tkalar esa manfiy ishorali hisoblanadi. Bir xil ishorali cho'tkalar parallel ulanib mashinaning tegishli klemmalariga chiqariladi. Oddiy chulg'amlarda har bitta cho'tkaning eni bitta kollektor plastinasi enidan kichik bo'lmasligi kerak, masalan, elementar pazlari $y_p > 1$ bo'lgan oddiy sirtmoqsimon teng seksiyali chulg'amda cho'tkalarning eni " y_p " ta kollektor plastinani yopadigan bo'lishi kerak.

To'rtta cho'tkani to'rtta qutbning ostiga o'rnatgandan keyin (chunki bizning misolimizda $2p = 4$) sxema bo'yicha yakor chulg'aming seksiyalarida (26.9-rasm) EYuK (yoki tokning) yo'nalishini kuzatib, oddiy sirtmoqsimon chulg'amning parallel shoxobchalari sonini aniqlash mumkin.

Parallel shoxobcha chulg'amning ikkita turli ishorali qo'shni cho'tkalari orasida ketma-ket ulangan, hamda EYuK (yoki toki) bir xil yo'nalishga ega bo'lgan, bir necha seksiyadan iborat qismdir. Parallel shoxobchalar ulanishlarining elektr sxemasi 26.9-rasmdagi yoyilma sxema yordamida chiziladi. Qog'oz varag'ining bir tomonida bir xil ishoradagi (faraz qilaylik manfiy) cho'tkalar va

ular te-gib turgan kollektor plastinalari ko'rsatiladi, o'ng tomonda esa musbat ishorali cho'tkalar joylashtiriladi.



26.10-rasm. 26.9-rasmda kursatilgan cho'lg'am parallel shaxobchalari ulanishining prinsipial sxemasi

So'ngra 1-seksiyadan boshlab chulg'am seksiyalarini aylanib chiqish boshlanadi. Bu seksiyalar ko'rilayotgan onda A1 cho'tka bilan qisqa tutashgan bo'ladi va shuning uchun u ishchi seksiya bo'la olmaydi. Keyin 2, 3, 4 va 5-seksiyalari keladi, ular o'zaro ketma-ket ulanadi va bitta parallel shoxobchani hosil qiladi. 5-seksiya musbat ishorali B1 cho'tka o'rnatilgan 6-kollektor plastinasi bilan ulanadi. Xuddi shu tartibda butun chulg'am aylanib chiqiladi.

Tahlil qilinayotgan chulg'am to'rtta parallel shoxobchadan iborat. Oddiy sirtmoqsimon chulg'amda parallel shoxobchalar soni doimo mashina qutblari soniga teng bo'ladi, ya'ni

$$2a = 2p. \quad (26.17)$$

Ikki qo'shni pazlar orasidagi siljish burchagi α quyidagiga teng:

$$\alpha = (360p)/C. \quad (26.18)$$

Murakkab sirtmoqsimon chulg'amda, masalan, ikki yo'lli ($m=2$) chulg'amda, har qaysi oldingi toq nomerli seksiyaning oxiri keyingi toq nomerli seksiyaning boshi bilan va keyingi toq seksiyalar ham shu tarzda ulanib borilganda so'nggi toq seksiyaning oxiri 1-toq nomerli seksiyaning boshi bilan ulanib, ikki yo'lli chulg'amning 1-yarmini hosil qiladi. Juft nomerli seksiyalarni shu tartibda ulab chulg'amning 2-yarmi hosil qilinadi.

26.5§. To'liqsimon chulg'amlar

Oddiy to‘lqinsimon chulg‘am. To‘lqinsimon chulg‘amlar turli qutblar ostida joylashgan seksiyalarni ketma-ket ulash natijasida hosil bo‘ladi, shuning uchun ularni ketma-ket chulg‘amlar deyiladi. To‘lqinsimon chulg‘amlar o‘ziga xos xususiyati shundan iboratki, seksiyalarning uchlari sirtmoqsimon chulg‘amlardagidek qo‘shni kollektor plastinalariga emas, balki taxminan (2τ) ga teng masofada joylashgan ikki kollektor plastinasiga ulanadi. Yakorni bir aylanib chiqishda mashinada qancha juft qutblar « p » bo‘lsa, shuncha seksiya joylashtiriladi. To‘lqinsimon chulg‘amning seksiyalari bir o‘ramli va ko‘p o‘ramli (2 va undan ortiq) bo‘lishi mumkin.

Oddiy (bir yo‘lli) to‘lqinsimon chulg‘amlar uchun chulg‘amning natijaviy qadami « y » kollektor bo‘yicha qadami « y_k » ga teng bo‘ladi:

$$y_k = y = (K \pm 1)/p = (y_p Z \pm 1)/p, \quad (26.19)$$

bu yerda K – kollektor plastinalari soni; p – mashina juft qutblari soni.

(26.19) formuladagi minus « – » ishora yakor seksiyalari va kollektor plastinalarini ulash jarayonida yakor bo‘yicha bir marta aylangandagi oxirgi kollektor plastinasi 1-plastinadan chapda joylashganini bildiradi. Shuning uchun manfiy ishora chap yo‘lli chulg‘amga, musbat ishora esa o‘ng yo‘lli chulg‘amga mos keladi. O‘ng yo‘lli chulg‘am tayyorlashda mis ko‘proq sarf bo‘lganligi sababli, amalda chap yo‘lli to‘lqinsimon chulg‘amlar qo‘llaniladi. Simmetrik to‘lqinsimon chulg‘amda $y_k = y$ qadam butun sondan iborat bo‘lishi kerak. Bu shartga rioya qilish uchun (26.19) formula « p » juft bo‘lganida K toq bo‘lishi kerak va aksincha. Juft qutblar soni $p = 2$ bo‘lganida y_p faqat toq son bo‘lishi kerak.

To‘lqinsimon chulg‘amning birinchi qadami y_1 , sirtmoqsimon chulg‘amdagidek, (26.6) formula bilan aniqlanadi, ya’ni $y_1 = Z_e/(2p) \pm \varepsilon$.

To‘lqinsimon chulg‘amning ikkinchi qadami y_2 quyidagicha hisoblanadi:

$$y_2 = y - y_1. \quad (26.20)$$

Quyida oddiy ikki qatlamli to‘lqinsimon chulg‘amni ko‘rib chiqamiz.

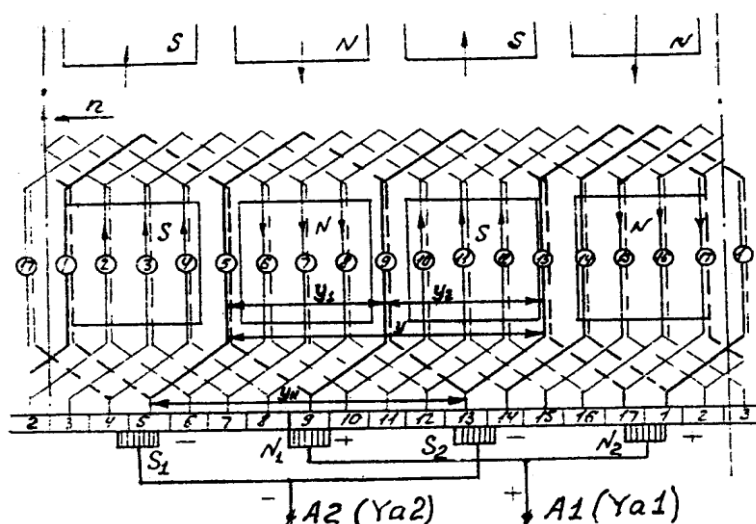
26.2–m i s o l. Yakor chulg‘amining berilgan qiymatlari: $Z=Z_e=S=K = 17$, $y_p = 1$, $2p = 4$. Ulanish turi – oddiy chap yo‘lli to‘lqinsimon chulg‘am. Seksiyalar bir

o‘ramli. Chulg‘amning sxemasini va parallel shoxobchalari sxemasini chizish talab qilinadi.

Chulg‘am qadamlarini hisoblashda (26.6), (26.19) va (26.20) lardan foydalaniladi, ya’ni: $y_1 = Zp / (2p) \pm \varepsilon = 17 / 4 - 1 / 4 = 4$;

$$y_k = y = (K-1)/p = (17-1) / 2 = 8; \quad y_2 = y - y_1 = 8 - 4 = 4.$$

To‘lqinsimon chulg‘amlarda cho‘tkalar va qutblarni joylashtirish tartibi sirtmoqsimon chulg‘amlardagidan bir oz farq qiladi. To‘lqinsimon chulg‘amlarda cho‘tkalar qutblarga nisbatan simmetrik joylashgan seksiyalarni qisqa tutashtirishi shartini aniq bajarish mumkin emas, chunki cho‘tkalar bilan qisqa tutashtirilgan ayrim seksiyalar bu yerda magnit maydonida bir oz siljib qoladi va, binobarin, ular ayni bir vaqtda qutblarga nisbatan simmetrik joylasha olmaydi. Shu boisdan quyidagi usul tavsiya etiladi: qutblardan ixtiyoriysini birinchi aylanib o‘tiladigan yo‘lning boshi va oxiriga nisbatan simmetrik joylashishi zarur.



26.11-rasm. Oddiy chap yo‘lli to‘lqinsimon cho‘lg‘am sxemasi ($Z_e = S = K = 17$; $2p = 4$; $y_1 = 4$; $y = y_k = 8$)

Demak, berilgan misolda bitta cho‘tkalar 17 va 1-plastinalar orasida o‘rnatilishi kerak. Qolgan qutblari ham shu tarzda 1-misoldagidek chiziladi va ularning o‘rtasiga boshqa cho‘tkalar qo‘yib chiqiladi. Qutb va cho‘tkalarning yakorga nisbatan bunday joylashuvi vaqtning faqat bir oniga to‘g‘ri keladi, seksiya o‘tkazgichlaridagi tokning yo‘nalishi esa mashinaning generator rejimida ishlashini

va aylanish yo'nalishi soat strelkasiga teskari yo'nalganligini hisobga olib ko'rsatilgan.

Oddiy to'liqsimon chulg'am parallel shoxobchalarini ulash elektr sxemasini qurish 26.1-misoldagidek (26.3-bandga qarang) amalga oshiriladi.

Oddiy to'liqsimon chulg'am juft qutblar soni «p» ning qiymatidan qat'iy nazar ikkita parallel shoxobchaga ega:

$$2a = 2. \quad (26.21)$$

Har qaysi cho'tkaga to'g'ri keladigan tokni kamaytirish va kollektorning uzunligini qisqartirish uchun (bunda misdan tejaladi) cho'tkalarning to'la soni qutblar soniga teng qilib olinadi. Mashina klemmlaridagi kuchlanish bir parallel shoxobchaning EYuK bilan aniqlanadi.

Oddiy to'liqsimon chulg'amlarda har qaysi parallel shoxobchanning sektsiyalari mashinaning hamma qutblari ostida bir tekis taqsimlangani uchun chulg'amlarni 1-tur tenglashtiruvchi ulanishlarsiz tayyorlashga imkon beradi.

Murakkab to'liqsimon chulg'am. Murakkab to'liqsimon chulg'am bir yakorning pazlariga joylashtirilgan bir nechta oddiy to'liqsimon chulg'amlardan iborat bo'ladi. Har qaysi to'liqsimon chulg'amda ikkita parallel shoxobcha bo'lganligidan, murakkab chulg'amdagi parallel shoxobchalar soni:

$$2a = 2m, \quad (26.22)$$

bu yerda m – murakkab chulg'amni hosil qilgan oddiy to'liqsimon chulg'amning parallel shoxobchalari soni (mashina qutblari soniga bog'liq emas). Murakkab chulg'amni hosil qiluvchi oddiy to'liqsimon chulg'amlar cho'tkalar yordamida o'zaro parallel ulanadi. Ayni bir onda cho'tka bilan qoplanadigan plastinalar soni parallel juft shoxobchalar soni (a) dan katta bo'lishi kerak. Murakkab to'liqsimon chulg'amda natijaviy qadam va kollektor bo'yicha qadam o'zaro teng bo'lib quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$y = y_k = (K \pm m)/p = (K \pm a)/p. \quad (26.23)$$

Murakkab to'liqsimon chulg'amning qolgan (y_1 va y_2) qadamlarini hisoblash formulalari oddiy to'liqsimon chulg'amlardagidek bo'ladi.

26.6§. O'zgarmas tok mashinalari yakor chulg'amlarining turlarini taqqoslash va ularni tanlash

Chulg'am turlari quyidagi mulohazalarga ko'ra tanlanadi:

- 1) cho'tkalar ostidan kuchli uchqun chiqmasligi uchun yakor parallel shoxobchalaridagi tok kattaligi 350 A dan oshmasligi kerak;
- 2) kollektor plastinalari soni haddan tashqari ko'p bo'lmasligi, plastinalarning qalinligi mexanik mustahkamlik sharti bo'yicha kamida 3,5 mm bo'lishi kerak;
- 3) kollektor plastinalarining eng kam sonini tanlashda, ikki qo'shni plastinalar orasidagi kuchlanish ko'pi bilan 30 V dan oshmasligi kerak.

Chulg'am turini tanlashda parallel shoxobchalari eng kam bo'lgan oddiy to'lqinsimon chulg'amlar ($a = 1$) ma'qul ko'riladi, buning ustiga unda tenglashtiruvchi ulanishlar bo'lishi talab etilmaydi.

Yakordagi faol tomonlar soni bir xil bo'lganida generatorning EYuK to'lqinsimon chulg'am qo'llanilganda sirtmoqsimon chulg'amdagidan katta bo'ladi. Masalan, to'lqinsimon va sirtmoqsimon chulg'amlar uchun quyidagilar $Z_e = 24$ va $2p = 4$ berilgan bo'lsin. U holda to'lqinsimon chulg'am qo'llanilganda har qaysi parallel shoxobchaga 12 seksiya, sirtmoqsimon chulg'am qo'llanilganda faqat 6 ta seksiya ulangan bo'ladi. To'lqinsimon chulg'am bo'lgan holdagi EYuK sirtmoqsimon chulg'am bo'lgan holdagidan 2 marta katta bo'ladi.

Har qaysi parallel shoxobchadagi tokni kamaytirish uchun hamda oddiy sirtmoqsimon chulg'amda qo'shni plastinalar orasidagi kuchlanish yo'l qo'yilganidan yuqori bo'lgan hollarda parallel shoxobchalar sonini oshirish uchun murakkab sirtmoqsimon chulg'amlar ishlatiladi. Ko'pincha ikki marta tutashgan sirtmoqsimon chulg'amdan foydalaniladi.

Katta quvvatli O'T mashinalarida va og'ir ish sharoitli rejimlarda ba'zan aralash chulg'amlar qo'llaniladi. Sirtmoqsimon chulg'amga qaraganda bu chulg'amning asosiy afzalligi – tenglashtiruvchi ulanishlarga hojat yo'qligidir. Tenglashtiruvchi ulanishlarni joylash qiyin bo'lgan katta tezlikli O'T mashinalarida bu juda muhimdir. Foydalanish nuqtai nazaridan aralash chulg'amlarning eng katta kamchiligi – ularni ta'mirlash qiyinligidir.

Toki katta va kuchlanishi past bo'lganda $y_p = 1$ qiymat ishlatiladi. $U_N = 220$ V, $P_N > (30 \div 50)$ kW bo'lganda seksiyalardagi o'ramlar soni hamma vaqt $w_s = 1$ bo'lishi kerak.

Nazorat savollari

1. O'zgarmas tok generatorining ishlash prinsipini so'zlab bering?
2. O'TM chulg'amlarini hisoblash qanday amalga oshiriladi?
3. Chulg'amlarning simmetriya shartlari nimalardan iborat?
4. Chulg'am turi qanday tanlan

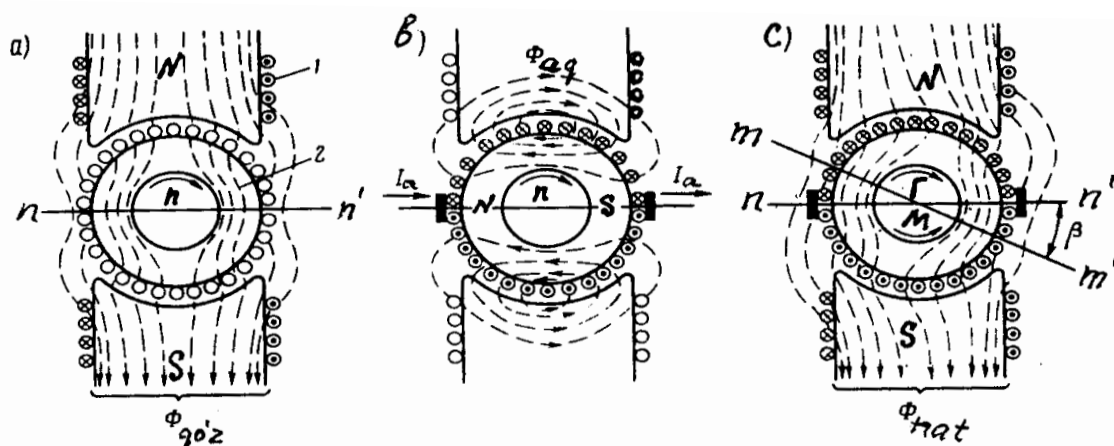
27-Bob. O'zgarmas tok mashinasining magnit maydoni va yakor reaksiyasi

27.1§. O'zgarmas tok mashinasining generator rejimidagi magnit maydoni

Salt ishlashidagi magnit maydon. Salt ishlayotgan O'T generatorida asosiy magnit maydon qo'zg'atish chulg'ami MYuK tomonidan hosil qilinadi. O'T mashinalarining magnit xarakteristikasi sinxron mashinalarnikiga o'xshagan bo'ladi. O'T mashinasining magnit zanjirini hisoblashga oid ma'lumotlar keyingi boblarda berilgan.

Yuklama bilan ishlashidagi magnit maydon. Yakor reaksiyasi. O'T mashinasi (generator)ga yuklama ulanganida yakor chulg'amidan tok o'tib MYuK hosil bo'ladi. Yakor MYuK ning mashina asosiy magnit maydoniga ta'siri yakor reaksiyasi deyiladi. Mashina magnit zanjiri to'yinishini hisobga olmasdan, qo'zg'atish chulg'ami ($F_{qo'z}$) va yakor chulg'ami MYuK lari (F_{aq}) mashina magnit zanjirining havo oralig'i magnit qarshiligini yengishga sarflanadi deb hisoblanganda, tahlil uchun yuqorida ko'rsatilgan MYuK lar o'rniga ularga mos bo'lgan magnit oqimlari ($\Phi_{qo'z}$ va Φ_{aq}) ni ishlatish mumkin bo'ladi. Salt ishlashda asosiy magnit oqim ($\Phi_{qo'z}$) mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi (27.1,a-rasm), yuklama bilan ishlaganda esa yakor chulg'ami MYuK (F_{aq}) hosil qilgan magnit oqim Φ_{aq} , mashinaning cho'tkalari geometrik neytralga qo'yilganda (27.1,b-rasm), mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha yo'naladi va shuning uchun uni ko'ndalang maydon ($\Phi_{aq} = \Phi_a$) deyiladi. Bu

maydonning ta'siri (yakor reaksiyasi) tufayli natijaviy maydon B_{nat} bosh qutblar o'qlariga nisbatan taqsimlanishi simmetrik bo'lmaydi va har bitta qutbning bir chekkasiga siljigan bo'ladi (27.2,c-rasm). Bu holda fizik neytral $m-m'$ (yakor aylanasi magnit induksiya nolga teng bo'lgan nuqtalarni birlashtiruvchi chiziq) mashinaning geometrik neytrali ($n-n'$) ga nisbatan birorta β burchakka siljiydi. O'T generatorlarda (27.2,c-rasmda «G») fizik neytral yakor aylanish yo'nalishi bo'yicha, motorlarda esa – teskari yo'nalishga siljiydi.



27.1-rasm. O'zgarmas tok mashinasining magnit maydoni $\Phi_{qo'z}$, 1 – qo'zg'atish chulg'ami, 2 – якоръ; b) yakor chulg'aming maydoni Φ_a ; c) mashinaning natijaviy magnit maydoni Φ_{nat}

Magnit zanjiri to'yinmagan deb faraz qilingan O'T mashinasida qo'zg'atish chulg'ami yig'ilgan bo'lgani uchun, u hosil qilgan MYuK ning taqsimlanishi to'g'ri to'rtburchak shaklida bo'lib, bitta qutb ostida u hosil qilgan magnit induksiyaning taqsimlanishi esa, egri chiziqli trapetsiya shaklida bo'ladi (27.2,a-rasm).

Yakor chulg'aming MYuK quyidagiga teng, ya'ni:

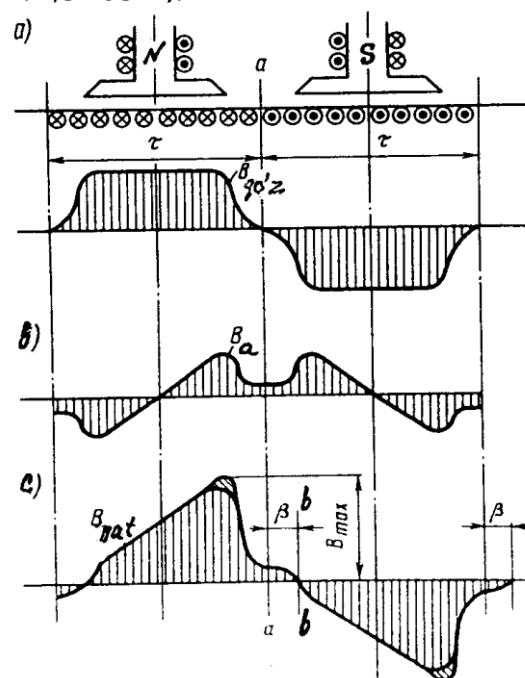
$$F_a = (\tau i_a) \cdot N / (\pi D a) = \tau A, \quad (27.1)$$

bunda: $N/(\pi D a)$ – chulg'amdagi o'tkazgichlarning yakor aylanasi uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi soni; $i_a = I_a/(2a)$ – yakor chulg'aming har bir o'tkazgichidan (demak, parallel shoxobchadan) o'tadigan tok; $A = i_a \cdot N/(\pi D a)$ –

yakorning chizig'iy yuklamasi, ya'ni yakor MYuK ning yakor aylanasi uzunlik birligiga to'g'ri keladigan qismi.

MYuK F_{aq} to'g'ri chiziqli o'zgaradi, ya'ni bosh qutb o'qida nolga teng bo'lib, cho'tka joylashgan ko'ndalang o'qda esa maksimal qiymatga ega bo'ladi. Uning qo'shni qutblar o'qlari orasidagi taqsimlanishi uchburchak shaklda bo'ladi. Shunday qilib, yuklama bilan ishlayotgan O'T mashinasida qo'zg'atish chulg'ami MYuK $F_{qo'z(0)}$ va yakor chulg'ami MYuK F_{aq} bo'ladi. Yakor magnit induktsiyasining mashina havo oralig'ida taqsimlanishi qutb uchliklari chegarasidagina yakor MYuK F_{aq} ning taqsimlanishi bilan mos tushadi. Qutblararo fazoda yakorning magnit oqimiga nisbatan qarshilikning ortib ketishi tufayli magnit induksiya keskin kamayadi (27.2,b-rasm).

27.2-rasm. O'zgarmas tok masinasining havo oralig'ida magnit induksiyaning taqsimlanishi: a) qo'zg'atish chulg'aminin magnit induksiyasi ($B_{qo'z}$); b) yakor chulg'aminin magnit induksiyasi (B_a); c) mashinanin natijaviy magnit induksiyasi (B_{nat})



Mashinaning magnit tizimi to'yinmagan holda yakor reaksiyasi asosiy magnit oqimni buzadi xolos, lekin uning kattaligini o'zgartirmaydi. Qutbning yakor kirib kelayotgan tomonida va yakor o'zagining shu qutb ro'parasidagi tishli qatlamiyakor MYuK ning yo'nalishi asosiy qutblar MYuK larining yo'nalishi bilan mos tushganligi tufayli ularning magnitlanishi oshadi; qutb tagidan yakor chiqib ketayotgan tomonida va yakor o'zagining shu qutb ro'parasidagi tishli qatlami esa yuqoridagi MYuK larning qarama-qarshi

yoʻnalganligidan magnitsizlanadi. Shu sababli natijaviy magnit oqim asosiy qutblarning oʻqiga nisbatan maʼlum burchakka buriladi.

Mashina natijaviy maydonining buzilishi uning ish xossalariga yomon taʼsir etadi: 1) choʻtka kontakti ish sharoitini yomonlashtiradi, yaʼni kollektordan uchqun chiqishining kuchayishiga sabab boʻladi; 2) mashina qutblarining ikkala maydon kuch chiziqlari bir xil yoʻnalgan chekkalari ostidagi yakor chulgʻaming seksiyalarida EYuK larning oniy qiymatlari keskin oshadi. Natijada, qoʻshni kollektor plastinalariaro kuchlanish U_k oshadi va katta qiymatli yuklamalarda uning qiymati standart tomonidan yoʻl qoʻyilganidan katta boʻlsa, plastinalar orasidagi mikanit (izolyatsiya)ning elektr mustahkamligi bunga bardosh bera olmay, ular orasida elektr yoyi vujudga keladi. Bu hol kollektorning normal ishlashiga salbiy taʼsir koʻrsatib, uning xizmat muddatini keskin qisqartiradi.

Magnit tizimi toʻyingan OʻT mashinasida yakor reaksiyasining salbiy taʼsiri, yaʼni mashinani magnitsizlashi uning ish xossalarini yomonlashtiradi. Bu holda generatorlarda EYuK, OʻTM larida esa aylantiruvchi moment kamayadi. Choʻtkalarning geometrik neytralga nisbatan siljishida yakor reaksiyasining mashina ishiga taʼsiri quyidagi sabablarga koʻra kuchayadi. Choʻtkalar siljiganda u bilan birga yakor MYuK ning vektori ham siljiydi va bunda yakorning MYuK F_a koʻndalang tashkil etuvchisi ($F_{aq} = F_a \cos \beta$) dan tashqari, qutblar oʻqi boʻyicha yoʻnalgan boʻylama tashkil etuvchisi ($F_{ad} = F_a \sin \beta$) ga ham ega boʻladi. Generator rejimda ishlaganida choʻtkalar yakorning aylanish yoʻnalishi tomonga siljisa, MYuK ning boʻylama tashkil etuvchisi F_{ad} qoʻzgʻatish chulgʻami MYuK $F_{qo'z(o)}$ ga qarama-qarshi yoʻnalib mashinaning asosiy magnit oqimini kuchsizlantiradi; choʻtkalar yakor aylanishiga teskari tomonga siljiganda esa, F_{ad} MYuK $F_{qo'z(o)}$ ga mos yoʻnalishi tufayli mashina magnitlanishini oshiradi va kollektorda uchqun chiqishiga sababchi boʻladi.

Agar OʻT mashinasi motor rejimda ishlaganida choʻtkalarning yakor aylanishi boʻyicha siljiganida MYuK F_{ad} mashinani qoʻshimcha magnitlab, ular teskari tomonga siljiganda esa magnitlanish darajasini kamaytiradi.

27.2§. Yakor reaksiyasining salbiy taʼsiri va uni bartaraf qilish

Kompensatsion chulg'am mashina yuklamasining me'yoriy qiymatlarida yakor MYuK ning salbiy ta'sirini avtomatik ravishda bartaraf qilishni ta'minlaydi va natijada bosh qutblar ostidagi havo oralig'ida asosiy magnit maydon shakli deyarli buzilmaydi. Lekin qutblararo fazoda yakor MYuK ning bir qismi kompensatsiyalanmay qoladi. Bu MYuK ning cho'tkalar kontakti ishiga salbiy ta'sirini yo'qotish maqsadida mashina ko'ndalang o'qiga qo'shimcha qutblar o'rnatiladi va ularning chulg'ami yakor chulg'amiga uning cho'tkalari orqali ketma-ket ulanadi.

Kompensatsion chulg'am an'anaviy konstruksiyali mashinada qutb uchligida maxsus qilingan pazlarda joylashtiriladi, ayon bo'lmagan qutbli konstruksiyali 4P seriyali O'T mashinalarida esa asosiy qutb chulg'ami pazlarida joylashtiriladi. Bu chulg'am mashina konstruksiyasini murakkablashtiradi, shuning uchun ular faqat og'ir sharoitda (yuklama keskin o'zgaradigan, oshirilgan yuklamali rejimda) ishlatiladigan o'rta va katta quvvatli (kuchlanishi $U_N > 440$ V, quvvati esa $P > 150$ kW bo'lgan) O'TM larida (masalan, elektr transportida, po'lat jo'valash dastgohlari (prokat stanlari)da qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. O'zgarmas tok mashinasida yakor reaksiyasi nima?
2. Cho'tkalarning geometrik neytralga nisbatan siljishida yakor reaksiyasining mashina ishiga ta'siri qanday bo'ladi?
3. Yakor reaksiyasi mashinaga qanday salbiy ta'sir ko'rsatadi?
4. Kompensatsion chulg'am qanday vazifani bajaradi?
5. Yakor reaksiyasini qanday yo'llar bilan bartaraf qilish mumkin?

* * *

28-Bob. Kollektorli o'zgarmas tok mashinalarida kommutatsiya

28.1§. Kommutatsiyaning fizik asoslari

Kollektorda uchqun chiqish sabablari. O'T mashinasining yakori aylanganida cho'tkalar bilan kollektor sirpanuvchi kontakt hosil qiladi. Agar

cho'tka biror sababga ko'ra kollektorga butun yuzasi bilan tegmasa tokning zichligi nihoyatda ortib ketadi va bu kollektorda uchqun chiqishiga olib keladi. Kollektorda uchqun chiqishi mexanik, potensial va kommutatsion sabablarga ko'ra vujudga keladi. Mexanik sabablarga cho'tkalarning kollektorga bosimining bo'shlig'i, kollektor sirtining silliqmasligi va kollektorning kirlanishi kiradi. Qo'shni kollektor plastinalari orasidagi kuchlanish normadan ortib ketganda kollektorda uchqun chiqishining potensial sabablari vujudga keladi. Potensial sababga ko'ra uchqun chiqishi, ayniqsa xavfli, chunki u kollektorda elektr yoyiga aylanib ketishi mumkin.

Yakor chulg'ami seksiyalarining bitta parallel shoxobchadan boshqasiga o'tishidagi fizik jarayonlar tufayli uchqun chiqishi kommutatsion sabablarga ko'ra vujudga keladi. Seksiyalar bitta parallel shoxobchadan uzilib ikkinchisiga ulanganda ularda tokning o'zgarish jarayoni kommutatsiya deyiladi (28.1-rasm). Kommutatsiya sodir bo'ladigan seksiya kommutatsiyalanuvchi seksiya, kommutatsiya jarayoni sodir bo'lishiga ketgan vaqt esa kommutatsiya davri T deyiladi va u quyidagiga teng bo'ladi:

$$T = (b_{ch}/b_k) \cdot 60 / (Kn), \quad (28.1)$$

bunda: K – kollektor plastinalar soni; n – aylanish chastotasi; b_{ch} – cho'tkaning kengligi; b_k – qo'shni kollektor platinasi o'rtalari orasidagi masofa.

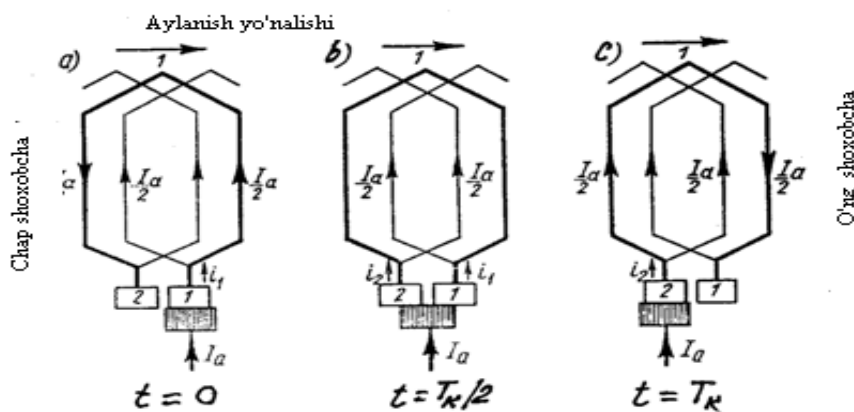
Kommutatsiya jarayonini tahlil qilishda cho'tkalar geometrik neytralda joylashgan, ularning kengligi $b_{ch} = b_k$ va kommutatsiyalanuvchi seksiyada butun kommutatsiya davri davomida EYuK lar induksiyalanmaydi, deb faraz qilinsa tokning o'zgarishi quyidagi tenglik orqali ifodalanadi:

$$I_1/I_2 = r_{ch2} / r_{ch1}, \quad (28.2)$$

bunda I_1, I_2 – tegishli, 1 va 2-plastinalardagi toklar.

Kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tok I quyidagi ayirmaga teng:

$$I = I_1 - I_2. \quad (28.3)$$



28.1-pasm. Kommutatsiyalanuvchi seksiyada tok yo'nalishining o'zgarishi

Kommutatsiya davrida kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tok (+I) dan (-I) gacha to'g'ri chiziqli o'zgaradi va salbiy ta'sir ko'rsatmaydi. Bunday kommutatsiyani to'g'ri chiziqli yoki ideal kommutatsiya deyiladi (28.2-rasm,1). Ta'kidlash lozimki, O'T mashinasining real ish sharoitlarida kommutatsiya jarayoni ancha murakkab kechadi, chunki kommutatsiya davri juda qisqa, ya'ni ($10^{-4} \div 10^{-5}$ s) ni tashkil qiladi. Masalan, $K=100$, $b_{ch}=2$ va $n=1500$ ayl/min bo'lgan mashinada kommutatsiya davri

$$T_k = 60 \cdot 2 / (100 \cdot 1500) = 0,0008 \text{ s.}$$

Seksiyada tokning bunday tez o'zgarishidan katta qiymatli o'zinduksiya EYuK e_L , qo'shni seksiyada esa o'zaro induksiya EYuK e_M vujudga keladi:

$$e_L = -L_S (dI/dt); \quad e_M = -M_S (dI/dt), \quad (28.4)$$

bunda, L_S – seksiyaning induktivligi; I – seksiyadagi tok; M_S – bir vaqtda kommutatsiyalanuvchi seksiyalarning o'zaro induktivligi.

Ikkala EYuK seksiyada natijaviy EYuK e_{nat} ni hosil qiladi:

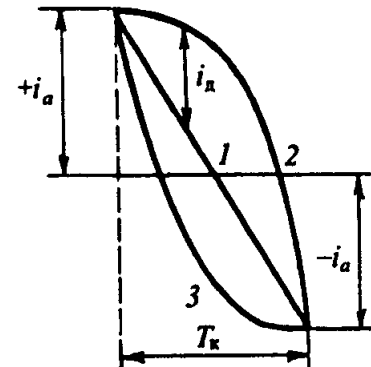
$$e_{nat} = e_L + e_M = e_r. \quad (28.5)$$

Bu EYuK $Lens$ qoidasiga binoan kommutatsiyalanayotgan seksiyada tokning o'zgarishiga to'sqinlik qiladi va, shu sababli reaktiv EYuK (e_r) deyiladi. Bundan tashqari yakor reaksiyasi ta'siri (geometrik neytralda) magnit induksiya biror B_K qiymatga yetadi va bu induksiya ta'sirida ham kommutatsiyalanuvchi seksiyada tashqi maydon tufayli EYuK hosil bo'ladi:

$$e_K = 2B_K \cdot l_\delta \cdot w_S \cdot v_a, \quad (28.6)$$

bunda: l_δ – seksiya aktiv tomonining uzunligi; v_a – seksiya xarakatining tezligi; w_S – seksiyadagi o‘ramlar soni.

28.2-rasm. O‘zgarmas tok mashinasida tok kommutatsiyasi: 1 – ideal to‘g‘ri chiziqli kommutatsiya; 2 – sekinlashgan kommutatsiya; 3 – tezlashgan kommutatsiya



Shunday qilib, kommutatsiyalanuvchi seksiyada quyidagi umumiy EYuK hosil bo‘ladi:

$$\sum e = e_{nat} + e_K. \quad (28.7)$$

Agar mashinada qo‘shimcha qutblar bo‘lmasa, e_{nat} va e_K EYuK lar bir-biriga mos ravishda yo‘naladi va ular ta‘sirida kommutatsiyalanuvchi seksiyada qo‘shimcha kommutatsiya toki I_K hosil qiladi. Bu tokning yo‘nalishi shu seksiyadagi kommutatsiyaning boshlang‘ich davridagi ish toki I ning yo‘nalishi bilan mos bo‘ladi, natijada kommutatsiyalanayotgan seksiyada tok o‘zgarishining kechikishiga olib keladi.

Kommutatsiyalanuvchi tokni reaktiv EYuK hosil qiladi, reaktiv EYuK hosil qilgan tok esa, Lens qoidasiga binoan, elektr zanjirida tokning o‘zgarishiga to‘sqinlik qiladi. Shu sababli cho‘tka 2 ta plastinani bir xil qoplaganda ham kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tok nolga teng bo‘lmaydi. Kommutatsiyaning 2-yarim davridagina 0 ga tushadi natijada kommutatsiya egri chiziqli sekinlashgan bo‘ladi (28.2-rasm, 2).

Mashina ortiqcha yuklama bilan ishlaganda cho‘tkaning tok zichligi katta bo‘lgan tomon qizib, kollektor bilan cho‘tka orasida uchqun chiqa boshlaydi. Kommutatsiyaning asosiy tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$e_r + e_K = I_1 r_1 - I_2 r_2, \quad (28.8)$$

bunda r_1 va r_2 – kommutatsiyalanuvchi seksiya qarshiligi r_s va tegishli cho'tka bilan kollektor plastina orasidagi o'tkinchi qarshilik ($r_{ch.1}$, $r_{ch.2}$)lar yig'indisi.

Qo'shimcha kommutatsiya toki I_K cho'tkadan o'tib kommutatsiyalanuvchi seksiya orqali tutashadi. Natijada cho'tkaning plastina kirib kelayotgan tomonida tok zichligi ortib, kommutatsiya davri oxirida ancha katta qiymatga erishadi. Mashina ortiqcha yuklama bilan ishlaganda cho'tkaning tok zichligi katta bo'lgan tomon qizib, kollektor bilan cho'tka orasidan uchqun chiqa boshlaydi. Buning sababi qisqa tutashgan seksiya zanjirining cho'tkadan uzilishidir. Kommutatsiyalanuvchi seksiyaning qarshiligi ancha kichikligidan uni e'tiborga olmasa ham bo'ladi, u holda (28.8) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$e_r + e_K = I_1 \cdot r_{ch.1} - I_2 \cdot r_{ch.2}. \quad (28.9)$$

Bu tenglama kommutatsiyaning asosiy tenglamasidir.

28.2§. Kommutatsiyaning zararli ta'sirini kamaytirish usullari

O'T mashinalarida qoniqarsiz kommutatsiyaning asosiy sababi kommutatsiyaning qo'shimcha tokidir:

$$i_K = \sum e / \sum r_K, \quad (28.10)$$

bunda $\sum r_K$ – tok i_K ga bo'lgan elektr qarshiliklari yig'indisi.

Eng katta qarshilik, cho'tkaning qarshiligi bilan o'tish kontaktining qarshiligi (r_{ch}) dir.

$$i_K = \sum e / r_{ch}. \quad (28.11)$$

Bundan ko'rinishiga I_K ni kamaytirish uchun yoki r_{ch} ni oshirish, yoki $\sum e$ ni kamaytirish kerak ekan.

Qoniqarli kommutatsiya olish uchun ko'mir-grafitli yoki grafitli cho'tkalar ishlatish maqsadga muvofiqdir, chunki bularda o'tish qarshiligi eng katta bo'ladi. Bunaqa cho'tkalar YuK kam tokli mashinalarda ishlatiladi. Pasaytirilgan kuchlanishli (30 V gacha bo'lgan) mashinalarda esa mis-grafitli yoki bronza-grafitli cho'tkalardan foydalaniladi.

Kommutatsiyalanuvchi seksiyada $\sum e$ ni bir necha usullar bilan kamaytirish mumkin.

$$\sum e = e_L + e_M + e_K = e_{nat} + e_K. \quad (28.12)$$

Kommutatsiya uchun cho'tka kengligining muhim ahamiyati bor. Cho'tka qancha keng bo'lsa, u bir vaqtning o'zida shunchalik ko'p kollektor plastinalarini yopadi. Buning natijasida o'zaro induksiya EYuK e_M ko'payadi. Ingichka cho'tkalarni tanlashning noqulayligi bunda ularning mexanik mustahkamligi kam bo'ladi. Eni $2 \div 3$ sm kollektor bo'linmasiga teng bo'lgan cho'tkalar ishlatish maqsadga muvofiqdir.

Reaktiv EYuK (e_r)ning qiymatiga yakor chulg'aming turi sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Masalan, agar yakor chulg'ami qisqartirilgan qadamli ($y_1 < \tau$) qilinsa, bir vaqtda kommutatsiyalanuvchi seksiyalarning aktiv tomonlari turli pazlarda bo'lib, o'zaro induksiya EYuK (e_M)ning kamayishiga yordam beradi. Seksianing o'ramlar soni kamaytirilganda, $L_s \equiv w_s^2$ bo'lganligidan, uning induktivligi kamayishi tufayli, o'zinduksiya e_L ham kamayadi. Lekin ko'rsatilgan usullar kommutatsiyani to'la yaxshilash uchun yetarli emas. Shu sababli boshqa usullardan ham keng foydalaniladi. Masalan, kompensatsion chulg'am yakor reaksiyasi ta'sirini kamaytiradi. Kommutatsiya oralig'ida tashqi magnit maydoni yaratilib, bu maydon kommutatsiyalanuvchi seksiyalarda reaktiv EYuK (e_r)ga kattaligi jihatidan teng va qarama-qarshi yo'nalgan EYuK (e_K)ni hosil qiladi. Bu holda kommutatsiyalanuvchi seksiyada $\sum e$ nol bo'lib, kommutatsiya to'g'ri chiziqli bo'lib qoladi.

Kommutatsiya oralig'ida tashqi magnit induksiyasini hosil qilish uchun quvvati $P \approx 1 \div 150$ kW bo'lgan mashinalarda – qo'shimcha qutblar, 150 kW va undan katta quvvatli mashinalarda esa qo'shimcha ravishda kompensatsion chulg'am ishlatiladi.

Qo'shimcha qutblar va kompensatsion chulg'amlar yakor chulg'ami bilan ketma-ket ulanadi. Bu holda magnitlovchi kuch ($F_{qo'z}$) mashina yuklamasining o'zgarishi bilan MYuK F_a ga mutanosib ravishda o'zgaradi.

Agar qo'shimcha qutblar magnitlovchi kuchining qiymati ($F_{Qo'sh.Q} > F_A$) qilinsa, $e_K > e_r$ bo'ladi va ish toki I ga qarama-qarshi yo'nalgan kommutatsiya toki I_K paydo bo'lishi tufayli kommutatsiya egri chiziqli tezlashgan bo'ladi (28.2-rasm, 3). Agar $e_K < e_r$ bo'lsa, kommutatsiya sekinlashib qoladi.

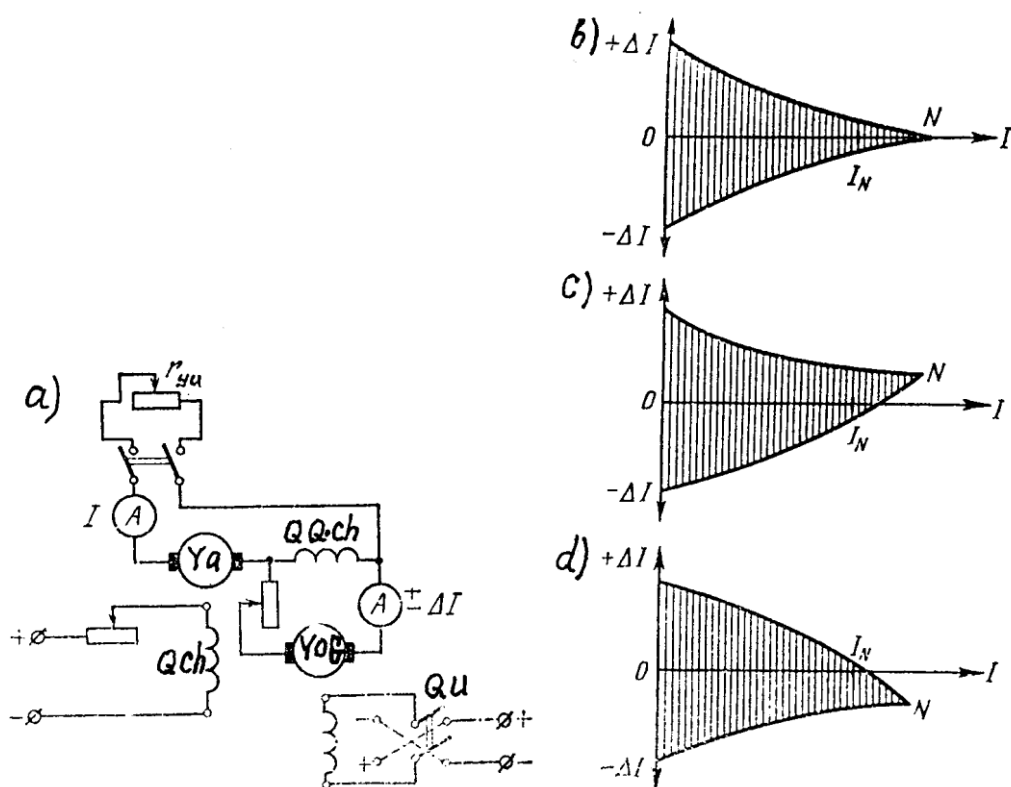
28.3§. Kommutatsiyani tekshirish va sozlash

Kommutatsiya jarayoni juda murakkab hamda qo'shimcha qutblar chulg'ami o'ramlar sonini va ulardagi havo oralig'i o'lchamlarini to'g'ri ulash ancha qiyin bo'lgani uchun zavodda yangi tayyorlangan mashina kommutatsiyasini sozlash talab qilinadi. Kommutatsiyani sozlash qo'shimcha qutblar magnit zanjirining qarshiligini yoki shu qutbdagi qo'zg'atish chulg'aming magnitlovchi kuchini o'zgartirish bilan bajariladi.

Kommutatsiyani tajriba yo'li bilan tahlil qilishda mashina qo'shimcha qutblarining chulg'ami yordamchi O'T generatori (YoG) dan qo'shimcha $+ \Delta I$ tok bilan ta'minlanadi. Bu masala quyidagicha amalga oshiriladi. Oldin mashina salt ishlatiladi ($I_a = 0$), keyin qo'shimcha qutb chulg'amida ($+ \Delta I$) tok kollektordan uchqun chiqquncha oshirib boriladi; bu tezlashtirilgan kommutatsiyaga mos bo'ladi. So'ngra sxemadagi qayta ulagich (QU) yordamida qo'shimcha tokning yo'nalishi o'zgartiriladi va ($- \Delta I$) ning qiymati kollektordan uchqun chiqquncha oshiriladi; bu sekinlashgan kommutatsiyaga mos bo'ladi.

Yuklamaning turli qiymatida shunday tajriba o'tkazib "qo'shimcha tok bilan ta'minlash" egri chiziqlari, ya'ni $+ \Delta I = f(I)$ va $- \Delta I = f(I)$ bog'lanishga oid egri chiziqlari quriladi. Shu egri chiziqlar chegarasida, ya'ni $\pm \Delta I$ toklar oralig'ida kommutatsiya uchqunsiz bo'ladi. Bu oraliq qancha katta bo'lsa, mashinada kommutatsiya shuncha turg'un bo'ladi. Yuklama tokining ortishi bilan kommutatsiyaning turg'unligi kamayadi

Qo'shimcha qutbning magnitlovchi kuchi va havo oralig'i to'g'ri hisoblangan bo'lsa $+ \Delta I = f(I)$ va $- \Delta I = f(I)$ egri chiziqlari yuklama o'qiga nisbatan simmetrik bo'ladi va N nuqtada kesishadi.



28.3-rasm. O'zgarmas tok mashinasining kommutatsiyasini tekshirishda qo'shimcha qutblar chulg'amini "qushimcha tok bilan ta'minlash" egri chiziqlari $[+\Delta I = f(I)]$ ba $-\Delta I = f(I)$ ni tajribada olish sxemasi (a) (bunda: *Qch* – asosiy generatorning qo'shimcha cho'lg'ami; *Yo.G* – yordamchi generator; *QQ.ch* – qo'shimcha qo'zg'atish cho'lg'ami, ya'ni yordamchi generator qo'zg'atish cho'lg'ami; *QU* – qayta ulagich) hamda to'g'ri chiziq (b), sekinlashgan (c) va tezlashgan (d) kommutatsiyalarga oid "qushimcha tok bilan ta'minlash" egri chiziqlari

. Agar qo'shimcha qutb ($Qo'sh.Q$)larning magnit oqimi ($\Phi_{Qo'sh.Q}$) kuchsiz bo'lsa (sekinlashgan kommutatsiyaga mos) *N* nuqta yuklama o'qidan yuqorida joylashadi, agar $\Phi_{Qo'sh.Q}$ kuchli bo'lsa (tezlashgan kommutatsiyaga mos) u pastda joylashadi. Ikkala holda ham mashinada kommutatsiya turg'un bo'lmaydi. Qo'shimcha tok bilan ta'minlash egri chiziqlari yordamida kommutatsiya xarakterini aniqlab qo'shimcha qutblar rostlanadi: sekinlashgan kommutatsiyada $\Phi_{Qo'sh.Q}$ oqim kuchaytiriladi, tezlashgan kommutatsiyada esa $\Phi_{Qo'sh.Q}$ oqim kamaytiriladi. Agar magnit oqimini ancha ko'paytirish talab qilinsa, unda qo'shimcha qutb chulg'amining o'ramlar soni o'zgartiriladi.

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

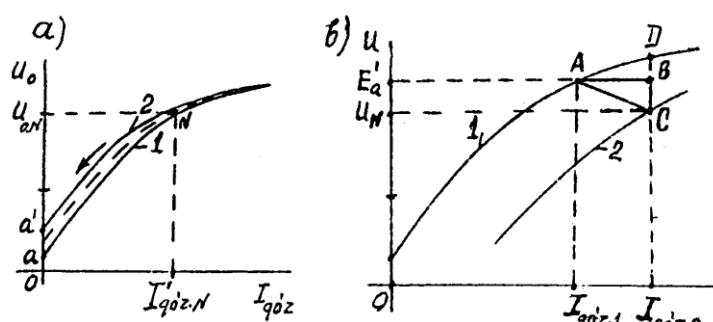
Nazorat savollari

1. Kollektorda uchqun chiqish sabablari nimalardan iborat?
2. Nima sababdan kommutatsiya sekinlashgan yoki tezlashgan bo'ladi?
3. Šo'shimcha qutblarning vazifasi nimalardan iborat?
4. Kommutatsiyani yaxshilash usullari nimalardan iborat?

* * *

29-Bob. O'zgarmas tok generatorlarining xarakteristiklari

29.1§. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining xarakteristiklari



29.1-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining salt ishlash (a) va yuklanish (b) xarakteristikalar

Haqiqatan ham, SIX ning «a» nuqtasi $I_{qo'z} = 0$ bo'lganda, qoldiq magnit oqimining qiymatini ko'rsatadi. 29.1-rasmda ko'rsatilgan 1–1 va 2–2 shoxobchalar bilan chegaralangan maydon gisterezis hodisasi tufayli hosil bo'lib, mashina magnit zanjiri po'lat qismlarining xossasini ko'rsatadi. Nihoyat, SIX da generatorning nominal kuchlanishi (U_N) uning egilgan qismiga (29.1-rasm, N nuqta) to'g'ri keladi. Bu nuqtaga qarab, mashina magnit zanjirining to'yinish holati to'g'risida xulosa yuritishimiz mumkin. Quyidagi sabablarga ko'ra, mashinani loyihalashda nominal kuchlanish U_N ni SIX ning egilgan qismiga to'g'ri keltirib amalga oshiriladi:

1) agar N nuqta to'g'ri chiziq qismiga to'g'ri kelsa, kuchlanishning qiymati noturg'un holatda bo'lib, qo'zg'atish toki salgina o'zgarsa ham kuchlanishning qiymati nisbatan katta o'zgaradi;

2) agar N nuqta SIX ning to'yingan qismida (egilgan qismidan o'ng tomonda) bo'lsa, kuchlanish qiymatini rostlash chegaralanib qoladi.

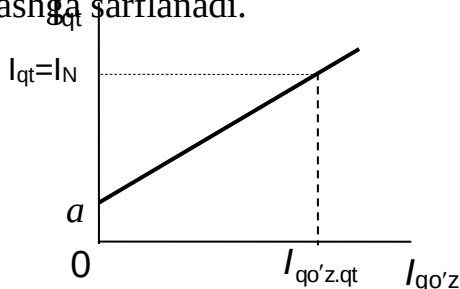
Kuchlanishning $U_0 = (0,55 \div 0,6)U_N$ qiymatlarigacha to'g'ri chiziqli bo'lishi mashinaning magnit zanjiri to'yinmaganligidan dalolat beradi.

Yuklanish xarakteristikasi. Yakor toki $I_a = \text{const}$ ($I_a > 0$) va yakorning aylanish chastotasi $n = n_N = \text{const}$ bo'lganda $U_a = f(I_{qo'z})$ bog'liqlikni ifodalovchi egri chiziq yuklanish xarakteristikasi deyiladi. Yuklanish xarakteristikasining amaliy ahamiyati shundaki, u yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'sirini miqdoriy jihatdan aniqlashga hamda uning mashina magnit zanjiri to'yinishini tekshirishga imkon beradi. Agar bitta yuklanish xarakteristikasi olinadigan bo'lsa, ko'pincha yakor toki $I_a = I_N$ bo'lgan qiymat uchun olinadi.

Yuklanish va SIXlarini solishtirish va ular yordamida xarakteristik uchburchak qurish uchun yuklanish xarakteristikasini SIXning kamayuvchi

shoxobchasi (29.1,b-rasmda, 1) bilan bitta grafikda qurish qulay bo'ladi. Yuklanish xarakteristikasi (2-egri chiziq) quyidagi sabablarga ko'ra SIX ga nisbatan pastda joylashadi: 1) yakor zanjiridagi qarshiliklarda kuchlanish pasayishi; 2) yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri (buning natijasida mashinaning asosiy magnit oqimi va EYuK kamayadi).

Agarda salt ishlash rejimda qo'zg'atish tokining bironta $I_{qo'z.2}$ qiymatida «D» nuqta bilan aniqlanadigan (29.1,b-rasm) kuchlanishga ega bo'lsak, yuklama bilan ishlaganda esa ($I_{qo'z.2}$ ning o'sha qiymatida) generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanishi kamayadi (29.1,b-rasmda «C» nuqta), ya'ni «DC» kesma bilan ifodalanadigan kuchlanish pasayishiga ega bo'lamiz. Bu kesmaning «BC» qismi* yakor zanjiri va cho'tkalardagi kuchlanish pasayishini, «DB» kesma esa yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri tufayli kuchlanish pasayuvini ifodalaydi. Yakor toki $I_a = \text{const}$ bo'lsa, CB kuchlanish pasayuvi ham o'zgarmas bo'ladi. Yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri esa $I_{qo'z}$ ning oshishi bilan o'zgaruvchan bo'ladi, chunki bu holda magnit zanjirining to'yinish darajasi o'zgaradi. EYuK E_a ning bir xil qiymatini olish uchun salt ishlash rejimda $I_{qo'z.1}$ qo'zg'atish toki talab qilinsa, yuklama bilan ishlaganda esa, qiymati $I_{qo'z.2} > I_{qo'z.1}$ bo'lgan qo'zg'atish toki kerak bo'ladi. Bu toklarning farqi yakor chulg'amidagi EYuK E_a ni «DB» qiymatga kamaytiruvchi yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'sirini kompensatsiyalashga sarflanadi.



30.2-расм. Мустақил šез-ђатишли генераторнинг šисša туташув характе-ристikasi

SIX va xarakteristik uchburchak yordamida elektromagnit qo'zg'atishli O'T generatorlarining normal ish jarayonidagi tashqi va rostlash xarakteristikalarini grafik usulda aniqlash mumkin. 29.3-rasmdagi hosil bo'lgan «ABC» uchburchakni xarakteristik (yoki reaktiv) uchburchak deyiladi.

Qisqa tutashuv xarakteristikasi (QTX). Bu xarakteristika – yakor chulg‘ami qisqa tutashtirilib (demak, $U_a = 0$), aylanish chastotasini $n = n_N = \text{const}$ bo‘lgandagi $I_a = f(I_{qo'z})$ bog‘liqlikni ifodalaydi.

QTX ni tajribada qo‘zg‘atish chulg‘ami hosil qiladigan magnit oqimining yo‘nalishi F_{qol} yo‘nalishi bilan mos tushgan hol uchun oladilar. Bu holda qo‘zg‘atish tokini 0 dan boshlab oshirganda qisqa tutashuv (QT) toki I_{qt} bironta a nuqtadan to‘g‘ri chiziqli ko‘rinishda oshadi (29.2-rasm). $I_{qo'z} = 0$ bo‘lganda ham yakor zanjiridan $I_{qt} = 0$ tok o‘tadi. Bu tok Φ_{qol} yakor chulg‘amida vujudga keltirgan kichik qiymatdagi EYuK E_{qol} hisobiga hosil bo‘ladi. Odatda yakor tokining yo‘l qo‘yilgan qiymatlarida QTX deyarli to‘g‘ri chiziqli bo‘ladi.

Agar cho‘tki bilan kollektor orasidagi o‘zgaruvchan kontakt qarshiligini e‘tiborga olmasak (bunda $R_a \approx \text{const}$) QT toki I_{qt} EYuK E_a ga, magnit tizim to‘yinmaganligi uchun bu tok (I_{qt}) qo‘zg‘atish tokiga to‘g‘ri mutanosib ravishda o‘zgarar ekan ($I_{qt} \equiv I_{qo'z}$).

Tashqi va rostlash xarakteristikalari. Generatorni ishlatishdagi asosiy ish jarayonni belgilovchi xarakteristika – tashqi xarakteristikadir. Odatda, generatorlarga nisbatan qo‘yiladigan talab (payvandlash generatorlaridan tashqari) umumiy bo‘lib, ularning qo‘zg‘atish toki $I_{qo'z} = \text{const}$ bo‘lganda, yuklama tokining qiymati 0 dan yo‘l qo‘yilgan qiymatgacha o‘zgarganda, generatorlarning chiqish klemmalaridagi kuchlanishi nominal qiymatidan mumkin qadar kam o‘zgarishi amaliyot uchun muhimdir.

Tashqi xarakteristika – qo‘zg‘atish toki $I_{qo'zN} = \text{const}$ va yakorning aylanish chastotasi $n_N = \text{const}$ bo‘lganda $U_a = f(I_a)$ bog‘liqlikni ifodalaydi. Bu xarakteristikani ahamiyatga ega bo‘lgan ikkita hol uchun tahlil qilish foydalidir: 1) salt ishlash rejimda ($I_a = 0$) yakor chulg‘amida hosil bo‘lgan EYuK ning qiymati $E_0 = U_N$ ga to‘g‘ri kelgan qo‘zg‘atish toki $I_{qo'z.N} = \text{const}$ bo‘lganda yuklama tokini oshirib olish (29.3,a-rasm, 2);

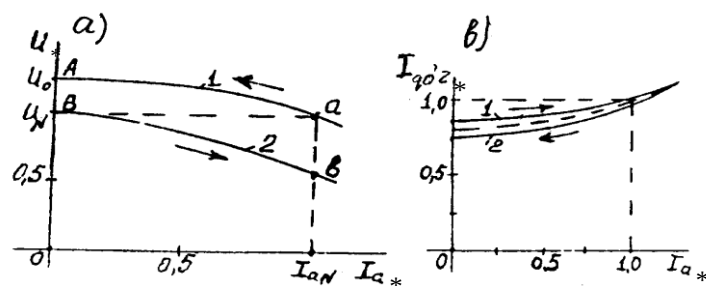
2) yakor chulg‘amining toki $I_a = I_N$ va kuchlanishi U_N bo‘lganda qo‘zg‘atish tokini $I_{qo'z.N} = \text{const}$ qilib, yuklama tokini kamaytirib olish (29.3,a- rasm, 1).

Tashqi xarakteristikani tajribada yuklama tokini $I_a = 0$ dan $I_a = I_N$ gacha oshirib olinganda, generator chiqish klemmlaridagi kuchlanishi, yakor reaksiyasi magnitsizlovchi ta'sirining va yakor zanjiridagi qarshiliklarda kuchlanish pasayishi tufayli bir oz kamayadi (2-egri chiziq). Tashqi xarakteristika egri chizig'ining shakliga yuklama toki tufayli magnet zanjiri to'yinish darajasining o'zgarishi ham sabab bo'ladi.

Ma'lumki, generatorning kuchlanishi (U_a), natijaviy magnet oqimiga bog'liq ravishda o'zgaradigan E_a , yakor zanjiridagi ($I_a R_a$) hamda cho'tkalarda bo'ladigan (ΔU_{ch}) kuchlanish pasayishlari bilan aniqlanadi:

$$U_a = E_a - I_a R_a - \Delta U_{ch}. \quad (29.1)$$

Yuklama toki oshirilganda yakor reaksiyasining mashina asosiy maydoniga bo'lgan magnitsizlovchi ta'siri ortadi. Qo'zg'atish toki $I_{qo'z} = \text{const}$ bo'lganligidan, generatorning natijaviy magnet oqimi, demak, EYuK E_a ham bir oz kamayadi. Tashqi xarakteristikani tajribada olishda davlat standarti tavsiyasi qo'yidagicha: yakorning aylanish chastotasi $n = n_N$ va qo'zg'atish tokini $I_{qo'z.N} = \text{const}$ holda saqlab, yuklama toki I_a ni nominal qiymatidan 0 gacha kamaytirib olish lozim. Yuklama toki kamaya borgan sari, ko'ndalang yakor reaksiyasi ta'sirining susayishi va yakor zanjirida kuchlanish pasayishi $I_a R_a$ ning kamayishi tufayli, yakor chulg'ami chiqish klemmlaridagi kuchlanish tobora oshadi (29.3, a-rasm, 1).



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

Tashqi xarakteristika yuklamani oshirib olinganda kuchlanish pasayuvi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U\% = 100 (U_N - U_a) / U_N, \quad (29.2)$$

bunda U_N – yakor toki $I_a = I_N$ bo‘lganda generator chiqish klemmlaridagi nol kuchlanish.

Kompensatsion chulg‘ami bo‘lmagan o‘rta quvvatli mashinalarda kuchlanishning oshishi, odatda (5÷10) foizni tashkil qiladi.

Rostlash xarakteristikasi. Yakorning aylanish chastotasi $n_N = \text{const}$ va yakorning kuchlanishi $U_N = \text{const}$ bo‘lganida $I_{qo'z} = f(I_a)$ bog‘liqlik – generaratorning rostlash xarakteristikasini ifodalaydi. Bu xarakteristikani, yuklama tokini kamaytirib olingan hol uchun ko‘rib chiqamiz. (29.1) formulaga asosan, agar qo‘zg‘atish toki $I_{qo'z}$ ning qiymatini o‘zgartirmay qoldirilsa, yuklama toki I_a ning kamayishi tufayli yakor reaksiyasining kuchsizlanishi va $I_a R_a$ ning kamayishi sababli, generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanish miqdori oshadi. Lekin, shartga ko‘ra, $U_a = U_N = \text{const}$ bo‘lishi kerak, shu maqsadda, rostlash xarakteristikasini olayotgan paytda qo‘zg‘atish toki $I_{qo'z}$ ni kamaytirib borish lozim bo‘ladi (29.3,b-rasm).

Tajribada rostlash xarakteristikasining ikkita shoxobchasini, ya’ni yuklama toki I_a ni $0 \leq I_a \leq I_N$ oraliqda tobora oshirib (1-shoxobcha), so‘ngra, tok I_a ni I_N qiymatidan asta-sekin 0 gacha kamaytirib (2-shoxobcha) olinadi. Bunda 1-shoxobcha ikkinchiga nisbatan yuqorida joylashadi. Bunga sabab: 1-shoxobchani olishda yuklama toki I_a ning qiymati I_N gacha oshganda bir vaqtning o‘zida qo‘zg‘atish toki $I_{qo'z}$ ham oshiriladi. Bu esa, magnit zanjirining po‘lat qismlarida F_{qol} ning nisbatan ko‘payishiga olib keladi, natijada xarakteristikaning 2-shoxobchasini olganda $U_a = U_N = \text{const}$ bo‘lishi uchun kamroq qo‘zg‘atish magnit oqimi (demak, kamroq qo‘zg‘atish toki) talab qilinadi. Bu ikkala shoxobchaning o‘rtasidan o‘tkazilgan punktir chiziq rostlash xarakteristikasi uchun qabul qilinadi (29.3,b-rasm).

Shuni ta'kidlash kerakki, rostlash xarakteristikasi, yuklama tokini o'zgartirganda generatorning kuchlanishini o'zgartirmay saqlab turish maqsadida, qo'zg'atish tokini rostlash qonuniyatini ifodalaydi. Masalan, yuklama tokini oshirganda generator kuchlanishining nominal qiymati U_N ga nisbatan kamayishini bartaraf etish, ya'ni kuchlanishni $U_N = \text{const}$ qilib saqlash uchun qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ni bir oz oshirish kerak bo'ladi.

29.2§. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining o'z-o'zini qo'zg'atishi va normal rejimdagi xarakteristikalari

Parallel qo'zg'atishli generatorlarning o'z-o'zini qo'zg'atishi (demak, qo'zg'atish uchun alohida O'T manbai talab qilinmasligi) hamda normal yuklamada turg'un kuchlanish berishi sababli ular amalda keng qo'llaniladi.

Salt ishlash xarakteristikasi. Bunday generatorning SIX, mustaqil qo'zg'atishli O'T generatorinikiga o'xshagan bo'lib, yuklama toki $I_a=0$ va yakorning aylanish chastotasi $n_N = \text{const}$ bo'lganda, $U_0 = f(I_{qo'z})$ bog'liqlikni ifodalaydi. Parallel qo'zg'atishli generatorning, salt ishlashida $I_a = I_{qo'z}$ bo'ladi (mustaqil qo'zg'atishlida esa yakor toki $I_a=0$).

Qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$, odatda, yakor zanjiri nominal toki I_{aN} ning (2÷4) foizini tashkil qilgani uchun, O'T generatori kuchlanishi muvozanat tenglamasi (29.1)da kuchlanish pasayishlari ($I_a R_a$ va ΔU_{ch}) kichikligidan ularni e'tiborga olmasdan, $U_0 \approx E_0$ deb hisoblasa bo'ladi.

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

Parallel qo'zg'atishli generatorning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni. Zavod sinovidan o'tgan har qanday O'T mashinasi magnit zanjirining po'lat qismlarida qoldiq magnit oqimi Φ_{qol} mavjud bo'ladi. Agar shunday magnit oqimi mashinada

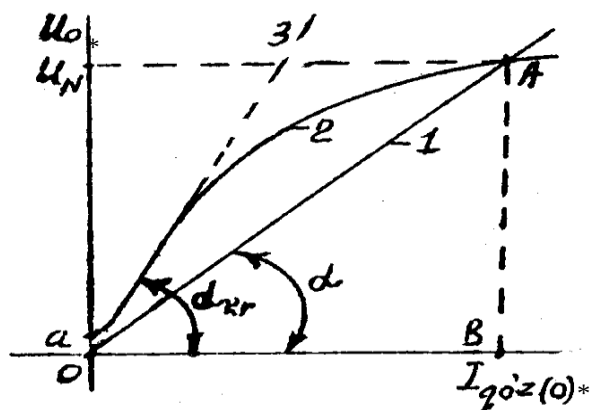
bo'lmasa, uni hosil qilish uchun tashqi O'T manbaini qo'zg'atish chulg'amiga ulab qisqa muddatli tok o'tkazish kerak bo'ladi.

Agar yakor birlamchi motor yordamida aylantirilsa, uning chulg'amida Φ_{qol} ta'sirida, dastlab kam miqdorda EYuK (E_{qol}) hosil bo'lib, uning ta'sirida "yakor chulg'ami–qo'zg'atish chulg'ami" yopiq zanjirida kam miqdorda tok vujudga keladi. Bu tok, o'z navbatida, qo'zg'atish chulg'amida MYuK $F_{qo'z}$ ni hosil qilib, uning ta'sirida qo'shimcha magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ hosil bo'ladi. Mashina o'z-o'zini qo'zg'atish uchun bu oqimning Φ_{qol} ga nisbatan yo'nalishi hal qiluvchi ahamiyatga ega bo'ladi. Agar bu oqimlarning yo'nalishi qarama-qarshi bo'lsa, mashinaning magnit zanjiri magnitsizlanadi va o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni boshlanishga imkon bo'lmaydi. Bu oqimlar mos yo'nalgandagina qo'zg'atish oqimining natijaviy qiymati osha boradi. Bu esa yakor chulg'amidagi EYuK ning ko'payishiga, demak, qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ va oqimi $\Phi_{qo'z}$ larning oshishiga hamda yakor chulg'ami EYuK ning navbatdagi oshishiga olib keladi va hokazo. Agar $r_{qo'z} = \text{const}$ bo'lsa, qo'zg'atish zanjiridagi kuchlanish pasayishi ($I_{qo'z} \cdot r_{qo'z}$) qo'zg'atish tokiga to'g'ri mutanosib ravishda o'zgaradi (29.4-rasm, 1). Bu to'g'ri chiziq absissalar o'qi bilan α burchak hosil qilib o'tadi. Bu burchakni uning tangensi orqali qo'yidagicha aniqlanadi:

$$\text{tg } \alpha = (m_u/m_l) \cdot AB / OB = (m_u/m_l) \cdot (I_{qo'z} \cdot \Sigma r_{qo'z}) / I_{qo'z} \equiv \Sigma r_{qo'z}. \quad (29.3)$$

Demak, mashina salt ishlashida o'z-o'zini qo'zg'atish jarayonining tugagan nuqtasi "A" va koordinatalar boshi 0 orqali o'tgan to'g'ri chiziqning absissalar o'qiga nisbatan qiyalik burchagi α qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $\Sigma r_{qo'z}$ ga to'g'ri mutanosibda bo'lar ekan. $\Sigma r_{qo'z}$ ning ortishi bilan 29.4-rasmdagi A nuqta SIX egri chizig'i bo'yicha 0 nuqta tomon siljiydi. $\Sigma r_{qo'z}$ ning 1-to'g'ri chiziqqa to'g'ri kelgan qiymatidan katta bo'lgan qandaydir qiymatda to'g'ri chiziq SIX egri chizig'ining boshlang'ich qismiga urinma (29.4-rasm, 3) bo'ladi. Qarshilikning ana shu qiymatiga kritik qarshilik ($\Sigma r_{qo'z.kr}$) deyiladi. Bunda generator o'z-o'zini qo'zg'ata olmaydi. Agar qo'zg'atish zanjiri parametrlari $\Sigma r_{qo'z} < \Sigma r_{qo'z.kr}$ bo'ladigan

qilib tanlangan bo'lsa, unda «A» nuqtada o'z-o'zini qo'zg'atish jarayonining turg'unligi



29.4-rasm. YAKorining aylanish chastotasi $n=\text{const}$ bo'lganda parallel qo'zg'atishli generatorning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayonini tushuntirishga oid chizma

ta'minlanadi. O'z-o'zini qo'zg'atish jarayonining «A» nuqta bilan cheklanishi magnit zanjirining to'yinishi hodisasi tufayli bo'ladi. Demak, parallel qo'zg'atishli O'T generatori o'z-o'zini qo'zg'atishi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak ekan: 1) qoldiq magnit oqimi Φ_{qol} ning mavjud bo'lishi; 2) qo'shimcha magnit oqimi $\Phi_{qo'sh}$ qoldiq magnit oqimi Φ_{qol} bilan bir xil yo'nalishda bo'lishi; 3) qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $\Sigma r_{qo'z}$ kritik qarshilik $\Sigma r_{qo'z.kr}$ dan kichik bo'lishi ($\Sigma r_{qo'z} < \Sigma r_{qo'z.kr}$).

Bu shartlar $n = \text{const}$ ($n > n_{kr}$) bo'lgandagi parallel qo'zg'atishli O'T generatori o'z-o'zini qo'zg'atishining asosiy shartlari hisoblanadi.

Yuklanish xarakteristikasi. Uning tajribada olinishi va o'zgarish xarakteri, xuddi mustaqil qo'zg'atishli generatorlarniki kabi bo'ladi (29.1-rasmga qarang).

Rostlash xarakteristikasi. Parallel qo'zg'atishli O'T generatorining rostlash xarakteristikasi, xuddi mustaqil qo'zg'atishli generatorniki kabi (29.3,b-rasmga qarang), $U_a = U_N = \text{const}$ va $n = n_N = \text{const}$ bo'lganda, $I_{qo'z} = f(I_a)$ bog'liqlikdir. Bu xarakteristika, yuklama tokining har xil qiymatlarida yakor zanjirining kuchlanishini $U_a=U_N=\text{const}$ qilib saqlab turish uchun qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ning o'zgarishi qanday tarzda bo'lishini ko'rsatadi. Agar yakor toki I_a va yuklama toki I_{yu} larning ozgina farqini e'tiborga olmasak, parallel qo'zg'atishli

generatorning rostlash xarakteristikasi mustaqil qo'zg'atishli generatorkidan farq qilmaydi (29.3,b-rasm).

Tashqi xarakteristikasi. Bu xarakteristika $\Sigma r_{qo'z} = r_{qo'z} + r_{sh.r} = \text{const}$ va $n = n_N = \text{const}$ bo'lganda, $U_a = f(I)$ bog'liqlik ko'rinishda bo'ladi.

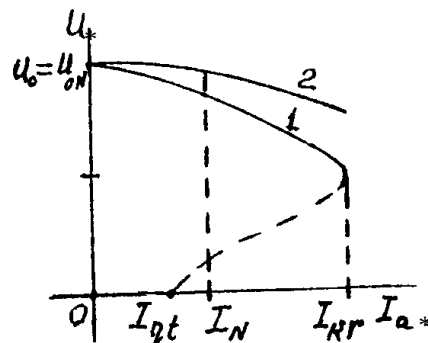
Parallel qo'zg'atishli generatorning bu xarakteristikasi xuddi mustaqil qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasi kabi, qo'zg'atish tizimidagi rostlovchi reostatning dastlabki olingan nuqtadagi ($U_a = U_N$) holatini o'zgartirmasdan yuklama tokining o'zgarishi yakor zanjirining chiqishidagi kuchlanishi U_a ga qanday ta'sir qilishini ko'rsatadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, mustaqil qo'zg'atishli generatorda qo'zg'atish toki o'zgaras bo'lsa, parallel qo'zg'atishli generatorlarda esa, $U_{qo'z} = U_a$ bo'lganligidan qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ o'zgaradi, ya'ni

$$I_{qo'z} = U_{qo'z} / \Sigma r_{qo'z} \neq \text{const} \quad (29.6)$$

bo'ladi. Demak, qo'zg'atish zanjiridagi qarshilik $\Sigma r_{qo'z} = \text{const}$ bo'lsa, qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ generator yakorining kuchlanishiga mutanosib ravishda o'zgarar ekan.

29.5-rasm. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining tashqi xarakteristikasi (1); 2 – muataqil qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasi (taqqoslash ychun keltirilgan)



Yuklama tokini oshirib olingan tashqi xarakteristikalarini taqqoslasak (29.5-rasm), parallel qo'zg'atishlida bu xarakteristika mustaqil qo'zg'atishlinikiga nisbatan pastroqda joylashganini ko'ramiz. Bu quyidagicha tushuntiriladi. Agar mustaqil qo'zg'atishli generatorda yuklama tokining oshishi bilan kuchlanishning tushishiga: 1) yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri va 2) yakor zanjiridagi kuchlanishning pasayishi sabab bo'lsa, parallel qo'zg'atishli generatorda bunga 3-sabab qo'shiladi, ya'ni yuqorida ko'rsatilgan 2 ta sababga ko'ra, yakor zanjiridagi (demak, qo'zg'atish zanjiridagi) kuchlanishning kamayishi (chunki $U_{qo'z} = U_a$)

tufayli qo'zg'atish tokining kamayishi ta'sir ko'rsatadi. Demak, shu 3-sababga ko'ra, parallel va mustaqil qo'zg'atishli generatorlarning tashqi xarakteristikalari bir-biri bilan farq qilar ekan.

Agar tashqi xarakteristikani tajribada olish jarayonida yuklama qarshiligi R_{yu} ni 0 gacha kamaytirishni davom qildirsak (29.5-rasmda 2-punktir chiziq), yakor toki I_a haddan tashqari oshib ketadi, chunki bunda $U_a = 0$ bo'lib, qisqa tutashuv rejimiga ega bo'lamiz. Yakor tokining yo'l qo'yilgan qiymatidan oshib ketishi yakor chulg'amini ishdan chiqaradi.

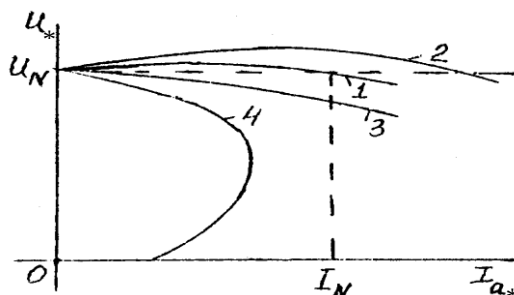
Parallel qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasini olishda R_{yu} ni 0 gacha kamaytirsak yuklama toki $I_{yu} = I_a$ o'zining kritik $I_{kr} = (2 \div 2,5)I_N$ qiymatigacha oshib, keyin esa kamaya boradi (29.5-rasm, 1-punktir egri chiziq). Buni quyidagicha tushuntirish mumkin. Ma'lumki, R_{yu} qarshilikning kamayishi yuklama tokining oshishiga olib kelishi kerak, ammo yuqorida ko'rsatilgan 3 ta sababga ko'ra generatorning chiqish klemmlaridagi kuchlanishning kamayishi, teskari yo'nalishda ta'sir qiladi. Yuklama tokining qiymati yuklama qarshiligi va generator kuchlanishining qiymatlariga bog'liq ravishda o'zgaradi.

Xulosa qilib shuni ta'kidlash mumkinki, mustaqil va parallel qo'zg'atishli generatorlarning xarakteristikalari va xossalari yuklama tokining $I_a = 0$ dan $I_a = I_N$ gacha o'zgarishida bir-biridan kam farq qiladi.

29.3§. Aralash qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining xarakteristikalari

Bu turdagi generatorning ikkita qo'zg'atish chulg'ami bo'lib, ulardan biri yakor chulg'amiga parallel qilib, ikkinchisi esa unga ketma-ket qilib ulanadi. Ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami faqat aralash qo'zg'atishli generatorlarda yaxshi samara beradi. Parallel (FSh) va ketma-ket (FS) qo'zg'atish chulg'amlari hosil qilgan MYuK larning birgalikdagi ta'siridan umumiy qo'zg'atish oqimi $F_{qo'z}$ vujudga keltiriladi. Ko'pincha qo'zg'atish chulg'amlari, ular hosil qilgan magnit oqimlari bir xil yo'naladigan qilib ulanadilar. Ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami yakor reaksiyasi MYuK ni va yakor zanjirida kuchlanish pasayuvi ($I_a R_a$) ni kompensatsiyalaydi. Shu tarzda generator klemmlaridagi kuchlanishni avtomatik

ravishda rostlashga erishiladi. Aralash qo'zg'atishli generatorlar magnit zanjirining to'yinish darajasi kam bo'lgan mashinalar turiga kiradi.



29.6-rasm. Aralash qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikalar (1; 2; 4); 3 – parallel qo'zg'atishli uchun (taqqoslash uchun keltirilgan)

Tashqi xarakteristikasi. Bu xarakteristika, parallel qo'zg'atish zanjiridagi qarshilik $\Sigma r_{qo'z} = \text{const}$ va $n = n_N = \text{const}$ bo'lganda $U_a = f(I_a)$ bog'liqlikni ifodalaydi. Bu xarakteristika, normal ishlatish xarakteristikasi bo'lganligidan uning tahlili katta ahamiyatga egadir.

Ketma-ket qo'zg'atish chulg'amining o'ramlar soni shunday tanlanadiki, u hosil qilgan MYuK yakor reaksiyasini va yakor zanjirida kuchlanish pasayishini, $I_a = I_N$ qiymatda bartaraf qilsin (29.6-rasm). Ammo, ko'pincha generator klemmalaridagi kuchlanishni bir xil qilish talab qilinmay (29.7-rasm, 1), balki elektr energiya iste'molchilaridagi kuchlanishning qiymati $U_N = \text{const}$ bo'lishi talab qilinadi. Buning uchun, qo'shimcha ravishda liniya simlaridagi kuchlanish pasayishini ham bartaraf qilish kerak bo'ladi. Buning uchun ketma-ket qo'zg'atishli chulg'amning o'ramlari w oshiriladi (29.6-rasm, 2).

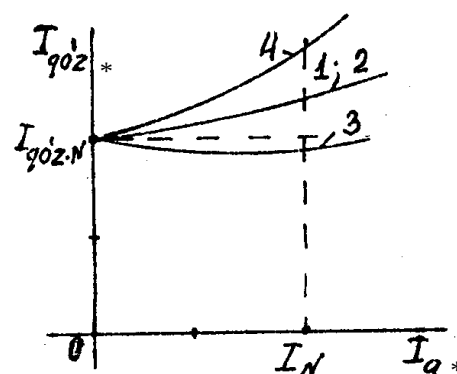
Bu rasmda har xil qo'zg'atishli (ketma-ket qo'zg'atishlidan boshqa) o'zgar-mas tok generatorlarining yuklamasi oshirib olingan tashqi xarakteristikalar taqqoslangan. Parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari qarama-qarshi ulangan hol (29.6-rasm, 4) payvandlash generatorlarida ishlatiladi.

Rostlash xarakteristikasi. Bu xarakteristika, $U_a = U_N = \text{const}$ va $n = n_N = \text{const}$ bo'lgandagi $I_{qo'z} = f(I_a)$ bog'liqlikni ifodalaydi. Bu xarakteristika aralash qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasi ko'rinishiga bog'liq bo'ladi.

Generatorning ketma-ket qo'zg'atishli chulg'aming o'ramlar sonini ko'proq qilib, ya'ni yuklama toki o'sishi bilan yakor zanjirining chiqish klemmlaridagi kuchlanishi oshadigan qilib tayyorlansa, unda bu generatorning rostlash xarakteristikasi 29.8-rasmdagi 3-egri chiziq ko'rinishida bo'ladi.

Bu xarakteristikalar, yuklama toki o'zgarishi bilan, generatorning kuchlanishi $U = U_N = \text{const}$ bo'lishi uchun, parallel qo'zg'atish chulg'amidagi tokni qanday o'zgartirish kerakligini ko'rsatadi.

29.7-rasm. Qo'zg'atish chulg'amlari har xil ulanish sxemalariga xos bo'lgan aralash qo'zg'atishli generatorning rostlash xarakteristikalari (1, 2, 3, 4 – belgilashlar 24.6-rasmdagilar bilan bir xil).



Qo'zg'atish chulg'amlari to'g'ri yoki teskari ulanganligini yuklanish usuli bilan tekshirish mumkin. Buning uchun salt ishlashda yakorning aylanish chastotasi $n = n_N$ bo'lganda generatorni nominal kuchlanishga qadar qo'zg'atiladi va, so'ngra, uning yuklama tokini oshira boshlaymiz. Agar bunda generator kuchlanishi ozroq ortsa, bu ikki qo'zg'atish chulg'amlari to'g'ri ulangan bo'lib, agarda bu chulg'amlar teskari ulanganda kuchlanishning kamayishi sezilarli bo'ladi.

Shuni eslatib o'tish lozimki, faqat parallel qo'zg'atish chulg'amidagi tokning yo'nalishini o'zgartirib, qo'zg'atish chulg'amlarning o'zaro ulanishlarini o'zgartirib bo'lmaydi, bunga sabab, parallel qo'zg'atish chulg'amidagi tok yo'nalishining o'zgarishi yakor chulg'amidagi EYuK ning yo'nalishini o'zgartiradi, bu esa, o'z navbatida, yakor tokining va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amidagi tokning ham yo'nalishini o'zgartiradi.

Nazorat savollari

1. O'zgarmas tok generatori (O'TG)ning tuzilishi va ishlash prinsipini so'zlab bering.

2. Mustaqil qo'zg'atishli O'TG ning tashqi va rostlash xarakteristikalarini tahlil qilib bering.
3. Parallel qo'zg'atishli O'TG ning mustaqil qo'zg'atishli turidan asosiy afzalligi nimadan iborat?
4. Parallel qo'zg'atishli O'TG ning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni qanday sodir bo'ladi?
5. Aralash qo'zg'atishli O'TG dagi ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami qanday vazifani bajaradi?

* * *

30–Bob. O‘zgarmas tok motorlari

30.1§. Ishlash prinsipi va ish jarayonining asosiy tenglamalari

Boshqa EM lari kabi O‘T mashinalari ham Lens kashf qilgan qaytuvchanlik xossasiga binoan, ular generator sifatida ham, motor sifatida ham ishlay oladi.

Tuzilishi. O‘TM ning tuzilishi generatorkidan farq qilmaydi, ya’ni qo‘zg‘almas qismi – stator: stanina, bosh va qo‘shimcha qutblar, qo‘zg‘atish chulg‘ami, cho‘tka tutqich (cho‘tkalari bilan), podshipnik qalqonlari va boshqa yordamchi qismlardan iborat (30.1-rasm).

Asosiy qutblar mashinaning asosiy magnit oqimini hosil qiladi. Qo‘shimcha qutblar esa mashinaning cho‘tkalari joylashgan o‘qi, ya’ni geometrik neytral (ko‘ndalang o‘qi) bo‘yicha yuklama tokiga mutanosib ravishda o‘zgaradigan magnit maydonini hosil qilib, cho‘tkalarning uchqunsiz ishlash sharoitini (kommutatsiyani) yaxshilaydi.

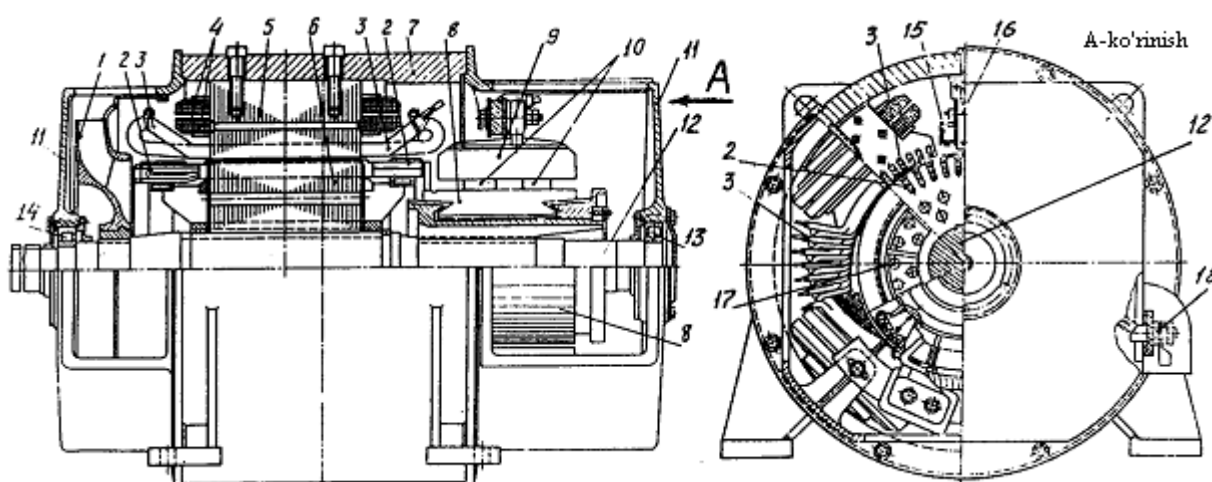
Aylanadigan qismi – yakor: yakor chulg‘ami, kollektor, ventilyator, podshipnik, val va boshqa yordamchi qismlardan iborat (30.1-rasm). Yakorning o‘zagi qalinligi 0,5 mm bo‘lgan elektrotexnik po‘lat listlardan yig‘iladi. Bu holda uyurma toklar tufayli hosil bo‘ladigan isroflar kamayadi.

Ishlash prinsipi. O‘TM larining ishlashi «magnit maydoniga joylashtirilgan tokli o‘tkazgich orasida o‘zaro ta’sir kuchi vujudga kelishi»ga asoslangan. Bu hodisaning asosida quyidagi kashfiyotlar: «tokli o‘tkazgichning magnit strelkasiga ta’siri» (Ersted); «tokning magnit qutbiga ta’siri» (Bio va Savar) va Amporning «Elektrodinamik xodisalar nazariyasi» yotadi.

Agar O‘T mashinasi O‘T energiya manbaiga ulansa, mashinaning qo‘zg‘atish chulg‘amidan va yakor chulg‘amidan toklar o‘tadi. Yakor toki qo‘zg‘atish maydoni (asosiy maydon) bilan ta’sirlashib yakor valida elektromagnit moment M ni hosil qiladi. Lekin bu moment generatoridagi singari tormozlovchi emas, balki aylantiruvchi bo‘ladi va uning ta’sirida mashina yakori aylana

boshlaydi. Bu holda mashina, tarmoqdan elektr energiyani olib, motor sifatida ishlaydi va uni mexanik energiyaga aylantiradi.

O‘T mashinasi generator sifatida ishlaganida kollektor va cho‘tkalar to‘g‘rilagich vazifasini bajaradi. Motor rejimida ishlaganida esa, kollektor va uning sirtiga tegib turuvchi cho‘tkalarni, o‘tkazgichlaridan o‘zgaruvchan tok o‘tuvchi yakor chulg‘amini O‘T tarmog‘i bilan bog‘lovchi, chastota o‘zgartirgich, deb qarash mumkin.



30.1-rasm. Umumiy maqsadli P seriyaga mansub bo‘lgan o‘zgarmas tok motori:

1 – ventilyator; 2 – yakor chulg‘ami; 3 – kompensatsion chulg‘am; 4 – bosh qutb qo‘zg‘atish chulg‘amining g‘altagi; 5 – bosh qutb o‘zagi; 6 – yakorning po‘lat o‘zagi; 7 – stanina (tana gardishi); 8 – kollektor plastinasi; 9 – cho‘tka tutqich; 10 – cho‘tkalar; 11, 11’ – oldingi va orqa tomondagi podshipnikli qalqonlar; 12 – val; 13, 14 – sharikli (kollektor tomondagi) va rolikli (orqa tomondagi) podshipniklar; 15 – qo‘shimcha qutb qo‘zg‘atish chulg‘amining g‘altagi; 16 – qo‘shimcha qutb o‘zagi; 17 – ventilyatsion kanallar; 18 – qisqich

Qutblarning berilgan qutbiyligi (ishorasi)da va yakor aylanishining ma‘lum yo‘nalishida yakor chulg‘amidagi EYuK ning yo‘nalishi generator va motor rejimlarida ishlaganida bir xil bo‘lib, yakor chulg‘ami tokining yo‘nalishi har xil bo‘ladi. Shu sababdan O‘TM yakorining magnit maydoni generator rejimdagiga nisbatan yo‘nalishi teskari bo‘lib, yakor reaksiyasi ham teskari ta‘sir qiladi, ya‘ni:

1) cho‘tkalar geometrik neytralda bo‘lganida ko‘ndalang yakor reaksiyasi asosiy magnit maydonini qutb o‘qidan o‘ng tomonida susaytiradi, uning chap tomonida esa, kuchaytiradi;

2) cho'tkalar yakor aylanishi tomonga siljigan bo'lsa, yakorning bo'ylama magnit yurituvchi kuchi (MYuK) ham vujudga keladi, agar cho'tkalar teskari tomonga siljigan bo'lsa, bu MYuK bo'ylama magnitsizlovchi ta'sir qiladi.

Odatda, O'TMda cho'tkalarni yakor aylanishiga teskari tomonga siljiriladi, bu holda MYuK magnitsizlovchi ta'sir qilib, yakor aylanish chastotasini o'zgartiradi. O'TM larining ish jarayoni: ishga tushirish, ish, mexanik, rostlash va tormozlash xarakteristikalaridan iborat bo'ladi. Ish jarayonining asosiy tenglamalari. O'TM larining istalgan rejimdagi ishini momentlarining va elektr yurituvchi kuchlarining muvozanat tenglamalari belgilaydi.

O'TM da asosiy maydon va yakor chulg'aming tokli o'tkazgichlari o'zaro ta'sirlashuvi natijasida hosil bo'ladigan elektromagnit moment M_{em} yakorni aylanma harakatga keltiradi va shu sababli, uni aylantiruvchi moment deyiladi. Uning kattaligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$M = N p \cdot \Phi \cdot I_a / (2\pi \cdot a) = C_M \Phi \cdot I_a, \quad (30.1)$$

bu yerda: N , a – tegishli yakor chulg'aming o'tkazgichlari va parallel shoxobchalari sonlari; p – mashinaning juft qutblari soni; $C_M = p \cdot N / (2\pi \cdot a)$ – berilgan mashinaning konstruksiyasiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik; Φ – mashinaning natijaviy magnit oqimi.

O'TM momentlarining muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$M = M_0 + M_2 \pm M_D, \quad (30.2)$$

bunda $M_D = J \cdot d\omega/dt$ – dinamik moment. Bu momentning «musbat» ishorasi – rotor tezlanishda bo'lganida va «manfiy» ishorasi esa rotor aylanishi sekinlashganda qabul qilinadi.

(30.2) tenglamadan: O'TMning istalgan rejimdagi ishida uning aylantiruvchi (M_{em}) va tormozlovchi (M_t) momentlari miqdor jihatdan o'zaro teng va yo'nalishi jihatdan qarama-qarshidir, degan xulosa kelib chiqadi.

Barqarorlashgan ish rejimda O'TM $n = \text{const}$ aylanish chastota bilan ishlaydi, demak, bu rejimda $M_D = 0$, shuning uchun (30.2) ifoda quyidagicha yoziladi:

$$M = M_0 + M_2 . \quad (30.3)$$

O‘TMning yakori magnit maydonda aylanganida yakor chulg‘ami o‘tkazgichlarida, elektromagnit induksiya qonuniga muvofiq, EYuK vujudga keladi. Uning qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$E_a = C_E \Phi \cdot n, \quad (30.4)$$

bunda $C_E = p \cdot N / (60a)$ – berilgan mashina uchun o‘zgarmas bo‘lgan kattalik; n – yakorning aylanish chastotasi.

Bu EYuK ning yo‘nalishi yakor chulg‘ami toki yo‘nalishiga qarama-qarshi bo‘ladi, demak, yakor zanjiri uchlariga berilgan kuchlanish U ga ham teskari yo‘nalgan bo‘ladi. Shu sababli O‘TM yakor chulg‘aming EYuK ($-E_a$) – teskari EYuK deyiladi.

O‘TM EYuK larining muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$a) \text{ umumiy hol uchun: } U = e_a + i_a R_a + L_{ad} di_a / dt; \quad (30.5)$$

$$b) \text{ barqaror ish rejimi uchun: } U = E_a + I_a R_a , \quad (30.6)$$

bunda e_a va i_a – yakor chulg‘ami EYuK va toklarining oniy qiymatlari; R_a – yakor zanjirining to‘la qarshiligi; $L_{ad} di_a / dt = 0$; E_a – teskari EYuK ($-E_a$) ni muvozanatlaydigan kuchlanishning tashkil etuvchisi; barqaror rejimda tok I_a ham miqdor jihatdan o‘zgarmasdir.

(30.6) dan yakor tokining qiymatini topamiz:

$$I_a = (U - E_a) / R_a. \quad (30.7)$$

(30.7) tenglama O‘TM ishini xarakterlovchi nihoyatda muhim tenglama hisoblanadi.

31.2§. O‘zgarmas tok motorlarini ishga tushirish

Ishga tushirish jarayoni quyidagilar bilan, ya’ni: a) ishga tushirish tokining karrali ($I_{i,t} / I_N$); b) ishga tushirish momentining karrali ($M_{i,t} / M_N$); v) ishga tushirish jarayonining ravonligi; g) ishga tushirish davri $t_{i,t}$; d) ishga tushirish uskunalarining tannarxi va energiya sarflari bilan xarakterlanadi.

O‘TM larini ishga tushirishning quyidagi usullari qo‘llaniladi:

1) bevosita («reostatsiz») ishga tushirish, bunda yakor chulg‘ami to‘g‘ridan-to‘g‘ri, ya’ni reostatsiz elektr tarmog‘iga ulanadi.

2) reostatli ishga tushirish, bunda tokning qiymatini cheklash maqsadida yakor zanjiriga ketma-ket qilib maxsus ishga tushirish reostati yoki qo'shimcha qarshilik ulanadi.

3) maxsus ishga tushirish agregati yordamida ishga tushirish (bunda yakor chulg'amiga beriladigan kuchlanishni ravon oshirish ko'zda tutiladi).

a) O'TMni bevosita ishga tushirish. Dastlabki paytda motorning aylanish chastotasi $n = 0$ bo'lganligidan, yakor chulg'ami EYuK $E_a=0$ bo'lib, yakor chulg'amining toki quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$I_{i,t} = U/R_a . \quad (30.8)$$

Yakor zanjiri qarshiligi r_a ning qiymati kichik bo'lganligidan ishga tushirish toki nominal tokka nisbatan $10 \div 20$ marta katta bo'lib, mashina kollektorida kuchli uchqun chiqishiga olib keladi va zarbiy moment hosil bo'ladi. Bu hol O'TM ulangan tarmoq uchun ham, motorning valiga ulangan mexanizm uchun ham zararlidir. Shu sababli O'TM ni bevosita ishga tushirish usuli faqat kichik quvvatli elektr motorlarida qo'llaniladi, chunki bunday EMlarida yakor chulg'ami qarshiligi r_a ning qiymati nisbatan katta bo'ladi (chunki qarshilik r_a ning qiymati simning kesim yuzasiga teskari mutanosibda bo'lishligidir).

Hozirgi vaqtda ishga tushirish toki nominal tokdan $6 \div 8$ marta oshganda ham, quvvati 6 kW gacha bo'lgan O'TM larini reostatsiz (tezkor avtomatlar qo'llash yo'li bilan) ishga tushirish mumkinligi aniqlangan. Bunda aylanish chastotani oshirish jarayoni yakor zanjiriga bir nechta kuchlanish impulsini berib amalga oshiriladi, ya'ni tokning qiymati oldindan belgilangan qiymatga yetganda yoki undan oshganda avtomat yakor zanjirini uzib qo'yadi va bu tok oldindan belgilangan qiymatga kamayganda avtomat yakor zanjirini tarmoqqa qaytadan ulab beradi.

b) O'TM ni «reostatli» ishga tushirish. Quvvati $P > 0,5$ kW bo'lganlarida ishga tushirish tokini kamaytirish uchun yakor zanjiriga ketma-ket qilib ishga tushirish reostatini ulaydilar. Ishga tushirish jarayoni silliq o'tishi uchun ishga tushirish reostati qarshiligini, odatda alohida elementlardan iborat bo'lgan ko'p

pog'onali (1...4) qilib bajariladi. Bu holda ishga tushirish toki quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_{i,t} = U / (r_a + R_r), \quad (30.9)$$

bu yerda R_r – ishga tushirish reostatining qarshiligi.

O'TM ni ishga tushirish davri $t_{i,t}$ nisbatan ko'p bo'lmaganligidan, ishga tushirish reostatining qarshiligi shunday tanlanadiki, bunda ishga tushirish toki $I_{i,t} \leq (2 \div 3) I_N$ bo'lishi kerak.

Quvvati katta bo'lgan O'TM larini ishga tushirish uchun reostatlarni qo'llash maqsadga muvofiq bo'lmaydi, sababi, bunda O'TM aylanuvchi qismlari massasining momenti J ga to'g'ri mutanosib bo'lgan energiya isroflari katta bo'ladi. Shuning uchun bunday O'TM ni ishga tushirishda kuchlanishni kamaytirish yo'li maxsus ishga tushirish agregatidan foydalanib amalga oshiriladi (masalan, elektrovozning tortish O'TM larini ishga tushirishda) yoki elektr motorlarini «generator – motor» sxemasi yordamida ishga tushiriladi.

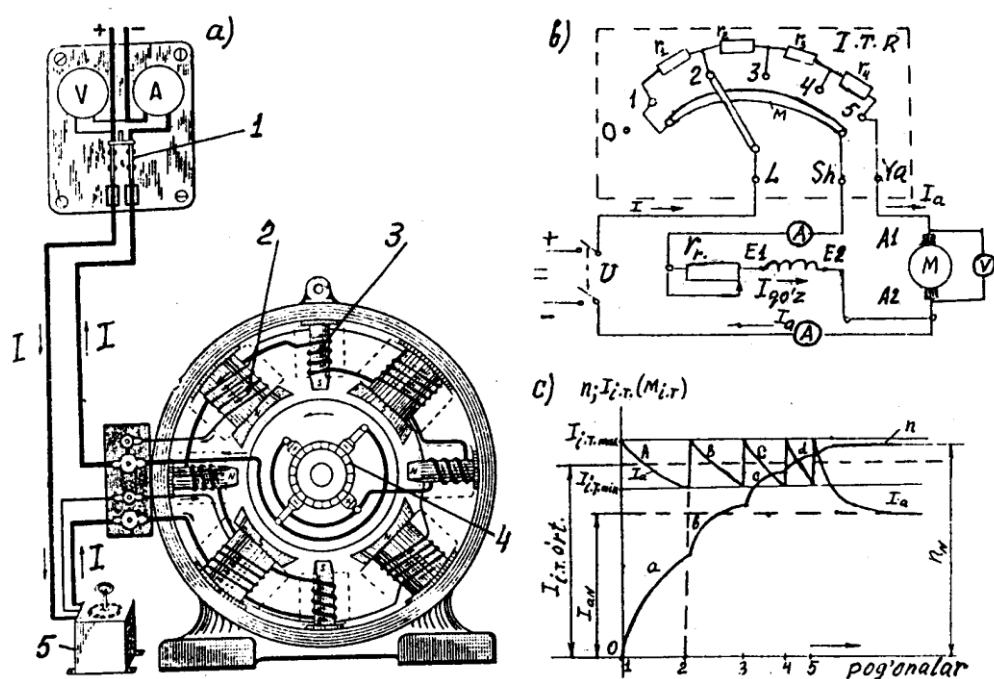
v) Parallel qo'zg'atishli motorni ishga tushirish. Reostatli ishga tushirish amalda eng ko'p qo'llaniladigan usuldir. 30.2-rasmda uchta (L, Sh, Ya) uchli ishga tushirish reostatining sxemasi ko'rsatilgan. Ko'rilayotgan reostat o'zaro ketma-ket ulangan to'rtta pog'onadan iborat. Bular 6 ta kontaktga ega bo'lib, ulardan boshlang'ichi – nol (0), to'rtta (1÷4) oraliqdagi va oxirgisi (5) – ishchidir. 4 – pog'onaning oxiri 5 –kontakt va «Ya» harfi bilan belgilangan ulanish joyiga birlashtirilgan: «M» harfi bilan belgilangan misdan yasalgan yoy esa «Sh» harfi bilan belgilangan ulanish joyiga birlashtirilgan. Siljiydigan kontaktlari reostatining tutqichiga mahkamlangan va «L» harfi bilan belgilangan ulanish joyi bilan birlashtirilgan bo'lib, bu kontaktlar yordamida tarmoq simining birontasiga ulanadi. Ishga tushirishdan oldin reostatning tutqichiga mahkamlangan siljiydigan kontaktning uchi «0» kontaktida bo'lilishi shart. Yakor zanjiridagi ishga tushirish tokining cheklangan qiymatida ishga tushirish momentini oshirish maqsadida asosiy qutb magnit oqimining qiymatini ko'paytirish uchun qo'zg'atish tizimidagi rostlash reostatining qarshiligi $r_{r,qo'z} \approx 0$ bo'lishi kerak (30.2,a-rasm). Ishga tushirish reostatining tutqichini kontakt «0» dan kontakt «1» ga ko'chirganda

qo'zg'atish chulg'amiga, darhol, qiymati $U_N = U$ bo'lgan kuchlanish beriladi, yakor chulg'amiga esa, uning zanjiri bu holda ishga tushirish reostatining to'la $R_{i.t.r} = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$ qarshiligiga ulanganligi sababli, pasaygan kuchlanish beriladi. Natijada qo'zg'atish chulg'amidagi tokning qiymati katta bo'lib, yakor zanjiridan esa (30.9) tenglama bilan aniqlanadigan tok o'tadi. Ishga tushirishning boshlanishida yakorning aylanish chastotasi $n = 0$ bo'lganligidan (30.9) ning suratidagi $E_a = 0$ bo'ladi.

Agar yakor reaksiyasi O'TM ning asosiy magnit oqimiga ta'sir qilmaydi deb hisoblasak, unda $\Phi = \text{const}$ bo'ladi. Tok $I_{i.t.\max}$ ga boshlang'ich ishga tushirish momenti to'g'ri keladi:

$$M_{i.t.} = C_M \Phi I_{i.t.\max} \quad (30.10)$$

Agar bu moment $M_{i.t.} > M_{st} = M_0 + M_2$ bo'lsa, unda O'TM ning yakori aylana boshlaydi. Bunda yakor chulg'amini hosil qiladigan o'tkazgichlar o'zgarmas magnit oqimning kuch chiziqlarini kesadi va, $I_{qo'z} = \text{const}$ bo'lganligidan, bu o'tkazgichlarda yakorning aylanish chastotasi n ga mutanosib bo'lgan teskari EYuK vujudga keladi (30.2, b-rasm, «a» egri chizig'i).



30.2-rasm. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motprda: a – tajriba o'tkazish qurilmasi (bunda: 1 – ulab-uzgich; 2 – qo'zg'atish chulg'ami; 3 – qo'shimcha qutb chulg'ami; 4 – kollektor; 5 – ishga tushirish reostati); b – motorni ishga tushirish sxemasi (ITR – ishga tushirish reostati, M – mis yoyi); c – “reostatli” ishga tushirish jarayonidagi tok, moment va aylanish chastotalarining o'zgarish xarakteri

Shu rasmdagi «A» egri chiziq esa, teskari EYuK vujudga kelganligi tufayli (30.9) ifodaga binoan, ishga tushirish tokining va (30.10) ifodaga ko‘ra bu tokka mutanosib bo‘lgan ishga tushirish momentining kamayishini ko‘rsatadi (chunki qo‘zg‘atish toki $I_{qo'z} = \text{const}$ bo‘lganda qo‘zg‘atish magnit oqimi ham $\Phi_{qo'z} = \text{const}$ bo‘ladi va bitta «A» egri chizig‘i orqali har xil masshtabda ifodalangan ishga tushirish toki $I_{i,t}$ va ishga tushirish momenti $M_{i,t}$ ko‘rsatilgan).

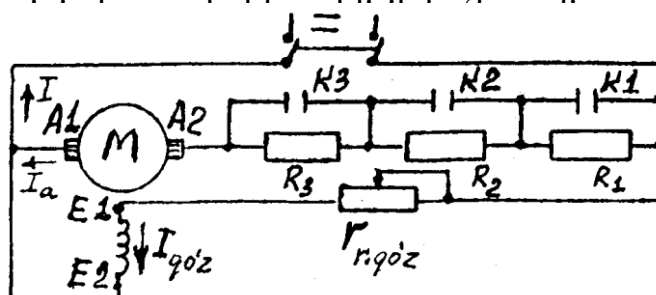
Ishga tushirish toki $I_{i,t,\min}$ qiymatgacha kamayganda reostatining «T» tutqichi kontakt «2» ga ko‘chiriladi (bunda 1-pog‘onaning qarshiligi r_1 keyingi jarayonda qatnashmaydi). Bu holda tok yana $I_{i,t,\max}$ gacha yetadi va O‘TM ning aylanish chastotasi ham «B» egri chizig‘i bo‘ylab o‘sadi, bunda ishga tushirish toki va momenti «B» egri chizig‘i bo‘ylab kamayadi. Bu jarayon 30.2,b-rasmda ko‘rsatilganidek quyidagi tartibda boradi, ya’ni aylanish chastotasining o‘zgarishini ifodalovchi egri chiziqlar a-b-c-d; tok va momentniki esa – A-B-C-D. Bu jarayon reostatning tutqichi 5-kontakt bilan ulangunga qadar davom qiladi va bundan keyin O‘TM, yakor toki I_a va aylanish chastotasi n bo‘lgan barqaror ish rejimda ishlaydi.

O‘TM ni tarmoqdan uzishda yakor tokini kamaytirish maqsadida reostat tutqichini kontakt 5 dan kontakt 0 ga qadar birin-ketin ko‘chiriladi; bunda ishga tushirish reostatining to‘la qarshiligi yakor zanjiriga ulangan bo‘ladi va yakor toki kamayadi. Bundan keyin ulab-uzgich «U₁» yordamida O‘TM tarmoqdan uziladi (30.2,b-rasm).

Kontakt 1 va mis yoyi «M» orasidagi tutashmaning mavjudligi katta ahamiyatga ega bo‘lib, u qo‘zg‘atish chulg‘ami, yakor chulg‘ami va reostatlardan iborat bo‘lgan berk konturni hosil qiladi. Bu konturda tarmoqdan uzilgan O‘TM qo‘zg‘atish chulg‘amining elektromagnit energiyasi issiqlik energiyaga aylanadi. Agar bu tutashma bunday, qo‘zg‘atish chulg‘ami birdaniga tarmoqdan uzilganda, bu chulg‘amda haddan tashqari o‘zinduksiya EYuK hosil bo‘lib, bu esa, chulg‘am izolyatsiyasini ishdan chiqarishi mumkin.

Ishga tushirish vositalari odatda ishga tushirish toki maksimal qiymatining qisqa vaqt ichida o'tishiga mo'ljallangan, shu sababli ularni O'TM ning normal ish jarayonidagi aylanish chastotasini rostlash maqsadida ishlatib bo'lmaydi, hamda O'TM ni ishga tushirgandan keyin ishga tushirish reostatining pog'onalari kuyib qolmasligi uchun oxirgi pog'onalar

30.3-rasm. Avtomatlashgan elektr yuritmada parallel qo'zg'atishli O'TM ni ishga tushirishning prinsipial sxemasi



Avtomatlashtirilgan elektr yuritmada O'TM ni ishga tushirish uchun bir nechta pog'onaga bo'lingan qarshiliklar (R_1 , R_2 , R_3)dan foydalanadilar, (30.3-rasm) bunda ishga tushirish kontaktlari (K_1 , K_2 va K_3) vositasida ular navbatma-navbat shunt qilinadi.

g) Ketma-ket va aralash qo'zg'atishli motorlarni ishga tushirishning o'ziga xos xususiyatlari. Bunday motorlarni ishga tushirish parallel qo'zg'atishli motordagi kabi, ishga tushirish reostati vositasida amalga oshiriladi, lekin o'ziga xos xususiyatlarga ega. Ketma-ket qo'zg'atishli motorda ishga tushirish momenti parallel qo'zg'atishlinikiga nisbatan katta bo'ladi va (30.10) ifoda bilan aniqlanadi. Bu momentning katta bo'lishiga sabab, yakor chulg'amidan o'tuvchi ishga tushirish tokining oshishi bilan, bu chulg'amda ketma-ket ulangan qo'zg'atish chulg'amining magnit oqimi ham o'sadi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning bu xossasi ayrim elektr yuritmalarda, masalan, yuk ko'taradigan moslamalarda, tortish qurilmalarida va boshqa hollarda katta ahamiyatga ega bo'ladi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning quyidagi o'ziga xos xususiyatlarini, ya'ni bu motorlarni salt ishlash holatida (valiga yuk ulanmagan holatda) va shuningdek, yuklamaning miqdori nominalga nisbatan 25% dan kam bo'lgan hollarda, ishga tushirish qat'iyon mumkin emasligini esda tutish lozim bo'ladi. Chunki bunday hollarda mashina magnit zanjiri to'yinmagan bo'lib, magnit oqimi Φ yakor toki I_a ga to'g'ri mutanosib ($\Phi \propto I_a$) ravishda o'zgarganligi sababli

aylantiruvchi momenti M_{em} yakor tokining kvadrati (I_a^2) ga to'g'ri mutanosib ravishda o'zgaradi, ya'ni:

$$M = C'_m I_a^2. \quad (30.11)$$

(31.5) va (31.6) ifodalardan aniqlangan quyidagi

$$n = (U - I_a R_a) / (C_E \Phi) \quad (30.12)$$

tenglamadan ko'rinishicha, ketma-ket qo'zg'atishli motor mexanik jihatdan zararli (me'yordan katta) bo'lgan aylanish chastotasini hosil qiladi.

Aralash qo'zg'atishli motorning parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari mos ulangan bo'lsa, u xuddi parallel qo'zg'atishli motordek ishga tushiriladi. Agar qo'zg'atish chulg'amlari o'zaro teskari ulangan bo'lsa, O'TMni ishga tushirish qiyinlashib qoladi. Bu holda ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami butun ishga tushirish jarayoni davomida shuntlanadi (qisqa tutashtiriladi).

30.3§. O'zgarmas tok motorlarining ish xarakteristikalari

Bu xarakteristikalar elektr motorlarining barqaror ish rejimidagi xossalarini belgilaydi. Bu xarakteristikalar yakor chulg'amiga berilgan kuchlanish $U_a = U_N = \text{const}$, hamda parallel (yoki mustaqil) qo'zg'atish zanjiri kuchlanishi $U_{qo'z} = \text{const}$ va $r_{qo'z} = \text{sonst}$ (demak, $I_{qo'z} = \text{sonst}$) shartlar bajarilganda olinadigan n , M , I_a va $\eta = f(P_2)$ bog'liqlikdir.

$\eta = f(P_2)$ bog'lanishdan tashqari barcha ish xarakteristikalari O'TM turiga, ya'ni uning qo'zg'atish usuliga bog'liq bo'ladi. Masalan, parallel qo'zg'atishli motorlarda (mustaqil qo'zg'atishlisida ham) qo'zg'atish chulg'aming magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ yuklamaning miqdoriga deyarli bog'liq bo'lmaydi, ketma-ket qo'zg'atish motorlarda esa, bu yuklama tokiga kuchli bog'liq bo'ladi.

a) Parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalari. Quyida mazkur O'TM larida $U_a = U_N = \text{const}$ va $I_{qo'z} = I_{qo'z.N} = \text{const}$ bo'lgandagi n , M , I_a , $\eta = f(P_2)$ bog'liqlik bilan ifodalanuvchi ish xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz (30.4-rasm). Qo'zg'atish tokining nominal qiymati ($I_{qo'z.N}$) qilib, O'TM ning validagi yuki nominal ($M_2 = M_{2N}$) va aylanish chastotasi $n = n_N$ bo'lgan ish rejimdagi kattaligi qabul qilinadi.

asosiy qutblarning magnit oqimini nisbatan kamaytiradi va shu sababli, O‘TM lari aylanish chastotasining nisbatan oshishiga olib keladi.

Valdagi yuk 0 dan nominal qiymatgacha o'zgarganda, parallel qo'zg'atishli motorning tezlik xarakteristikaci – $n = f(P_2)$ deyarli to'g'ri chiziq ko'rinishida o'zgarib, abstsissalar o'qiga nisbatan kam og'gan bo'ladi va shu sababli, uni bikir (ya'ni kam o'zgaruvchi) xarakteristika deyiladi. Parallel qo'zg'atishli motor

aylanish chastotasining valdagi yukka nisbatan kuchsiz bog'liqligi muhim ahamiyatga ega bo'lgan hossalardan biri hisoblanadi.

Moment xarakteristikaci – $M_2 = f(P_2)$ ko'rinishdagi bog'lanishdir. O'TM foydali momenti M_2 ning kattaligi uning validagi foydali quvvatga to'g'ri mutanosib bo'lib, quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$M_2 = P_2/\omega = P_2/(2\pi \cdot n / 60) = 60/(2\pi) \cdot P_2/n = 9,55 P_2/n, \quad (30.13)$$

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

Aylanish chastotasi $n = \text{const}$ bo'lganda (30.13) tenglamaga binoan M_2 koordinatalar boshidan chiqadigan to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'lar edi. Ammo valdagi yukning oshishi bilan O'TM ning aylanish chastotasi bir oz kamayadi, shuning uchun ham moment M_2 quvvat P_2 ga nisbatan tezroq o'sadi (30.4-rasm). Aylanish chastotasi deyarli o'zgarmas bo'lgani uchun magnit va mexanik isroflari o'zgarmas deyilsa bo'ladi, natijada O'TM ning salt ishlashdagi momenti $M_0 = \text{const}$ bo'ladi. Shu sababdan barqaror ish rejimdagi O'TM ning momentlari muvozanat tenglamasi (30.4) ga binoan $M = f(P_2)$ egri chizig'i, foydali momentining o'zgarishi $M_2 = f(P_2)$ dan kattaligi M_0 ga teng bo'lgan oraliqda yuqorida joylashadi va M_2 ning o'zgarishiga o'xshash bo'ladi.

O'TM foydali quvvati P_2 ning oshishi bilan uning aylanish chastotasi bir oz pasayadi; yakor reaksiyasi ta'sirida esa magnit oqimi bir oz kamayadi, shu sababli $I_a = f(P_2)$ bog'liqlik $M = f(P_2)$ egri chizig'iga nisbatan ordinatalar o'qi tomonga ko'proq og'adi.

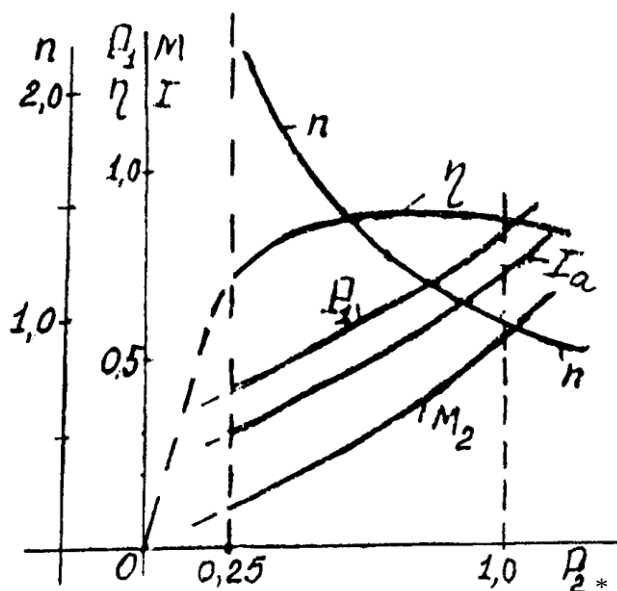
$P_2 = 0$ da salt ishlash toki $I_0 = I_{0(a)} + I_{qo'z}$ nominal tokning (5÷10) foizni tashkil qiladi. Bunda $I_{0(a)}$ – salt ishlash tokining yakor chulg'amidan o'tadigan qismi bo'lib, nominal tokning (3÷7) foiz ni tashkil qiladi. Kichik raqamlar – katta quvvatli elektr motorlariga, kattasi esa – kam quvvatlilarga to'g'ri keladi. Shu sababli $I_a = f(P_2)$ bog'lanishning o'zgarish egri chizig'i koordinatalar boshi 0 ga nisbatan kattaligi I_0 ga teng bo'lgan masofada joylashgan ordinata nuqtasidan boshlanadi.

30.4-rasmda FIK ning maksimal qiymati $\eta_{\max}$ ga yuklamaning $P_2 = (3/4) P_N$ qiymati to'g'ri keladi. FIK $\eta_{\max}$ bo'lgan nuqtaning chap

tomonida o'zgaras isroflar ko'p bo'lsa, undan o'ng tomonida esa elektr isroflari (o'zgaruvchan isroflar) ko'p bo'ladi.

b) Ketma-ket qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalarini $U=U_N=\text{const}$ bo'lganda foydali quvvat P_2 ga bog'liq ravishda emas, balki yakor toki I_a ga nisbatan bog'liqlikda tasvirlash qulay hisoblanadi: $n, M, P_2, \eta = f(I_a)$. Bu ikkala bog'liqlik o'rtasida farq kam, chunki $U_a = \text{const}$ bo'lganda P_2 taxminan tok I_a ga mutanosibdir.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorda qo'zg'atish toki yakor tokiga teng ($I_{qo'z} = I_a$) va u bilan bir vaqtda o'zgaradi. Qo'zg'atish tokining valdagi yukka nisbatan bunday mutanosib ravishda o'zgarishi O'TM ish xarakteristikalarining parallel qo'zg'atishli motor ish xarakteristikalaridan keskin farq qilishiga sababchi bo'ladi. Ketma-ket qo'zg'atishli motor validagi yukning oshishi bilan qo'zg'atish toki ham oshadi, demak, O'TM ning asosiy magnit oqimi Φ ham mashina magnitlanish egri chizig'i bo'yicha ko'paya boradi. Demak, ketma-ket qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasi yuk oshishi bilan tezda pasayadi.



30.5-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgaras tok motorning foydali quvvatiga P_2 nisbatan olingan ish xarakteristikalar

$U = U_N = \text{const}$ bo'lgandagi $n = f(I_a)$ bog'liqlik – tezlik xarakteristikasini ifodalaydi. (30.12) tenglamaga binoan ketma-ket qo'zg'atishli motor aylanish

chastotasining o'zgarishi quyidagilarga, ya'ni: 1) asosiy magnit oqimining o'zgarishiga, 2) yakor zanjirida kuchlanish pasayishi (I_{a_a})ga va 3) yakor reaksiyasiga bog'liq bo'ladi.

So'nggi ikkita sabab birinchiga qaraganda ikkinchi darajali omillar hisoblanadi va ular o'zaro teskari yo'nalishda ta'sir qilishgani sababli ketma-ket qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasi n amalda faqat asosiy magnit oqimining o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

Agar ketma-ket qo'zg'atishli motorning magnit zanjiri to'yinmagan (tokning $I_a < 0,8I_N$ qiymatlarida) bo'lsa, magnit oqimi Φ tokka mutanosib ($\Phi \equiv I_a$) ravishda o'zgaradi va buni quyidagicha yozish mumkin bo'ladi:

$$\Phi = KfI_a. \quad (30.14)$$

Bunda O'TM larining aylanish chastotasi yuklama toki $I = I_a$ ga teskari mutanosibda bo'lib, tok (demak, Φ ham) kamaygan sari tobora oshadi va o'zgarish xarakteri giperbola ko'rinishiga yaqin bo'ladi (30.5-rasm).

Teskari EYuK lar muvozanati tenglamasi (30.6)ga binoan, kuchlanishni $U = U_N = \text{const}$ qilish uchun, magnit oqimi Φ ning kamayishida O'TM aylanish chastotasining oshishi lozim bo'ladi.

O'TM aylanish chastotasining haddan tashqari ko'payishiga, mexanik sabablarga ko'ra yo'l qo'yib bo'lmaydi. Xuddi shu sababdan, umumiy maqsadli ketma-ket qo'zg'atishli motorlarni salt ishlash rejimda, ya'ni yuksiz ishga tushirish yoki normal ishlayotganida yukini nominalga nisbatan 25 % dan pastga tushirish mumkin emas.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorning yuksiz ishlab qolishi ro'y bermasligi uchun uning aylanma harakatini tasma vositasida uzatishga yo'l qo'yilmasdan, balki yuk mexanizmi bilan qattiq birlashtirilib qo'yiladi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasi qancha oshsa ham, u generator rejimiga o'tmaydi, ya'ni tezlik xarakteristikaci – $n = f(I_a)$ ordinatalar o'qini kesib o'tmaydi.

Aylantiruvchi momentning o'zgarishi. Agar tahlilni soddalashtirish maqsadida M_0 ni e'tiborga olmasak, unda (30.4) va (30.2) ifodalarga asosan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$M = M_0 + M_2 \approx M_2 = C_M I_a \Phi. \quad (30.15)$$

Magnit zanjiri to'yinmagan O'TM da magnit oqimi Φ qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ga to'g'ri mutanosibda bo'lganligidan, (30.14) tenglamani hisobga olgan holda momentning ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$M = C_M K f I_a^2 = C'_M I_a^2. \quad (30.16)$$

Momentning bunday ifodalanishida $M = f(I_a)$ egri chizig'ining parabola ko'rinishiga o'xshashligidan dalolat beradi. Odatda, valdagi yukning oshishi bilan magnit zanjiri to'yinib, magnit oqimi $\Phi \approx \text{const}$ bo'ladi. Bu holda ketma-ket qo'zg'atishli motor uchun momentni quyidagicha yozamiz:

$$M = C_M \Phi I_a = C_3 I_a, \quad (30.17)$$

bu yerda $C_3 = C_M \Phi$ – o'zgarmas kattalik.

Ketma-ket qo'zg'atishli motor momentining kuchayishi yuklama tokining kvadratiga to'g'ri mutanosibli ($M \propto I^2$) juda muhim amaliy ahamiyatga ega. Bu ayniqsa, katta qiymatli ishga tushirish momenti talab qilinadigan mexanizmlarda, ya'ni kranlar, metro, tramvay, trolleybus, avtomobillardagi starter va elektrovozlar, shuningdek O'TM o'ta yuklanish qobiliyatiga ega bo'lishi kerak bo'lgan hollarda muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

Foydali ish koeffitsientining o'zgarishi – $\eta = f(P_2)$ (30.6-rasm). Ma'lumki, foydali quvvat quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_2 = U \cdot I_a \cdot \eta. \quad (30.18)$$

Ketma-ket qo'zg'atishli motorning validagi yuki $P_2 \approx 0,5P_N$ dan $P_2=1,25P_N$ gacha bo'lgan oraliqda o'zgarganida FIK η ning o'zgarishi kam bo'ladi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorda mexanik va magnit isroflar yig'indisi valdagi yukka deyarli bog'liq bo'lmaydi. Bu quyidagicha tushuntiriladi. Tok I_a ning oshishi bilan magnit oqimi oshadi, bu esa aylanish chastotasi kamayishiga olib keladi, ya'ni bir tomondan magnit isroflar oshsa, ikkinchidan, aylanish chastotasining kamayishidan mexanik isroflar kamayadi; natijada ularning yig'indisi kam o'zgaradi. Shu sababdan ketma-ket qo'zg'atishli motorda FIK o'zining maksimal qiymatiga, xuddi parallel qo'zg'atishli motorlardagi singari,

o'zgarmas isroflari (salt ishlash isroflari) o'zgaruvchan isroflarga (elektr isroflariga) teng ($P_0 = I_a^2 R_a$) bo'lganda erishadi.

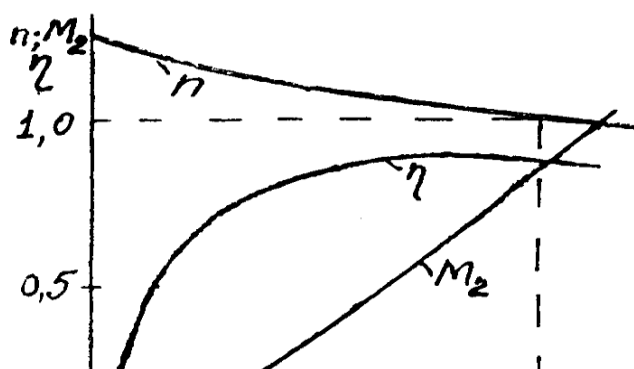
Ma'lumki, ish xarakteristikalarini kuchlanishning $U = U_N = \text{const}$ qiymatida olinadi, shuning uchun O'TM ga berilayotgan elektr quvvati $P_1 = UI_a$ yuklama toki I_a ga mutanosib ravishda o'zgaradi. Demak, $P_1 = f(P_2)$ bog'liqlik boshqa masshtabda tokning o'zgarishi $I_a = f(P_2)$ ni ko'rsatadi.

v) Aralash qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalarini. Bunday motorda magnit oqimi $F_{qo'z}$ parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari MYuK larining birgalikdagi ta'siridan vujudga keltiriladi. Qo'zg'atish chulg'amlari MYuK larining o'zaro nisbati shunday tanlanadiki, bunda bu chulg'amlardan bittasi mashina qo'zg'atish MYuK ning 70 foizini vujudga keltirib, bu chulg'am asosiy hisoblanadi, ikkinchisi esa, qo'shimcha qo'zg'atish chulg'ami deyiladi. Qo'zg'atish chulg'amlarining o'zaro ulanishiga qarab ularni quyidagi turlarga ajratadilar:

1) mos ulangan aralash qo'zg'atishli, bunda parallel va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlari hosil qilgan EYuK larining yo'nalishi bir xil bo'lib, ular qo'shiladi ($\Phi = \Phi_{Sh} + \Phi_C$).

2) teskari ulangan aralash qo'zg'atishli, bunda ketma-ket va parallel qo'zg'atish chulg'amlari EYuK lari teskari yo'nalgan bo'lib, natijaviy oqim F yuklama toki oshishi bilan kamayadi ($\Phi = \Phi_{Sh} - \Phi_C$).

Mos ulangan aralash qo'zg'atishli motorlarning ish xarakteristikalarini (30.6-rasm) parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalariga yaqinlashadi. Demak, aralash qo'zg'atishli motorning xarakteristikalarini parallel va ketma-ket qo'zg'atishli motorlar xarakteristikalarini oralig'ida joylashgan egri chiziqlardan iborat bo'lar ekan. Aralash qo'zg'atishli motorda natijaviy magnit oqim $\Phi = \Phi_{Sh} \pm \Phi_C$ bo'lganligidan, uning momenti quyidagicha aniqlanadi:



30.6-rasm. Mos ulangan aralash qo'zg'atishli motorlarning ish xarakteristikalarini
(asosiy chulg'am – parallel qo'zg'atishli, qo'shimcha cho'lg'am – ketma-ket
qo'zg'atishli)

$$M = C_M (\Phi_{Sh} \pm \Phi_C) \cdot I_a, \quad (30.19)$$

aylanish chastotasi esa:

$$n = (U - I_a \Sigma R_a) / [C_A (\Phi_{Sh} \pm \Phi_C)]. \quad (30.20)$$

Qo'zg'atish chulg'amlari mos ulanganda yuklamaning oshishi bilan natijaviy oqim F oshadi, shuning uchun uning tezlik xarakteristikasi parallel qo'zg'atishli motorlarnikiga nisbatan pasayuvchan bo'ladi. Agar qo'zg'atish chulg'amlari teskari ulansa, valdagi yukning oshishi bilan tok I_a oshadi va, demak, natijaviy oqim $\Phi = \Phi_{Sh} - \Phi_C$ kamayadi. Yuklamaning katta qiymatlarida oqim Φ ancha kamayib ketib, aylanish chastotasi n oshadi, natijada, agar $M_{yu} = \text{const}$ va $U = U_N = \text{const}$ bo'lsa, tok I_a ning oshishiga olib keladi. Bu esa, o'z navbatida, motorning magnit oqimini yana ham kamaytirib, uning aylanish chastotasi yanada ko'proq oshishiga olib keladi va h.k. Amalda motorning yuklamasi 0 dan nominalgacha o'zgarib turadigan hollarda, uning aylanish chastotasini taxminan bir hil tutib turish lozim bo'lsa, ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami asosiy (parallel) chulg'amga teskari qilib ulanadi.

30.4§. O'zgarmas tok motorlarining mexanik xarakteristikalarini

1) Parallel qo'zg'atishli O'T motorining mexanik xarakteristikalarini $-n = f(M_{em})$: kuchlanish $U_a = U_N = \text{const}$, yakor zanjiridagi qarshilik $R_a = \text{const}$ va qo'zg'atish zanjiridagi qarshilik $R_{qo'z} = \text{const}$ shartlar bajarilganda, motor valiga ulangan ish

mexanizmining tormozlovchi momenti M_t ni ($M_t = M = M_0 + M_2$) o'zgartirib olinadigan aylanish chastotasi n ning o'zgarishini ifodalaydi. Mexanik xarakteristikani tahlil qilish uchun yakor zanjiriga ketma-ket ulangan R_r hisobga olgan holda (30.12) ifodani quyidagicha yozamiz:

$$n = [U - I_a(R_a + R_r)] / (C_E \Phi) = U / (C_E \Phi) - I_a(R_a + R_r) / (C_E \Phi). \quad (30.25)$$

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

$$n = U / (C_E \Phi) - M_t(R_a + R_r) / (C_E C_m \Phi^2), \quad (30.22)$$

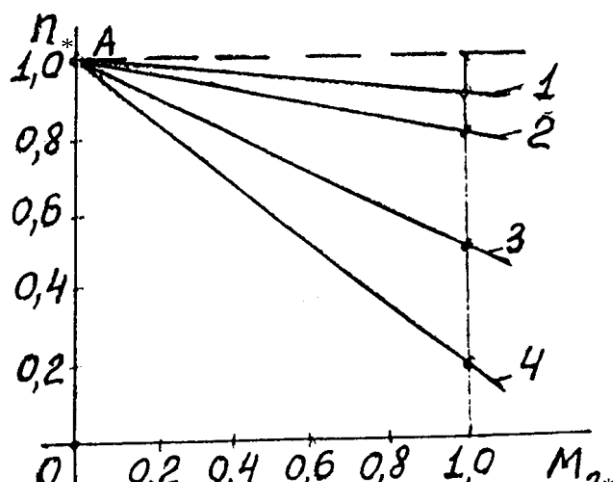
bunda C_E , C_m , U va $(R_a + R_r)$ lar o'zgarmas kattaliklardir.

Shunday qilib, mexanik xarakteristikalarining o'zgarish shakli tezlik xarakteristikalarining shakliga o'xshagan bo'lib, O'TM ning magnit oqimi Φ , uning yuklama momenti M_{yu} ga bog'liq ravishda qanday o'zgarishiga, ya'ni mashinaning qo'zg'atish usuliga bog'liq bo'ladi.

Parallel qo'zg'atishli motorda qo'zg'atish magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ ga yakor reaksiyasining ta'siri sezilarli bo'lmagani uchun, $\Phi_{qo'z} = \text{const}$ deb hisoblash mumkin. Agar O'TM ning turg'un rejimiga xos bo'lgan momentlar muvozanati tenglamasi ($M = M_0 + M_2$) dagi salt ishlash momenti $M_0 \approx 0$ deb, (30.22) ifodadagi M_t o'rniga M_2 ni qo'yib yozamiz:

$$n = U / (C_E \Phi) - M_2(R_a + R_r) / (C_E C_m \Phi^2) = n_0 - \Delta n, \quad (30.23)$$

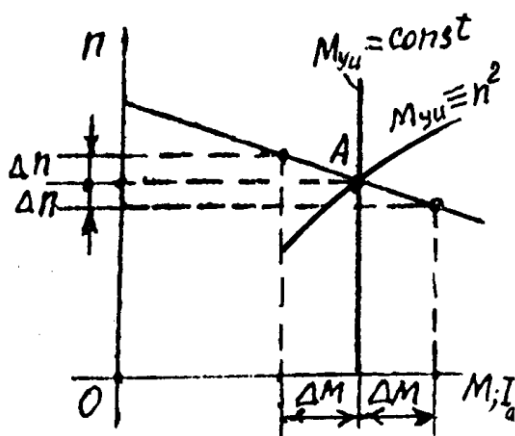
bu yerda $n_0 = U / (C_E \Phi)$ – O'TM ning salt ishlashidagi aylanish chastotasi (bunda qiymati juda ham kichikligidan $I_a R_a \approx 0$ deb qabul qilingan); $U / (C_E \Phi)$ va $1 / (C_E C_m \Phi^2)$ – o'zgarmas kattaliklar; Δn – aylanish chastotasining kamayishi, bunga yakor zanjiri qarshiligi $(R_a + R_r)$ va moment M_2 larning ta'siri sababchi bo'ladi.



30.7-rasm. Parallel qo'zg'atishli O'TMning mexanik xarakteristikalari

Agar reostatning qarshiligi $R_r = 0$ bo'lsa, tabiiy mexanik xarakteristikaga ega bo'lamiz. Bu xarakteristika absissalar o'qiga nisbatan ozgina og'gan to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi (30.7-rasm,1). Yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik kiritish bilan bu xarakteristikaning absissalar o'qiga nisbatan qiyalik burchagi oshadi (30.7-rasmda 2; 3; 4) va bu burchak R_r ning qiymatiga to'g'ri mutanosibda bo'ladi. Agar $I_a R_a \approx 0$ deb, u e'tiborga olinmasa, unda mexanik xarakteristikalari ordinatalar o'qidagi bitta A nuqtadan boshlanadi.

Parallel qo'zg'atishli motorning tezlik xarakteristikaci bilan uning mexanik xarakteristikaci o'rtasida uzviy bog'lanish mavjud. Hamma hollarda turg'un ishni



30.8-rasm. O"TM va ish mexanizmining turg'un ishlash shartlarini tushuntirishga oid mexanik xarakteristikalar

ta'minlash uchun parallel qo'zg'atishli motorning pasayuvchi tezlik xarakteristikaciga uning pasayuvchi mexanik xarakteristikaci to'g'ri keladi.

Parallel qo'zg'atishli motorning turg'unligi unga tegishli tezlik xarakteristikacining shakliga bog'liq bo'ladi. 30.8-rasmda $M_{yu} = \text{const}$ (masalan, metall kesuvchi stanoklarda M_{yu} aylanish chastotasi n ga bog'liq emas) va $M_{yu} = n^2$ (ventilyator, markazdan qochirma nasos, eshkakli vint va shunga o'xshashlarda)

bo'lganda kamayuvchi aylanish chastota – $n = f(I_a)$ yoki mexanik – $n = f(M_2)$ xarakteristikalari ko'rsatilgan. Bu holda ham O'TM ning turg'un ishlash sharti:

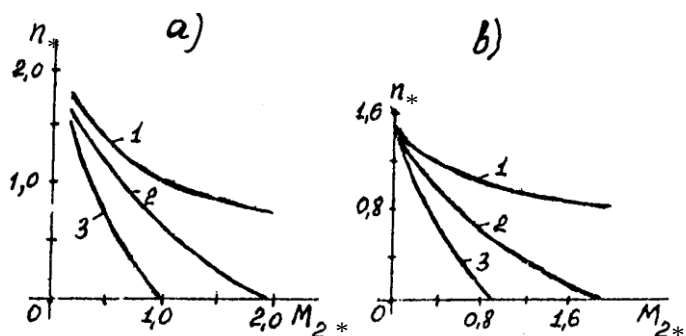
$$dM/dn < dM_{yu}/dn \quad (30.24)$$

bajariladi.

Umumiy hol uchun O'TM ning turg'un ishlash sharti quyidagicha xarakterlanadi: aylanish chastotasi oshganda aylantiruvchi momentning o'sishi dM , yukning valga hosil qilgan tormozlovchi momentining o'sishi dM_{yu} dan kam bo'lishi zarur. Odatda, bu shartning bajarilishi uchun O'TM aylanish chastotasi oshganda aylantiruvchi momentning kamayishi zarur bo'ladi (30.8-rasm). Shuning uchun parallel qo'zg'atishli motorning tezlik va mexanik xarakteristikalari pasayuvchi bo'lishi kerak.

Ketma-ket va aralash qo'zg'atishli motorlarning mexanik xarakteristikalari parallel qo'zg'atishli motordagi singari, $U = U_N = \text{const}$ va $R_r = \text{const}$ bo'lgandagi $n = f(M_2)$ bog'lanishni ifodalaydi. Mexanik xarakteristikaning ko'rinishi O'TM ning yuk bilan ishlashidagi turg'unligini aniqlaydi. Normal sxema bo'yicha olingan tabiiy (1) va sun'iy (2 va 3) mexanik xarakteristikalar 30.9-rasmda ko'rsatilgan. Magnit zanjiri to'yinmagan ketma-ket qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikaci tezlik xarakteristikaci (30.5-rasm) kabi giperbola shakliga o'xshab o'zgaradi. Haqiqatda esa, valdagi yukning o'zgarishi bilan ketma-ket qo'zg'atishli O'TM magnit zanjirining to'yinishi keng ko'lamda o'zgaradi. Shu sababli uning mexanik xarakteristikasini oddiy shakldagi matematik ifoda ko'rinishida faqat xususiy hol, ya'ni mashinaning magnit zanjiri to'yinmagan ($\Phi \equiv I_a$) hol uchun ifodalash mumkin. Bu holga (30.16) ifoda to'g'ri keladi.

30.9-rasm. Yakor zanjiriga ketma-ket ulangan rheostat qarshiligi R_r ning har xil (1 – $R_{r1}=0$; 2 – $R_{r2}=4r_a$; 3 – $R_{r3}=9r_a$) qiymatlarida ketma-ket qo'zg'atishli (a) va $R_{r1}=0$ (1); $R_{r2}>R_{r1}$ (2) va $R_{r3}>R_{r2}$ (3) qiymatlarida aralash qo'zg'atishli (b) motorlarning mexanik xarakteristikalari



Ketma-ket qo'zg'atishli motor keskin egri chiziqli kamayuvchi mexanik xarakteristikaciga ega bo'lganligidan uning validagi yuk (20÷25)% dan oshganda hamma vaqt turg'un ishlaydi.

Aralash qo'zg'atishli motorda ikkita qo'zg'atish chulg'ami mavjudligidan uning mexanik xarakteristikalarini parallel va ketma-ket qo'zg'atishli motorlar mexanik xarakteristikalarini orasidagi o'rinlarni egallaydi. Magnit zanjiri to'yinganligi uchun aralash qo'zg'atishli motorlarning mexanik xarakteristikalarini, ketma-ket qo'zg'atishli motorlarniki singari, matematik jihatdan aniq va oddiy ko'rinishda ifodalab bo'lmaydi.

30.9,b-rasmda keltirilgan xarakteristikalaridan ko'rinishicha, yakor zanjiriga ulangan qarshilik oshgan sari O'TM ning aylanish chastotasi pasayadi va bu holda xarakteristikalar tez kamayadigan bo'lib qoladi.

30.5§. O'zgaras tok motorlarining rostlash xarakteristikalarini

O'TM lari nihoyatda xilma-xil va kerak tomonga o'zgartirila olinadigan rostlash xarakteristikalariga ega. Shu sababli bunday motorlar aylanish chastotasi keng ko'lamda o'zgaradigan qurilmalarda (masalan: metall jo'valaydigan katta dastgohda, elektr transportida va boshqa qurilmalarda) juda ham kerakli hisoblanadi.

O'TM ning rostlash xarakteristikalarini uning aylanish chastotasini o'zgartirishdagi xususiyatlarini aniqlab beradi. Bu xususiyatlarga quyidagilar kiradi: 1) $n_{\max}/n_{\min}$ nisbat bilan aniqlanadigan aylanish chastotani rostlash chegaralari; 2) elektr uskunasiga ketgan dastlabki xarajatlar va keyingi ishlatilish jarayonidagi chiqimlar nuqtai nazardan aylanish chastotani rostlashning tejamliligi; 3) rostlashning xarakteri, ya'ni tekis yoki pog'onali ekanligi; 4) rostlash asbob-uskunasi va aylanish chastotani rostlash bo'yicha bajariladigan ishning soddaligi va ishonchliligi.

(30.4) tenglamani hisobga olgan holda O'TM EYuK lar muvozanat tenglamasi (30.6)ga binoan quyidagi ifodani yozish mumkin:

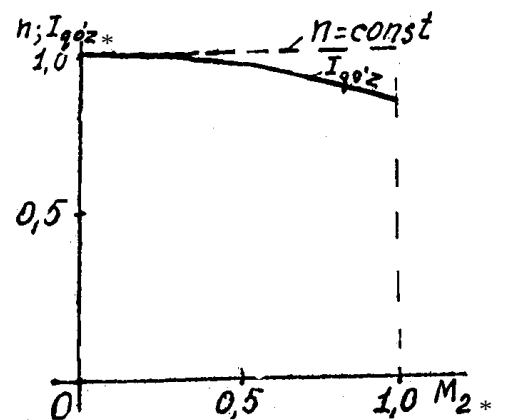
$$n = [U - I_a (R_a + R_r)] / (C_E \Phi) \quad (30.25)$$

bu yerda $\Phi = \Phi_{qo'z} - \Delta\Phi$; $\Delta\Phi$ – yakor reaksiyasining magnitsizlovchi ta'siri tufayli magnit oqimi kamayishining kattaligi; $R_a = r_a + r_c + r_{qo'sh.q} + r_{qo'z} + r_{ch}$ – yakor zanjiriga ketma-ket ulangan barcha chulg'amlarning va cho'tkalardagi o'tish qarshiligi (r_{ch}) ning yig'indisi.

(30.25) formuladan ko'rinishicha, O'TM larining aylanish chastotasini uchta usul bilan, ya'ni: 1) qo'zg'atish tokini o'zgartirish (bunda magnit oqimi $\Phi_{qo'z}$ o'zgaradi); 2) yakor chulg'ami zanjiriga ulangan reostat vositasida; 3) tarmoq kuchlanishi U ni o'zgartirish bilan rostlash mumkin ekan.

Parallel va mustaqil qo'zg'atishli motorlarning rostlash xarakteristikalar.

Parallel qo'zg'atishli motorning $n = n_N = \text{const}$ va $U = U_{qo'z} = \text{const}$ bo'lgandagi rostlash xarakteristikasi – $I_{qo'z} = f(M_2)$. Shartga ko'ra, $U = U_{qo'z} = \text{const}$ bo'lganda magnit oqimi kam o'zgarganligidan parallel qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasi n kam o'zgaradi. Shu sababli aylanish chastotasini $n = \text{const}$ qilish uchun zarur bo'lgan qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ning o'zgarishi ham kam bo'ladi (30.10-rasm). O'TM validagi yuk momenti M_2 oshganda, aylanish chastotasini $n = \text{const}$ qilish uchun, qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ ni kamaytirish zarur bo'ladi (bunda Φ ham kamayadi). O'TM ning aylanish chastotasini uning qo'zg'atish tokini o'zgartirish yo'li bilan rostlashda energiya isroflari juda ham kam bo'ladi, chunki qo'zg'atish toki $I_{qo'z}$ yakor toki I_a ning atigi bir necha foizini tashkil qiladi, xolos.



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

Shunday qilib, O‘TM aylanish chastotasini rostlashning ko‘rib chiqilgan usuli ancha qulay bo‘lib, u aylanish chastotani bir tekis, nihoyatda sodda va tejamli o‘zgartirish imkoniyatini beradi. Shu sababli bu usul amalda keng qo‘llaniladi.

Yakor zanjiriga ketma-ket ulangan qarshilikni o‘zgartirish yo‘li bilan aylanish chastotasini rostlash. Bu holda yakorga beriladigan kuchlanish (U_a) reostatdagi kuchlanish pasayishi tufayli kamayadi. EYuK lar muvozanat tenglamasiga:

$$U_a - I_a R_a = E_a \quad (30.26)$$

asosan, yakor zanjiridagi kuchlanish pasayishi $I_a R_a$ yakor chulg‘aming EYuK E_a ni kamaytiradi. Magnit oqimining qiymati $\Phi = \text{const}$ bo‘lganda bu EYuK ning kamayishi aylanish chastotasi n ning kamayishi hisobiga sodir bo‘ladi. Biz tahlil qilib chiqqan usul bilan aylanish chastotasini kamayish tomonga keng ko‘lamda o‘zgartirish mumkin, lekin yakor zanjiriga ulangan rostlash reostatida energiya isroflari katta bo‘lib, bu esa FIK ning kamayishiga olib keladi. O‘TM validan olinayotgan foydali (mexanik) quvvat, burchak aylanish chastota ω ga bog‘liq bo‘ladi: $P_2 = M^2 \omega$. Foydali moment $M_2 \approx M_{yu} = \text{const}$ bo‘lganda FIK quyidagi mutanosiblikka ega bo‘ladi:

$$\eta = P_2/P_1 = M^2 \omega / (U_a I_a) \equiv \omega \equiv n. \quad (30.27)$$

Bundan, FIK η aylanish chastotasi n ga to‘g‘ri mutanosibda bo‘lar ekan, demak, aylanish chastotasi kamaygan sari, FIK η ham shuncha kam bo‘lar ekan, degan xulosa kelib chiqadi. Shu sababdan yakor zanjiriga qarshilik ulash yo‘li bilan aylanish chastotani rostlash usuli tejamli bo‘lmaydi va bu usul amalda kam qo‘llaniladi (masalan, elektr mikromotorlarida).

Yakor zanjirining uchlaridagi kuchlanishni o‘zgartirish yo‘li bilan motorning aylanish chastotasini rostlash. (30.12) tenglamaga asosan, O‘TM larining aylanish chastotasi n taxminan unga berilayotgan kuchlanish U ga to‘g‘ri mutanosib ravishda o‘zgaradi, deyish mumkin. Odatda, O‘TM larining normal ish rejimi nominal kuchlanish U_N da kechib, uni kuchlanishning $U > U_N$ qiymatlarida ishlatish mumkin emas. Shu sababli ko‘rilayotgan aylanish chastotani rostlash usuli kuchlanishning $U < U_N$ qiymatlarida o‘zgartirishga imkon beradi. Bu usulni

amalgga oshirish uchun O‘TM mustaqil O‘T manbai (masalan, O‘T generatori)dan ta‘minlanishi lozim bo‘ladi. Bunday tizimga generator-motor (G-M) tizimi deyiladi. Generator esa birorta boshqa O‘TM bilan aylantiriladi. (G-M) tizimi murakkab, uning tannarxi qimmat va energiya uch karra o‘zgartirilganligi tufayli bu tizimning FIK nisbatan kam (taxminan 0,6...0,7) bo‘lganligidan, so‘nggi vaqtlarda O‘T generatori o‘rniga boshqariladigan to‘g‘rilagich (BT) qo‘llanilib, masalan, prokat stanlarda BT-M tizimi ishlatilmoqda.

Parallel qo‘zg‘atishli motorga beriladigan kuchlanishning har xil o‘zgarish ($U=\text{const}$) qiymatlaridagi uning tezlik xarakteristikalarini $n=f(I_a)$ abssissalar o‘qiga parallel bo‘lgan to‘g‘ri chiziqlardan iborat bo‘ladi.

Ketma-ket qo‘zg‘atishli motorning rostlash xarakteristikalarini. O‘TM ning aylanish chastotasini hisoblash formulasi $n = (U - I_a R_a) / C_E \Phi$ ga magnit zanjiri to‘yinmagan hol uchun magnit oqimi $\Phi = K I_a$ ni qo‘yib aniqlangan

$$n = U / I_a - (\Sigma r_a + r_{r(a)}) / (C_E K \Phi) \quad (30.29)$$

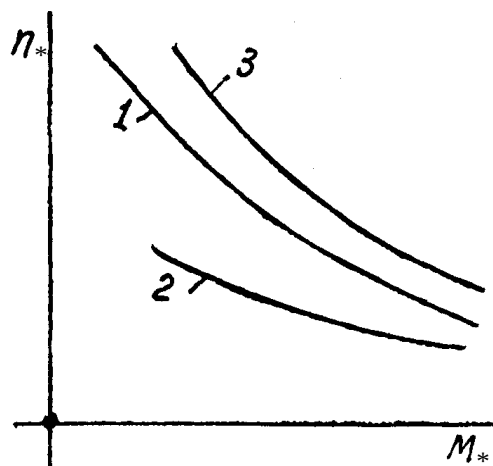
tenglamadan ko‘rinishicha, ketma-ket qo‘zg‘atishli motor aylanish chastotasini rostlash quyidagi, ya‘ni: 1) yakor zanjiriga reostat ulash; 2) qo‘zg‘atish chulg‘amini shuntlash, ya‘ni bu chulg‘amga parallel qilib qarshilik ulash; 3) yakor chulg‘amini shuntlash usullar bilan amalga oshirilishi mumkin. Oxirgi ikkita usul, mohiyati jihatidan, O‘TM aylanish chastotasi asosiy magnit oqimini (demak, qo‘zg‘atish tokini) o‘zgartirish yo‘li bilan rostlanishini ko‘rsatib beradi.

Yakor zanjiriga ketma-ket ulangan reostat vositasida O‘TM ning aylanish chastotasini rostlashda O‘TM ning aylanish chastotasi n kamayadi. Bu usul tejamsizdir, chunki yakor zanjiriga ulangan reostatda qo‘shimcha isroflar bo‘ladi. Aylanish chastotasi keng ko‘lamda rostlanadigan ketma-ket qo‘zg‘atishli motorlar uchun yakor va qo‘zg‘atish chulg‘amlarini qarshilik bilan shuntlash sxemasi qo‘llaniladi.

Yakor chulg‘amiga reostatni parallel ulash (shuntlash) yo‘li bilan O‘TMning aylanish chastotasini rostlash. Agar $U = \text{const}$ va $M_{yu} = M = C_M \Phi I_a = \text{const}$

bo'lganda, faqat yakor qarshilik bilan shuntlansa, unda yakor toki I_a kamayadi, chunki yuklama tokining bir qismi ($I_{sh.a}$) qarshilik (shunt) orqali o'tadi va liniyadagi yuklama toki bu ikkala tokning yig'indisidan ($I = I_a + I_{sh.a}$) iborat bo'ladi. Lekin shartga ko'ra, yakor chulg'ami shuntlanmasdan oldin va undan keyin ham aylantiruvchi moment bir xil qiymatga ega bo'lib qolishi kerak. Ammo yakorni shuntlashdan keyin yakor toki I_a kamayadi, bu holda, moment M_{yu} o'zgarmasligi uchun, qo'zg'atish chulg'amidagi tok $I_{qo'z}$ ning oshishi hisobiga oqim Φ ko'payishi lozim, demak, aylanish chastota n kamayadi (30.11-rasm, 2-egri chiziq). O'TM aylanish chastotasini bunday usul bilan rostlashda FIK η juda ham past, shu sababli bu usul cheklangan, ya'ni qisqa vaqt ichida O'TM ning aylanish chastotasini keskin kamaytirish kerak bo'lgan hollarda (masalan, metallurgiya zavodining metall quyish sexlarida) foydalanadilar. Bu usul yordamida aylanish chastotaning rostlash chegarasi taxminan 1: 5 gacha yetadi.

Qo'zg'atish chulg'amiga reostatni parallel ulash (shuntlash) yo'li bilan aylanish chastotasini rostlash. $U=U_N=const$, $n = const$ va $M_{yu}=const$ bo'lgan ish rejimida qo'zg'atish chulg'amini $R_{qo'z.sh}$ qarshiligi (reostat) bilan shuntlanganda qo'zg'atish tokining bir qismi shunt orqali o'tadi. Shu sababli qo'zg'atish oqimi Φ kamayadi va O'TMning aylanish chastotasi n o'sadi (30.11-rasm, 3-egri chiziq). $M_{yu}=const$ bo'lganligidan momentlarning muvozanat tenglamasiga asosan magnit oqimi Φ ning kamayishida yakor toki I_a ning qiymati shunchaga ko'payishi kerakki, bunda $M_{yu}=M = C_M\Phi I_a = const$ sharti



30.11-rasm. Ketme-ket qo'zg'atishli motorning tezlik (mexanik) xarakteristikalar: 1 – shuntlanmagan normal hol; 2 – yakori shuntlangan hol; 3–qo'zg'atish chulg'ami shuntlangan hol

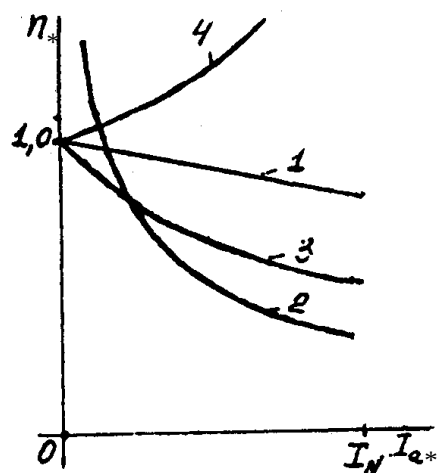
bajarilsin.

30.11-rasmda ketma-ket qo'zg'atishli motorning tabiiy mexanik xarakteristikaci (1-egri chiziq) taqqoslash usullarining ahamiyatini belgilash uchun keltirilgan.

Qo'zg'atish chulg'ami va shuntlovchi reostatning qarshiliklari kam bo'lganligidan bu reostatdagi quvvat isroflari ham kam bo'ladi. Shunday qilib, tahlil qilingan rostlash usuli ketma-ket qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasini oshirishga imkon beradi, hamda bu usul juda ham tejamlidir. Bu usul ko'pincha tortish elektr motorlarida ishlatiladi.

Aralash qo'zg'atishli motorning rostlash xarakteristikalari. Parallel qo'zg'atish chulg'ami asosiy bo'lib, ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami yordamchi bo'lgan aralash qo'zg'atishli motorda parallel qo'zg'atishli motorga xos bo'lgan rostlash usullari qo'llaniladi.

30.12-rasm. Har xil qo'zg'atishli motorlarning tezlik xarakteristikalarini – $n = f(I_a)$ taqqoslash: 1 – parallel; 2 – ketma-ket; 3 – mos aralash ulangan; 4 – teskari aralash ulangan



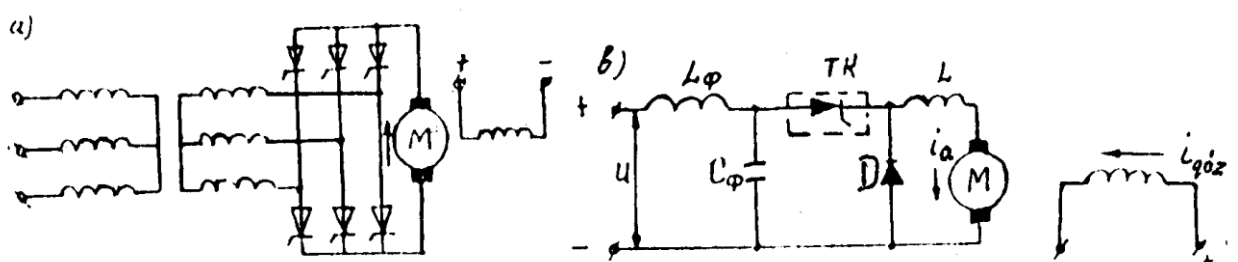
Qo'zg'atish chulg'amlari mos ulanganda (ularning MYuK lari bir xil yo'nalgan hol), aralash qo'zg'atishli motorning tezlik xarakteristiklari, parallel va ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning tezlik xarakteristiklari oralig'ida joylashadilar. Shuning uchun 30.12-rasmda har xil qo'zg'atishli O'TM larining tezlik xarakteristiklari taqqoslangan.

30.6§. O'zgaras tok motorlari aylanish chastotasini rostlashning zamonaviy usullari

O'TM larida aylanish chastotasining rostlash quyidagi: 1) reostat-kontaktorli; 2) boshqariladigan to'g'rilagich-motor (BT-M) tizimi vositasida; 3) impulsli rostlash usullar orqali amalga oshiriladi.

Rostlashning 1-usuli asosan kam va o'rta quvvatli elektr motorlarida keng qo'llaniladi. Reostat-kontaktorli boshqarishda: a) aylanish chastotasi nominal qiymatidan kam talab qilingan ($n < n_N$) hollarda yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik ulab rostlanadi; b) oshirilgan aylanish chastotalari ($n > n_N$) da qo'zg'atish tokini o'zgartirib rostlanadi.

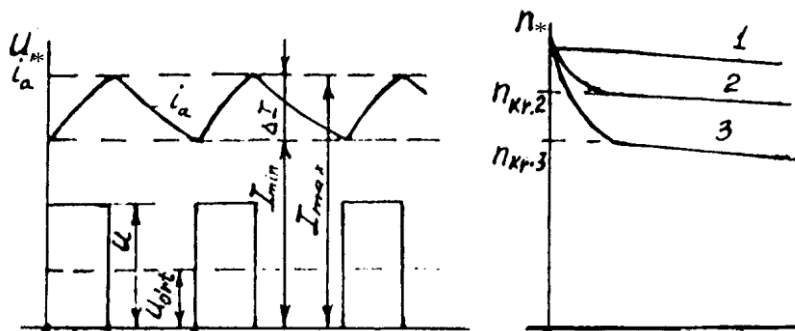
Reostat-kontaktorli boshqarishni avtomatlashtirishning murakkabligi, ta'mirlash va ishlatishga katta chiqimlar talab qilinganligidan, hozirgi vaqtda takomillashgan boshqarish tizimi bilan almashtirilmoqda. Tiristorlar asosida tayyorlangan boshqariladigan to'g'rilagichda bir vaqtning o'zida ham to'g'rilash, hamda to'g'rilangan kuchlanishni rostlash jarayoni amalga oshiriladi. Bu usulni amalda qo'llash natijasida hosil bo'lgan BT-M tizimining FIK G-M tiziminikiga nisbatan oshadi.



30.13-rasm. Boshqariladigan to'g'rilagichdan ta'minlanadigan mustaqil qo'zg'atishli motorning aylanish chastotasini rostdash sxemasi (a) va o'zgarmas tok motorini impulsli rostdash (b): C_f – kirish filtri; TK – tiristorli kalit; D – teskari diod; L_f – induktivlik

Ko'rilayotgan usulning kamchiligi shundan iboratki, chiqish kuchlanishiing kamaytirilgan qiymatlarida kirishdagi quvvat koeffitsienti $\cos\phi$ pasayadi. Undan tashqari kuchlanishning pulslanishidan tokning pulslanishi vujudga keladi va O'TM ning ishini yomonlashtiradi: quvvat isroflari oshadi, kommutatsiya jarayoni yomonlashadi va hokazo. Ayniqsa, to'g'rilagich bir fazali tok tarmog'idan energiya bilan ta'minlansa tokning pulslanishi katta bo'ladi. Shunga qaramasdan, boshqa qator afzalliklari tufayli hozirgi vaqtda O'TM ning aylanish chastotasini BT-M tizimi bo'yicha rostdash amalda keng rivojlangan. Hozirgi vaqtda O'TM larining aylanish chastotasini impulsli rostdash amalda keng qo'llanilmoqda. Bunda O'TM ga impulsli uzgich vositasida davriy ma'lum chastotali kuchlanish impulslari beriladi.

Impulsli rostdash sxemasining (30.13,b-rasm) ishlash tartibi shundan iboratki, vaqtning τ davrida, ya'ni elektronli kalit (TK) ning yopiq paytida (bunga tranzistor yoki tiristorning ochiq holati to'g'ri keladi), kuchlanishning to'la qiymati O'TM ning yakor chulg'amiga beriladi va bunda yakor tokining oniy qiymati oshadi (30.14,a-rasm), TK ochiq holda (demak, tranzistor yoki tiristor yopiq holda) esa, yakor toki birdaniga yo'q bo'lib qolmaydi, balki yakor zanjirining ($L_a + L$) induktivliklarida to'plangan elektromagnit energiyasi ta'siri ostida yakor zanjiri va teskari diod D orqali o'tadi va tok I_a ning qiymati kamayadi. Nominal rejimda impulslar ketma-ketlik chastotasi odatda ($200 \div 400$) Hz ni tashkil qiladi, shu sababli davr T, yakor zanjirining vaqt doimiyligidan taxminan 100 marta kam bo'ladi. Shuning uchun τ vaqt mobaynida impuls jarayonida yakordagi tok ko'p o'sishga ulgurmaydi, tokning uzilgan vaqtida ($T - \tau$) esa, tok I_a birdaniga kamayib ketishga ulgurmaydi.



30.14-rasm. OTM ning aylanish chastotasini impulsli rostlashda kuchlanish va toklarning o'zgarish grafigi (a) va parallel qo'zg'atishli motorni impulsli rostlashda tezlik va mexanik xarakteristikalar (b)

Yakor tokining o'zgarish egri chizig'ini tekislash maqsadida uning zanjiriga filtr (tozalagich $-C_f$) ulanadi. Bu holda yakor zanjirining uchlaridagi kuchlanish, amaliy jihatdan o'zgarmas bo'lib qoladi va tiristorning ulanib turgan vaqtini, butun sikl davomida ketgan vaqtga nisbatan chiqqan songa to'g'ri mutanosibda bo'ladi. Yakor chulg'amiga beriladigan kuchlanishning o'rtacha qiymati

$$U_a = U_{o'rt} = U \cdot \tau / T = \alpha \cdot U, \quad (30.30)$$

bu yerda $\alpha = \tau / T$ – kuchlanishni rostlash koeffitsienti (bu koeffitsient elektron kalit TK ning nisbiy ulanish davomiyligiga teng).

Bunda O'TM ning aylanish chastotasi

$$n = (\alpha U - I_a \cdot \sum R_a) / (C_E \Phi), \quad (30.31)$$

bu yerda $I_a = I_{o'rt}$ – yakor tokining o'rtacha qiymati.

Yakor tokining pulslanishi ΔI (5÷10)% dan oshmagan ish rejimda yakor chulg'amiga beriladigan kuchlanishning har xil qiymatlarida olingan O'TM ning tezlik va mexanik xarakteristikalar (30.14-rasm, 1, 2 va 3), O'T manbasidan O'TM ga beriluvchi kuchlanish U ni o'zgartirib olingan xuddi shunday xarakteristikalariga o'xshash bo'ladi.

Parallel qo'zg'atishli O'TM ning yuki kamayganda yakor tokining pulslanishi oshadi va biror kritik yuklamada pulslanib keladigan toklar ish rejimi boshlanadi. Yakor toki $I_a=0$ bo'lganda $E_a=U$ bo'lganligidan ideal salt ishlashdagi aylanish chastotasi $n = U/(C_E \Phi)$ vaqt τ ga, ya'ni kuchlanishni rostlash koeffitsienti α ga bog'liq emas. Shu tufayli, elektr motori pulslanib keladigan toklar bilan ishlash rejimiga o'tgandan keyin, qandaydir kritik aylanish chastotada (n_{kr}), tezlik va mexanik xarakteristikalarining absissalar o'qiga nisbatan og'ish burchagi keskin

o'zgaradi 30.16-rasmda – boshlang'ich qismi. Aylanish chastotaning $n_0 > n > n_{kr}$ o'zgarish chegarasida esa, bu xarakteristikalar xuddi, yakor zanjiriga reostat ulash yo'li bilan aylanish chastotasini rostlashdagi o'zgarish shakliga o'xshaydi. Aylanish chastotasining kritik qiymati quyidagiga teng:

$$n_{kr} = n_0 \cdot (e\alpha\beta - 1) / (e\beta - 1), \quad (31.32)$$

bu yerda $\beta = T/T_a$; $T_a = (L + L_a) / \sum R_a$ – yakor chulg'ami zanjirining vaqt doimiysi.

O'TM ga beriladigan kuchlanishning o'rtacha qiymati $U_{o'rt}$ elektron kalit TK ga ($\tau = \text{sonst bo'lganda}$) beriluvchi boshqarish impulslarining berilish davri T ning davomiyligini o'zgartirish (chastotali-impulsli rostlash) yo'li bilan, yoki davr T ning o'zgarish qiymatida vaqt τ ni o'zgartirish (impuls kengligini rostlash) yo'li bilan rostlanadi. Qurama rostlashdan ham foydalaniladilar, bunda ham davr T ni, hamda vaqt τ ni birgalikda o'zgartiradilar. Shunday qilib, impulsli uslub, O'TM aylanish chastotasini kuchlanishi o'zgarish bo'lgan manbadan ta'minlanganda uning yakor zanjiri reostatsiz bo'lsa ham, keng chegarada rostlashga imkon beradi. Bunda qo'shimcha isroflar deyarli bo'lmaydi.

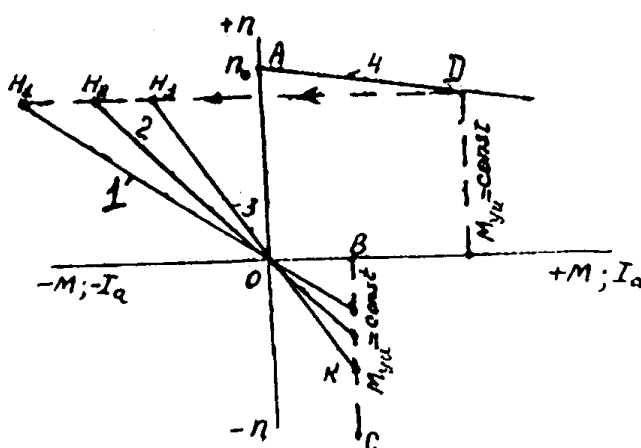
30.7§. O'zgarish tok motorlarini tormozlash usullari

Ayrim yuritmalar uchun birinchi darajali ahamiyatga ega bo'lgan O'TM ning tormozlash masalasi ham ularni rostlash jarayoniga taalluqli hisoblanadi. O'TM ni tormozlash zaruriyati quyidagi hollarda, ya'ni uni qisqa vaqt ichida butunlay to'xtatish va uning aylanish yo'nalishini o'zgartirish kerak bo'lganda, xavfli vaziyat sodir bo'lganda va shularga o'xshash hollarda tug'iladi. Elektr usulda tormozlashda elektr mashinasi bu davrda motor rejimidan generator rejimiga o't-kaziladi va, demak, yakorning aylanish yo'nalishiga teskari bo'lgan elektro-magnit momentini, ya'ni tormozlash momentini hosil qiladi.

Elektr tormozlash usuli uchtaga bo'linadi: 1) dinamik, 2) rekuperativ (energiyani tarmoqqa qaytarish yo'li bilan tormozlash) va 3) teskari ulash yo'li bilan tormozlash.

a) Parallel qo'zg'atishli motorning tormozlash xarakteristikalari. Dinamik (reostatli) tormozlash. Faraz qilaylik, mashina 30.15-rasmda ko'rsatilgan 4-xarakteristikaning D nuqtasi bilan aniqlanadigan rejimda ishlasin. Parallel qo'zg'atishli motorni dinamik tormozlashda uning yakorini tarmoqdan uzilgandan keyin yuklama qarshiligi (reostat)ga ulanadi. Qo'zg'atish chulg'ami butun tormozlash jarayonida tarmoqqa ulangan holda qoladi. Mashina, agregatda to'plangan kinetik energiya tufayli, mustaqil qo'zg'atishli generator sifatida ishlay boshlaydi va uning chulg'amida yo'nalishi lishi, xuddi O'TM niki singari bo'lgan EYuK hosil bo'ladi. Dinamik tormozlash rejimiga o'tishdan keyingi vaqtning boshlang'ich onida mashinaning aylanish chastotasi $n = \text{const}$ bo'lganligi uchun, shunga mos bo'lgan EYuK ham o'zgarmas ($E_a = C_E \Phi \cdot n = \text{const}$) bo'ladi. Motor si fatida ishlagandagi yakor toki quyidagiga teng edi:

lekin yakorni tarmoqdan uzgandan keyin (demak, $U = 0$) va uni yuklama qarshiligi R_r ga ulagandan keyingi (bu qarshilik tok kuchini cheklash uchun ulanadi) tokning qiymati quyidagiga teng bo'ladi:



Bu holda kuchlanish $U = 0$ bo'lganligi uchun (30.30) ifodaga asosan elektr mashinasi mexanik xarakteristikasining tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$n = M (R_a + R_r) / (C_E C_M \Phi^2). \quad (30.34)$$

Bu tenglama, 30.15-rasmda ko'rsatilgan 2-chorakdan 4-chorakka koordinatalar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq tenglamasiga to'g'ri keladi. Tok I_a ning yo'nalishi o'zgarganligi sababli momentning ham yo'nalishi o'zgaradi, ya'ni u tormozlash momenti bo'ladi va $R_r = R_{r3}$ da mashinaning ishi N_3 nuqta bilan aniqlanadi. Mashinaning bu nuqtadagi ishi tormozlash momenti ($-M$) va aylanish chastotasining boshlang'ich qiymati n ga mos keladi.

Aylanish chastotasining bundan keyingi o'zgarishi R_1 , R_2 va R_3 larga mos ravishda 1, 2 va 3-xarakteristikalar bo'yicha kamayadi va $u = 0$ ga teng bo'lishi mumkin. Yuk ko'tarib-tushiruvchi mexanizmlarda tushib kelayotgan yukning ta'siridan EM ning yakori teskari yo'nalishda aylana boshlashi mumkin. Yukning hosil qilgan ($M_{yu} = \text{const}$ bo'lgandagi) momentiga mos keladigan to'g'ri chiziq BC bilan 3-xarakteristikaning kesishish nuqtasi K da yukning tushish tezligi barqaror bo'ladi.

EM sining tormozlash rejimidagi mexanik xarakteristikalari $\Phi = \text{const}$ bo'lganda, boshqa masshtabda, xuddi tezlik xarakteristikalari ko'rinishida bo'ladi (chunki $M = C_m \Phi \cdot I_a = C'_m I_a$).

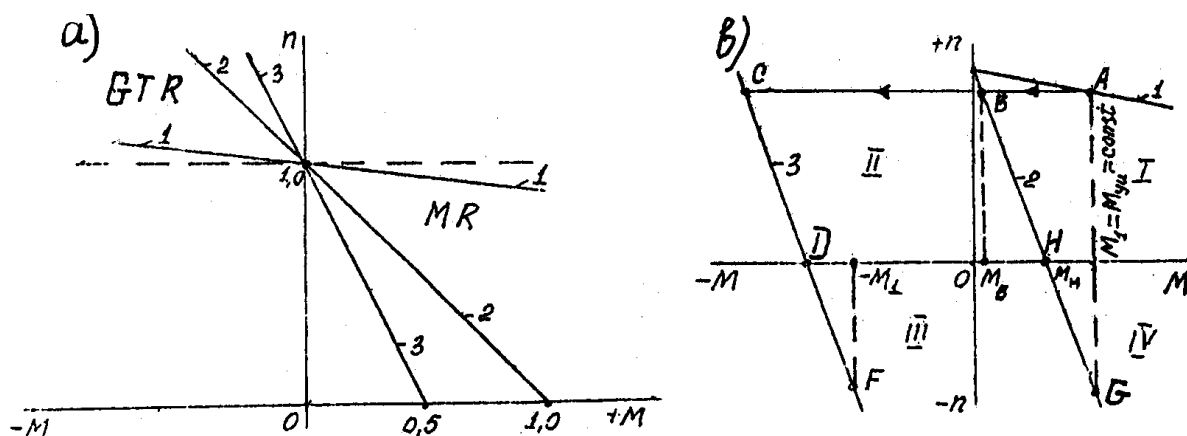
Shunday qilib, parallel qo'zg'atishli motorning dinamik tormozlashdagi mexanik xarakteristikalarini ifodalovchi koordinatalar boshidan o'tadigan to'g'ri chiziqlarning absissalar o'qiga og'maligi qarshilik $R_{r(a)}$ ning qiymatiga bog'liq bo'ladi, ya'ni $R_{r(a)}$ qancha katta bo'lsa, ularning og'maligi shuncha kam bo'ladi (30.15-rasm).

Rekuperativli (generatorli) tormozlash. Bu turdagi elektr tormozlanish jarayoni quyidagicha tushuntiriladi. Masalan, yuk krani parallel qo'zg'atishli motor bilan yuritilganda pastga tushirilayotgan yuk tufayli O'TM ning aylanish chastotasi n uning salt ishlashdagi aylanish chastotasi n_0 dan ham oshishi mumkin. Bu

holda yakor chulg'amida hosil bo'lgan EYuK $E_a > U$ bo'ladi va, demak, tok $I_a = (U - E_a) / R_a$, o'zining ishorasini teskariga o'zgartiradi. Bunga mos ravishda elektromagnit momentning ishorasi ham o'zgaradi, ya'ni EM generator sifatida elektr tarmog'i bilan parallel ishlay boshlaydi. Bunda, generatorning aylanayotgan qismlarida to'plangan kinetik energiyasi elektr energiyaga aylanib elektr tarmog'iga qaytariladi (rekuperatsiyalanadi). Xuddi shunday rejim transport vositalarining (elektropoezd, trolleybus, tramvay va boshqalar) qiyalikdan pastga qarab qilgan harakatida bo'lishi mumkin.

Generator rejimidagi mexanik xarakteristikalar O'TM rejimidagi xuddi shunday xarakteristikalar $n = f(+M)$ ning grafikdagi manfiy qiymatli momentlarga mos keladigan $n = f(-M)$ qismidagi davomi bo'ladi (30.16, a-rasm, II-chorak). O'TM ni generator rejimiga o'tkazib tormozlash boshqa tormozlash usullariga nisbatan eng tejamlisidir, chunki bunda energiya yo'qolmaydi (dinamik tormozlashda esa energiya isrof bo'ladi).

Teskari ulash yo'li bilan (elektromagnit) tormozlash. Bunday tormozlash O'TM chulg'aming ulanishi aylanishning bir yo'nalishiga to'g'ri kelib, yakor esa tashqi yuklamaning tormozlovchi momenti yoki inersiyaning kuchli ta'sirida qarama-qarshi yo'nalishida aylanadigan holda sodir bo'ladi.



30.16-rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning: rekuperativ (generator) (a) va teskari ulash yo'li bilan (b) tormozlashdagi mexanik xarakteristikalari; GTR – generatorli tormozlash rejimi; MR – motor rejimi

Bunday rejim ikkita usul bilan, ya'ni: 1) ish mexanizmi elektr mashinaning aylantiruvchi momenti ta'sirida aylanayotgan yo'nalishdan teskari tomonga aylantirilganda va 2) yakor chulg'ami tokining yo'nalishini o'zgartirish yo'li bilan

O‘TM ning aylanish yo‘nalishini o‘zgartirish jarayonida amalga oshiriladi. 1-rejim, masalan, yukni ko‘tarayotgan O‘TM ning yakor zanjiriga ancha katta qarshilik $R_{r(a)}$ ni ulaganda sodir bo‘ladi. Aytaylik, parallel qo‘zg‘atishli motor tabiiy mexanik xarakteristikasidagi (1) A nuqtada ishlab, $M = M_{yu} = \text{const}$ moment bilan yuk ko‘tarsin (30.16,b-rasm). Qarshilik $R_{r(a)}$ ni yakor zanjiriga ulaganda O‘TM tabiiy mexanik xarakteristikasidan, shu qarshilikka mos bo‘lgan sun‘iy mexanik xarakteristikasiga (2-xarakteristika, «B» nuqta) o‘tadi. Bunda O‘TM ning aylantiruvchi momenti $M_B < M_{yu}$ bo‘ladi, shuning uchun ko‘tarishdagi aylanish chastotasi sekinlashadi. Bu holda EYuK E_a kamayadi, tok I_a esa oshadi, bunga mos ravishda moment M ham oshadi. Bu xarakteristikadagi «B» nuqtada hali ham $M_1 < M_{yu}$ bo‘lganligidan yuk tusha boshlaydi, O‘TM ning rotorini esa teskari tomonga aylanadi (30.16,b-rasm, 2-xarakteristikasining IV chorakdagi qismi). Bu holatda EYuK E_a ning yo‘nalishi o‘zgaradi va tarmoq kuchlanishi U ning ishorasi bilan bir xil bo‘lib qoladi. Natijada, yakor toki odatdagi O‘TM rejimidagiga qaraganda oshadi va, endi $(U - E_a)$ ayirma bilan emas, balki $(U + E_a)$ yig‘indi bilan aniqlanadi:

$$I_a = (U + E_a) / (\sum R_a + R_{r(a)}), \quad (30.35)$$

demak, $R_{r(a)} = 0$ bo‘lganda yakor toki I_a haddan tashqari katta qiymatga ega bo‘lishi mumkin. Shu sababli tok I_a ning qiymatini cheklash maqsadida yakor zanjiriga nisbatan katta qarshilik ($R_{r(a)}$) ulaydilar. Endi teskari ulash yo‘li bilan tormozlash usulini, ya‘ni yakor toki I_a ning yo‘nalishini o‘zgartirish bilan amalga oshiriladigan usulni ko‘rib chiqamiz. Bunday rejim revers qilishda vujudga keladi va bu hol O‘TM ni qisqa vaqt ichida tormozlashda (masalan, kranning surilib yuruvchi qismi – telejkasini tormozlashda) ro‘y beradi. Oldingidek, $M_{yu} = \text{const}$ va $I_{qo'z} = \text{const}$, deb hisoblaymiz. O‘TM ni n_1 aylanish chastota va M_1 moment bilan «A» nuqtada ishlayotgan bo‘lsin (30.16,b-rasm, 1-xarakteristika). Yakor zanjiriga berilgan kuchlanishning qutbiyligi (ishorasi)ni o‘zgartirganda (ya‘ni revers jarayonida) yakor tokining yo‘nalishi, demak, moment M ning yo‘nalishi ham teskariga o‘zgaradi, ya‘ni O‘TM da aylanish chastotani susaytiruvchi tormozlash momenti hosil bo‘ladi; aylanish yo‘nalishi, aylanayotgan qismlarning inersiyasi

tufayli o'zgarasdan qoladi. Shuning uchun O'TM ning ishi II chorakdagi 3-xarakteristikaning «C» nuqtasiga o'tadi (30.16,b-rasm). Tormozlash momenti ta'sirida tezlik xarakteristikasi bo'yicha kamayadi (CD qismi) va «D» nuqtada uning aylanish chastotasi $n = 0$ bo'ladi. Agar bu holda ham O'TM ni tarmoqdan uzilmasa, unda uning aylanish yo'nalishi o'zgaradi. Bundan ish III chorakning «F» nuqtasiga o'tadi va EM motor sifatida ishlab ($-M$) momenti bilan ($M_1 = M_{yu} = \text{const}$ bo'lsa) teskari yo'nalishda aylanadi.

b) Ketma-ket va aralash qo'zg'atishli o'zgaras tok motorlarini tormozlashning o'ziga xos xususiyatlari. Ketma-ket qo'zg'atishli motorlar uchun elektr tormozlashning ikkita usuli mavjud: 1) dinamik va 2) teskari ulash yo'li bilan tormozlash. Rekuperativli (generatorli) tormozlashni bu motorlar uchun qo'llashning iloji yo'q, chunki bunday holat faqat $n > n_{0(u)}$ (ya'ni $E_a > U$) bo'lganda amalga oshishi mumkin (bunday motorlarning aylanish chastotasi hamma vaqt $n < n_0$). Demak, EYuK E_a O'TM ga berilgan kuchlanish U dan katta bo'lishiga imkoniyat yo'q. Ketma-ket qo'zg'atishli motor o'zining ana shunday xususiyati bilan parallel qo'zg'atishli motorlardan jiddiy farq qiladi. Hozirgi kunda ketma-ket qo'zg'atishli motorlarni rekuperativ (generator) tormozlash rejimi elektr harakat tarkiblarida keng qo'llanilmoqda. Buning uchun uning qo'zg'atish chulg'ami tormozlash davrida qayta ulagichlar yordamida parallel yoki mustaqil qo'zg'atishga o'tkaziladi.

Aralash qo'zg'atishli motorlarning dinamik tormozlanishi ko'proq fa-at parallel qo'zg'atish chulg'amida amalga oshiriladi (bunda ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami shuntlanadi), chunki bunda energiya ancha tejaladi. Ayrim maxsus hollarda tormozlashni ko'proq jadallashtirish uchun ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami, uning o'ramlar sonini o'zgartirish bilan qo'shimcha MYuK bilan ta'minlanadi.

Teskari ulash yo'li bilan tormozlashda ketma-ket qo'zg'atishli motorni uning aylanishiga teskari bo'lgan tomonga aylantirilsa, motor rejimidan tormozlash rejimiga tekis (silliq) o'tish mumkin.

Nazorat savollari

1. O'TM ning tuzilishi va ishlash prinsipini gapirib bering.

2. Parallel qo'zg'atishli O'TM ni «reostatli» ishga tushirish jarayonidagi tok, moment va aylanish chastotalarning o'zgarish xarakteri qanday?
3. Nima uchun ketma-ket qo'zg'atishli O'TM ni yuksiz ishga tushirib bo'lmaydi?
4. Parallel qo'zg'atishli O'TM ning ish xarakteristikalarini tahlil qilib bering.
5. O'TM va ish mexanizmining turg'un ishlash sharti nima bilan xarakterlanadi?
6. O'TM larining aylanish chastotasini rostlash usullari nimalardan iborat?
7. O'TM lari aylanish chastotasini rostlashning zamonaviy usullari qanday?
8. Parallel qo'zg'atishli O'TM ni tormozlash usullarini tahlil qiling.

* * *

31–Bob. Maxsus maqsadli va zamonaviy o'zgarmas tok mashinalarining ayrim turlari

Maxsus maqsadli O'T mashinasining unipolyar (qutblari bir nomli) va magnitogidrodinamik turlari ham mavjud bo'lib, ular tor sohalar uchun mo'ljallanishini ta'kidlash bilan chegaralanib mazkur bobda maxsus maqsadli o'zgarmas tok mashinalarining amalda keng qo'llaniladigan hamda istiqbolli turlariga oid ma'lumotlar keltirilgan.

31.1§. O'zgarmas tok taxogeneratorlari

O'T taxogeneratorlari konstruksiyasi va ishlash prinsipi bo'yicha mustaqil elektromagnit qo'zg'atishli yoki qo'zg'atish maydoni doimiy magnit bilan hosil qilinadigan kam quvvatli kollektorli O'T mashinalaridir (31.1-rasm). Ular chiqish klemmalaridagi kuchlanish kattaligiga qarab aylanish chastotasini o'lchash uchun

hamda avtomatik nazorat qilish va rostlash sxemalarida valning aylanish chastotasiga mutanosib bo'lgan elektr signallari olish uchun xizmat qiladi. Qo'zg'atish toki o'zgarmas, ya'ni magnit oqim $\Phi = \text{const}$ bo'lganda taxogeneratorning chiqish klemmalaridagi EYuK E_{chiq} aylanish chastotasi n ga to'g'ri mutanosib ravishda o'zgaradi:

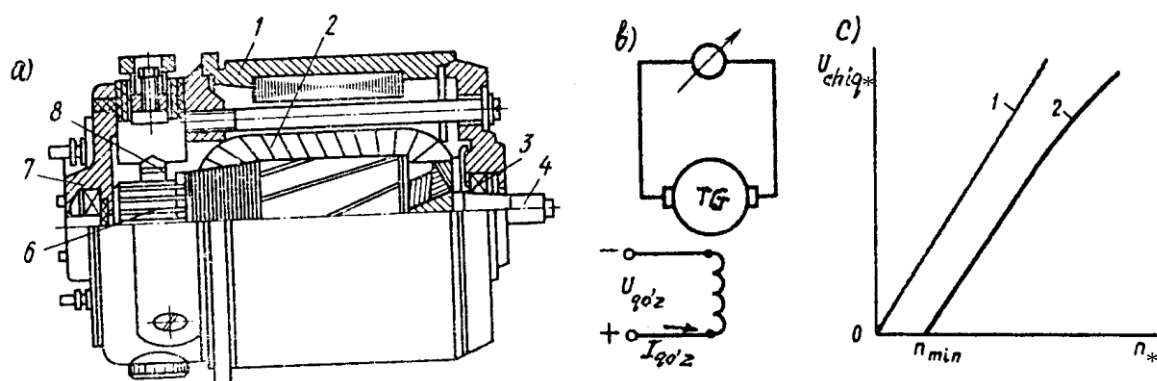
$$E_{\text{chiq}} = C_E \Phi \cdot n. \quad (31.1)$$

Bu formula magnit oqimi $\Phi = \text{const}$ bo'lgan doimiy magnitlar bilan qo'zg'atiladigan taxogeneratorlar uchun ham to'g'ri keladi. Uning chiqish kuchlanishi:

$$U = E_a - I_a \Sigma R_a = E_a - U (\Sigma R_a / R_{\text{yu}}), \quad (31.2)$$

bu yerda R_{yu} — yuklama (elektr o'lchash asbobi)ning qarshiligi.

Birorta mexanizmning aylanish chastotasini o'lchash uchun taxogeneratorning valini mexanizm vali bilan mexanik ravishda birlashtiriladi. Taxogeneratorning chiqish xarakteristikasi $\Phi = \text{const}$ va $\Sigma R_a = \text{const}$ bo'lganda olinadi va ishining aniqlik darajasi mazkur xarakteristikaning to'g'ri chiziqli o'zgarishiga bog'liq bo'ladi, lekin amalda chiqish xarakteristikasi



31.1-rasm. O'zgarmas tok taxogeneratorining tuzilishi (a), принципиал схемаси (b) va uning chiqish xarakteristikasi (c)

$U_{\text{chiq}} = f(n)$ yakor reksiyasi va cho'tkalar kontaktida kuchlanish tushishi tufayli to'g'ri chiziqli bo'lmaydi, undan tashqari cho'tka kontaktidagi kuchlanish tushishi

sababli u koordinata o'qlari boshidan chiqmay, $n_{\min}$ aylanish chastotadan keyingina $U_{\text{chiq}} > 0$ bo'ladi (31.1,b-rasm, 2).

Qarshiligi katta bo'lgan o'lchov asboblari ishlatish bilan chiqish xarakteristikasining o'zgarishini to'g'ri chiziqligiga yaqinlashtirib taxogeneratorning aniqlik darajasi oshiriladi. Yakor reaksiyasining ta'sirini kamaytirish maqsadida mashinaning magnit zanjirini to'yinmagan yoki nihoyatda to'yingan qilib loyihalanadi.

Zamonaviy O'T taxogeneratorlari chiqish xarakteristikalarining tikligi $C = 3 \div 100 \text{ mV}/(\text{ayl}/\text{min})$ bo'ladi (kam qiymatlar doimiy magnit bilan qo'zg'atiladigan taxogeneratorlarga xosdir). Aylanish chastota $n = 0$ dan $n_{\min}$ gacha oshganda $U_{\text{chiq}} = 0$ bo'lgan oraliqni nosezgirlik oraliq deyiladi va chegarasi quyidagicha aniqlanadi (31.1,b-rasm):

$$n_{\min} = \Delta U_{\text{chiq}} / (C_E \Phi). \quad (31.3)$$

Asosiy magnit maydoni doimiy magnit bilan hosil qilinadigan o'zgarmas tok taxogeneratorlari mustaqil O'T manbasi talab qilinmaganligi, konstruksiyasining oddiyligi va gabaritlarining kichikligi tufayli ular amalda keng qo'llanilmoqda.

31.2§. Ijrochi o'zgarmas tok motorlari

Ijrochi O'TM lari (31.2-rasm) elektr signallarni mexanik harakatga aylantirish uchun mo'ljallangan. Bunday motorlar kam inersiyali, ya'ni boshqarish O'TM ni tezkorlik bilan mexanik harakatga oshiradigan bo'lishi lozim. Odatdagi konstruksiyali O'TM larida yakor o'zagining mavjudligi yakorning inersiya momentini ancha orttiradi. Shu sababli ijrochi O'TM lar pazzsiz yakorli va yakori bosma chulg'amli qilib tayyorlanadi.

Umumiy maqsadli O'TM lariga qo'yiladigan talablardan tashqari ijrochi O'TM lariga boshqarish signalining uzilishi bilan o'z harakatini darhol to'xtatishi va inersiyasining kamligi kabi maxsus talablar qo'yiladi. Elektromagnit qo'zg'atishli ijrochi O'TM larining ikkita chulg'ami bo'lib, ulardan bittasi elektr tarmog'iga doimiy ulanib, uni qo'zg'atish chulg'ami deyiladi. Valning aylanishi zarur bo'lgan holda ikkinchi chulg'amga, ya'ni boshqarish chulg'amiga elektr signali beriladi. Ijrochi O'TM larining konstruksiyasi umumiy maqsadli O'TM

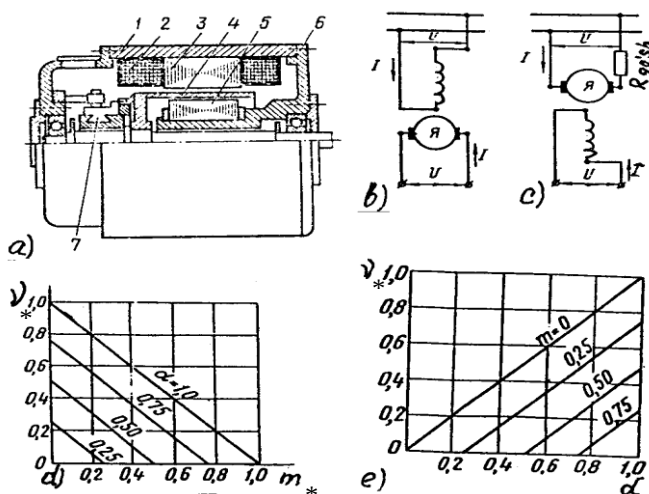
larinikidan quyidagilar bilan farq qiladi, ya'ni ularning yakori, staninasi va qutblari yupqa elektrotexnik po'lat tunukalaridan yig'ilgan bo'ladi, chunki bunday motorlarning ishi ko'pchilik hollarda o'tish jarayonlar bilan bog'liq bo'ladi. Ijrochi motorlarning magnit zanjiri to'yinmagan bo'ladi, shu sababli uning ish xarakteristikalariga yakor reaksiyasi deyarli ta'sir qilmaydi.

Mustaqil qo'zg'atishli ijrochi motorlarning ikkita usul bilan, ya'ni yakordan va qutbdan boshqarish mumkin. Xarakteristikalari chiziqli bo'lganligi va elektr signali uzilganda yakor tezkorlik bilan to'xtash qobiliyatiga egaligi kabi afzalliklari mavjudligidan yakordan boshqariladigan ijrochi O'TM lari (31.2,b-rasm) amalda keng qo'llaniladi. Bularda qo'zg'atish chulg'ami motorning butun ish jarayonida elektr tarmog'iga ulangan bo'ladi. Yakor chulg'ami esa boshqarish chulg'ami deyiladi. Bu chulg'amga boshqarish signalini berganda yakor

chulg'amidan o'tadigan tok qo'zg'atish chulg'ami magnit maydoni bilan ta'sirlashib, aylantiruvchi moment hosil qilishi natijasida yakor aylanadi.

Ijrochi motor inersiyasini kamaytirish maqsadida quyma ferromagnit o'zak ichki stator deb nomlanadigan qo'zg'almas qismda joylashgan bo'lib, yakor chulg'ami esa silindrik karkasga plastmassa bilan quyib mahkamlanadi. Demak, yakor chulg'ami o'tkazgichlari plastmassa bilan mahkamlangan silindrsimon kavak idishdan iborat bo'lar ekan.

31.2-rasm. Ijrochi o'zgarmas tok motorining umumiy ko'rinishi (a) (bunda: 1 – korpus; 2 – qo'zg'atish chulg'ami; 3 – qutb; 4 – ichi kovak yakor; 5 – ferromagnit o'zak; 6 – podshipnikli qalqon; 7 – kollektor); yakordan (b) va qutbdan (c) boshqariladigan; yakordan boshqariladigan ijrochi motorning mexanik (d) va rostlash (e) xarakteristikalari



Ichi kavak yakorning inersiya momenti odatdagi yakornikidan ancha kamligi tufayli motorning yaxshi tezkorlikka egaligi uning afzalligi bo'lsa, qo'zg'atish chulg'ami joylashgan o'zak (tashqi stator) va qo'zg'almas ferromagnit o'zak (ichki

stator) orasida katta nomagnit oraliqqa egaligi magnit qarshilikni oshirib zaruriy maydon hosil qilish uchun qo'zg'atish MYuK ni ancha oshirish talab etilishi (demak, motor gabaritining nisbatan oshishi) esa ularning kamchiligidir. Bunday motorlarning FIK taxminan odatdagi konstruksiyali O'TM larniki singari bo'ladi, asosiy maydoni doimiy magnit qo'llab hosil qilinadigan motorlarda esa FIK yana ham yuqori bo'ladi.

31.3§. O'zgarmas tok mashinalarining zamonaviy turlari

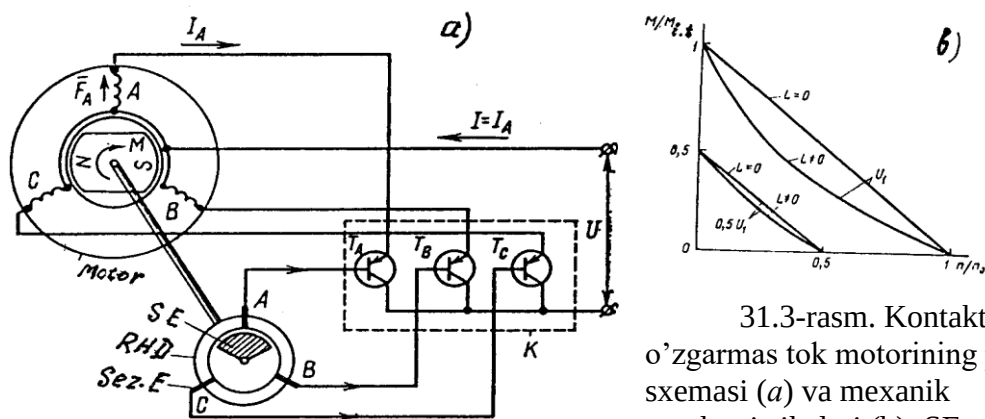
a) Kontaktsiz (ventilli) o'zgarmas tok motorlari. Ma'lumki, odatdagi O'TM larining asosiy kamchiligi – cho'tka-kollektor qurilmasining ishdagi ishonchliligining kamligidir. O'TM larining ish xossalarini yaxshilash maqsadida ularning cho'tka-kollektor qurilmasi yarim o'tkazgichli kommutator (invertor) bilan almashtirilgan. Bu kommutator kontaktsiz rotor holati datchigidan kiradigan signallar orqali boshqariladi. Motorning ishchi chulg'ami (bir-biridan fazoda 120° siljigan va «yulduz» ulangan A, B va C chulg'amlari) stator o'zagi pazlarida joylashtirilgan, rotor esa doimiy magnitdan yasalgan (31.3-rasm).

Birorta mexanizmni harakatga keltirayotgan motorning vali rotor holati datchigi (RHD) bilan mexanik ravishda birlashtirilgan bo'ladi. RHDning rotorida signal elementi (SE), statorida esa sezgir elementi (Sez.E) o'rnatiladi. Bundan keladigan signal kommutator bloki (KB)ga kiradi. Yakor chulg'ami seksiyalarining O'T manbasiga ulanishi KB elementlari orqali amalga oshiriladi. RHD ning vazifasi – doimiy magnit qutblarining yakor chulg'ami seksiyalariga nisbatan tutgan holatiga mos holda boshqarish signalini KB ga berishdan iboratdir. RHD ning sezgir elementi sifatida asosan Xoll EYuK datchigi qo'llaniladi. Bu datchikning chiqishidagi signal zanjirdagi tokning yo'nalishi va qo'zg'atish chulg'ami magnit maydonining yo'nalishiga mutanosib ravishda o'zgaradi.

Statik kommutator RHD dan boshqarish signalini olib motorning yakor chulg'amida xuddi kollektor bilan cho'tka yakor chulg'amida hosil qiladigan toklarning o'zgarishini vujudga keltiradi.

Kommutator (K) – har fazaviy chulg'amga bittadan TA, TB, TC tranzistordan iborat bo'lib, A, B, C fazaviy chulg'amlarga ketma-ket ulangan.

Tranzistorlarga beriladigan boshqarish signallar Sez.E ning holatiga bog'liq ravishda ishlab chiqiladi. Tranzistorlar kalit rejimida ishlab «yopiq» yoki «ochiq» turg'un holatiga ega. Birinchisi signal yo'q vaqtiga to'g'ri keladi, ikkinchisi esa signal berilganda bo'ladi. 31.3-rasmda Sez.E statorning «A» fazasiga mos kelgan holati ko'rsatilgan. Bunda TA— ochiq, ya'ni «A» fazasidan tok I_A o'tadi, TB va TC lar esa yopiq bo'ladi. I_A toki rotorning doimiy magnit maydoni bilan ta'sirlashib aylantiruvchi moment M ni hosil qiladi. Natijada, rotor RHD bilan soat strelkasi bo'yicha aylana boshlaydi. Bir oz vaqtdan keyin Sez.E birdaniga ikkita fazaga ta'sir eta boshlaydi, so'ngra esa «B» fazasi ishlaydi va hokazo. Kontaksiz O'TM lari shu tarzda ishlaydi. Ularning mexanik xarakteristikallari 31.3,b-rasmda keltirilgan.



31.3-rasm. Kontaksiz (ventilli) o'zgarmas tok motorining prinsipial sxemasi (a) va mexanik xarakteristikallari (b); SE – signal

Kontaksiz O'TM lari odatdagi motorlarning ijobiy sifatlarini saqlagan holda, ularda cho'tka-kollektor qismining yo'qligi ularning katta afzalligidir. Konstruksiya (motor, RHD va kommutator) ning murakkabligi va narxining qimmatligi ularning kamchiligidir.

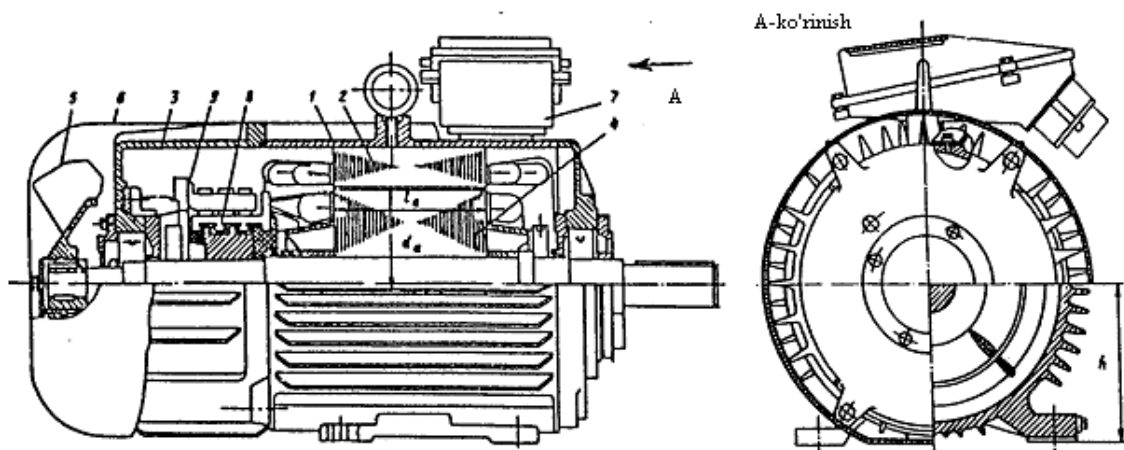
b) O'zgarmas tok mashinalarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yaxshilangan yangi seriyalari.

Hozirgi vaqtda umumiy maqsadli O'T mashinalarining asosiy seriyalari 2P va 4P, hamda kran-metallurgiya motorlari va maxsus maqsadli seriyalari ishlab chiqarilmoqda. 2P seriyasiga quvvati 0,13 dan 200 kW gacha, aylanish o'qi balandligi 90÷135 mm bo'lgan motorlar kiradi. Ilgarigi P seriyaga kiradigan

XII÷XVI gabaritlar yangi P2 seriya bilan almashtirilmoqda. O'T mashinasining 4P yangi seriyasi ishlab chiqilgan. Bu seriyadagi mashinalarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yaxshilangan va uning ayrim qismlari va detallari 4A seriyadagi asinxron motorlarniki bilan moslashtirilgan, ya'ni unifikatsiya qilingan (31.4-rasm).

4P seriyadagi o'rta va katta quvvatli O'T mashinalari tarqalgan kompensatsion chulg'am bilan ta'minlangan. Stator va yakor magnit o'tkazgichlari yupqa elektrotexnik po'lat tunukalardan yig'iladi. Mazkur seriyadagi bir qator mashinalarning statori asinxron motorlarnikiga o'xshagan bo'lib ayon bo'lmagan qutb-li bo'ladi (31.4-rasm). Qo'zg'atish va kompensatsion chulg'amlari pazlarga bir tekis tarqatilgan. Statorni bunday konstruksiyada bajarish asinxron motorlar statorlarini ishlab chiqarish texnologiyasidan keng foydalanish maqsadida amalga oshiriladi, ya'ni O'TM lari statorlarini tayyorlash uchun alohida maxsus stanoklar talab etilmaydi.

O'TM larining 2P va 4P seriyalarining motorlari 110, 220, 340 va 440 V kuchlanishlarga va 750, 1000, 1500, 2200 va 3000 ayl/min aylanish chastotalarga tayyorlanadi. 2P seriyali motorlar mustaqil qo'zg'atishli bo'lib, qisqa muddatli katta o'ta yuklanishni ta'minlaydigan kompensatsion chulg'amga ega va ularning aylanish chastotasini keng ko'lamda o'zgartirish mumkin.



31.4-rasm. 4PO seriyali o'zgaras tok motorining bo'ylama va ko'ndalang qirqimlari:

1 – korpus; 2 – stator magnit o‘tkazgichi; 3 – old tomondagi podshipnik qalqoni; 4 – yakor po‘lat o‘zagi; 5 – ventilyator; 6 – himoya qoplamasi (kojuxi); 7 – chulg‘am uchlari chiqarilgan quticha; 8 – kollektor; 9 – cho‘tka tutqich; h – rotorning aylanish o‘qi balandligi; d_a – yakor diametri; l_a – yakor uzunligi

Metallurgiya, yuk ko‘tarish kranlar, ekskavatorlar va boshqa elektr yuritmalar uchun quvvati 2,5 dan 185 kW gacha, kuchlanishi 220 va 440 V, $n_N = 400 \div 1440$ ayl/min bo‘lgan «D» seriyali (ular aylanish chastotani keng ko‘lam-da rostlashni ta‘minlaydi) O‘TM lar; qadamlovchi ekskavatorlar elektr yuritmalari uchun quvvati 450 kW, 370 V, $n = 29$ ayl/min bo‘lgan MPVE–450–29 tipli; quvvati 1000 kW, 600 V, $n = 630/1000$ ayl/min bo‘lgan MPE–1000–630 UXLZ tipli O‘TM lari; quvvati 1250 kW, kuchlanishi 930 V, aylanish chastotasi 1000 ayl/min bo‘lgan GPE–1250 tipli O‘T generatorlari; burg‘ilovchi qurilmalar uchun quvvati 68 kW bo‘lgan DEV–808 tipli, 110 t yuk ko‘taradigan BelAZ–7519 o‘zi ag‘darar yuk mashinasi g‘ildiragini aylantiruvchi tortish O‘TM lari (360 kW, $U = 750$ V, $n = 1100$ ayl/min) va ularni energiya bilan ta‘minlovchi GPA-600 tipli (630 kW) tortish generatori; elektrovoz va teplovozlar uchun quvvati 800 kW gacha bo‘lgan tortish O‘TM lari; jo‘valash dastgohlari (prokat stanlari) uchun quvvati 3000 kW gacha bo‘lgan O‘TM lari (ikki, uch va to‘rt yakorli konstruksiyada); kam quvvatli O‘TM lar PL, DPM, DPR seriyalarda ishlab chiqarilmoqda.

Nazorat savollari

1. Taxogeneratorning tuzilishi va ishlash prinsipini gapirib bering.
2. Ijrochi O‘TM qanday ishlaydi, afzalligi va kamchiligi nimalardan iborat?
3. Ventilli O‘TM ning tuzilishi va ishlash prinsipini gapirib bering.
4. Texnik–iqtisodiy ko‘rsatkichlari yaxshilangan O‘TM larning yangi seriyalari to‘g‘risda ma’lumot bering.

* * *

Oltinchi bo'lim. ELEKTR MASHINALARI UCHUN UMUMIY BO'LGAN MASALALAR

32-Bob. Elektr mashinalarining qizishi va sovushi

32.1§. Elektr mashinalarining qizishi.

EM larining ish jarayonida energiyaning bir qismi ulardagi isroflarni qoplashga sarflanadi. Energiya isroflarining barcha turlari issiqlikka aylanib, asosan EM ning aktiv qismlari temperaturasini oshirsa, uning bir qismi esa atrof muhitga uzatiladi.

EM si chulgʻamlar, magnit oʻtkazgich elementlari va konstruktiv detallar majmuasidan iborat. Bu qismlarning issiqlik oʻtkazuvchanligi, issiqlik sigʻimi va sovitilish sharoitlari har xil boʻladi, bu esa, EM da issiqlik maydoni taqsimlanishining murakkab xarakterda ekanligini koʻrsatadi. Lekin, EM ning qizish jarayonidagi umumiy qonuniyatlarni aniqlash maqsadida EM sini bir jinsli qattiq jism sifatida qaralsa qoʻyilgan masalani yechishdagi birinchi yaqinlashish boʻladi. Bunday taxminda EM ning qizishi uning butun hajmi boʻyicha bir tekis yuz beradi va issiqlik EM sirtining butun yuzasidan bir xil tarqaladi, deb hisoblanadi.

Bunday shartlarda issiqlik energiyasining muvozanat tenglamasi (energiyaning saqlanish qonuni) quyidagicha yoziladi:

$$Q \cdot dt = C_m \cdot d\tau + \alpha \cdot S_{\text{sov}} \cdot \tau \cdot dt, \quad (32.1)$$

bu yerda: $C_m \cdot d\tau$ – issiqlik energiyaning EM sida yutilib uning temperaturasi oshiradigan qismi; $\alpha \cdot S_{\text{sov}} \cdot \tau \cdot dt$ – issiqlik energiyaning atrof muhitga tarqaladigan qismi; C – EM sining solishtirma issiqlik sigʻimi (mashinaning 1 kg massasi temperaturasi 1 °C ga oshirish uchun zarur boʻladigan issiqlik miqdori), J/(kg·°C); m – EM ning massasi, kg; $\tau = v_{\text{mash}} - v_{\text{atrof}}$ – EM temperaturasi sovitish muhiti temperaturasidan oshishi, °C; α – EM sovitish yuzasining issiqlik berish koeffitsienti, W/(m² · °C); S_{sov} – EM ning sovitish yuzasi, m². Issiqlik atrof muhitga (yoki sovitish muhitiga) asosan issiqlik oʻtkazuvchanlik va konveksiya vositalarida oʻtkaziladi (issiqlikning nurlanish koʻrinishida uzatilish juda ham kam boʻladi).

EM sining temperaturasi v_{mash} va τ kattaligi oshgan sari atrof muhitga (sovitish muhitiga) tarqaladigan issiqlik miqdori oʻsib, EM ichki temperaturasi oshiradigan issiqlik qismi kamayadi. Bu jarayonning borishida EM temperaturasi oʻzining barqaror qiymatiga yetadi, yaʼni issiqlik muvozanati rejimi vujudga kelib, EM dan ajralib chiqadigan issiqlikning hammasi atrof muhitga beriladi. Bu holda $C_m \cdot d\tau = 0$ boʻlib, issiqlikning muvozanat tenglamasi (32.1) quyidagi koʻrinishda yoziladi:

$$Q = \alpha \cdot S_{\text{sov}} \cdot \tau_{\infty} \quad (32.2)$$

(32.2) dan τ ning barqarorlashgan qiymati (τ_{∞}) aniqlanadi:

$$\tau_{\infty} = Q / (\alpha \cdot S_{\text{sov}}), \quad (32.3)$$

demak, τ_{∞} ning qiymati mashina massasiga bog'liq bo'lmasdan, vaqt birligida EM dan ajralib chiqadigan issiqlik miqdori Q ga to'g'ri mutanosib bo'lib sovitish sirti yuzasi S_{sov} ga va issiqlik berish koeffitsienti α ga teskari mutanosibda bo'lar ekan. EM ning yuklamasi qancha ko'p bo'lsa, Q ning oshishi tufayli τ_{∞} ning qiymati ham mos ravishda ko'payadi. Sovitilish sharoiti yaxshilangan sari τ_{∞} kamaya boradi.

EM ni yaxshi sovitish maqsadida quyidagi usullardan va vositalardan foydalaniladi: a) o'rta va kam quvvatli EM larida staninaning tashqi sirtiga qovurg'asimon shakl berib sovitish yuzasini oshirish; b) ichki (yoki tashqi) ventilyator qo'yish (ayrim EM larida ikkalasini ham); v) katta quvvatli EM larda sovitgich qurilmalaridan foydalanish; g) o'ta o'tkazuvchanlikka asoslangan istiqbolli sovitish tizimidan foydalanish.

EM sining sovitilishi yaxshilanganda issiqlikni konveksiya yo'li bilan chiqarishning kuchayishi hisobiga koeffitsient α oshadi. Sovitishni sun'iy yo'llar bilan jadallashtirish tufayli ma'lum gabaritdagi EM dan katta quvvat olishga yoki ma'lum quvvatda EM ning gabaritini kamaytirishga erishiladi. (32.1) differensial tenglamani yechib quyidagini olamiz:

$$\tau = \tau_{\infty} [1 - \exp(-t / T)] + \tau_0 \cdot \exp(-t / T), \quad (32.4)$$

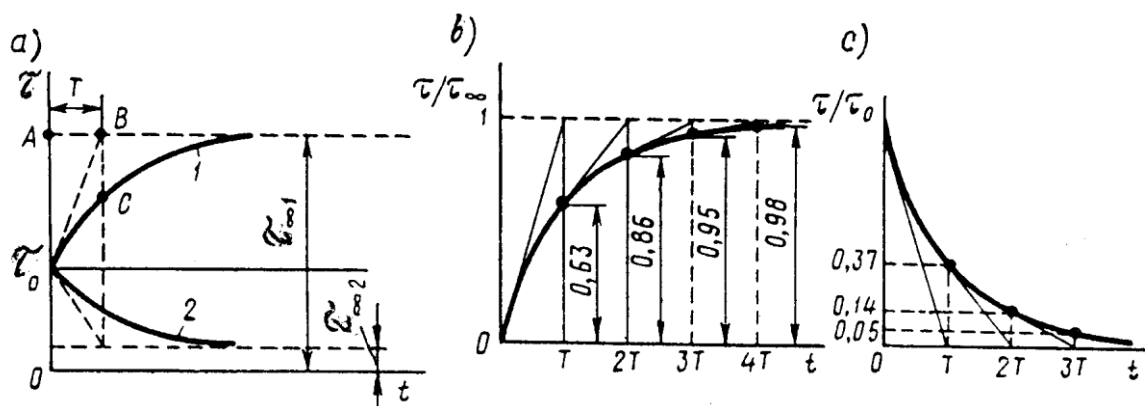
bu yerda τ_0 – EM temperaturasi oshishining boshlang'ich qiymati; $T = C_m / (\alpha S_{\text{sov}})$ – qizishning vaqt doimiyliqi, ya'ni EM qizishining tezligini xarakterlovchi kattalik.

Agar EM ishlashiga qadar qizdirilmagan bo'lsa, ya'ni uning temperaturasi atrof muhit temperaturasiga teng bo'lganda $\tau_0 = 0$ bo'ladi va qizish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$T = \tau_{\infty} [1 - \exp(-t / T)]. \quad (32.5)$$

Qizish jarayonining boshlanishida barcha hosil bo'lgan issiqlik mashinaning o'zida yutiladi va uning temperaturasi tez o'sadi. Agar shu jarayonda EM sidan atrof muhitga issiqlik uzatilmaganda edi, unda $\tau = \tau_{\infty}$ muvozanat holat 32.1,a-rasmdagi B nuqtaga to'g'ri kelgan bo'lardi, lekin EM

temperaturasining atrof muhit (yoki sovitish muhiti) temperaturasidan oshishi τ ning o'sa borishi bilan issiqlikning sovitish muhitiga beriladigan qismi ko'payishi tufayli temperaturaning o'sish tezligi kamayadi va mazkur muvozanat holat C nuqtaga to'g'ri keladi. EM temperaturasining sovitish muhiti temperaturasidan oshishining barqarorlashgan qiymat τ_{∞} ga yetgunga qadar ketgan vaqtga, ya'ni vaqt doimiysi T ga bog'liq bo'ladi. T qancha kam bo'lsa, qizish jarayoni shuncha tez kechadi, ya'ni $t \approx (3 \div 4)T$. Qizish jarayoni uchun ketgan vaqtни grafik usulda qizish egri chizig'i $\tau/\tau_{\infty} = f(t)$ dan aniqlash mumkin (32.1,b-rasm).



32.1-rasm. Umumiy hol uchun elektr mashinasida qizish (1) va sovush (2) jarayonlarining vaqt buyicha o'zgarishi (a); $\tau_0 = 0$ dan boshlab mashinaning qizishi (b); mashinaning 0°C gacha sovush jarayonining vaqt bo'yicha o'zgarishi (c)

Vaqt doimiysi (T) EM sining konstruksiyasiga va quvvatiga bog'liq bo'ladi. O'rta quvvatli EM lari uchun T bir necha minutga teng, katta quvvatli EM lari uchun esa u bir necha soatga yetadi.

Agar $\tau_{\infty} < \tau_0$ bo'lsa, (32.4) tenglama EM sining sovutilish jarayonini xarakterlaydi. Jismning barqarorlashgan temperaturasi sovitish muhitiniki bilan tenglashsa ($\tau_{\infty}=0$), (32.4.) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp(-t/T). \quad (32.6)$$

EM sovishining vaqt bo'yicha o'zgarish bog'liqligi — $\tau/\tau_0 = f(t)$ va sovitish uchun ketgan vaqtning grafik usulda aniqlash usuli 32.1,c-rasmida keltirilgan. Yuqorida EM ni bir jinsli jism sifatida qaralganda sodir bo'ladigan qizish va sovish jarayonlarining qisqacha bayoni bilan tanishildi. Haqiqatda esa EM ning ayrim qismlari har xil temperaturaga ega va, shu sababli, EM ni o'zaro issiqlik almashuvi mavjud bo'lgan bir necha bir jinsli jismlarning majmuasidan iborat, deb qaralganda

to'g'ri bo'lar edi. Haqiqiy sharoitda T ning kattaligi ham o'zgaras bo'lmaydi, chunki issiqlik uzatish koeffitsientlari ayrim darajada temperaturaga bog'liq bo'ladi. Undan tashqari havo yoki boshqa sovitish moddasi ventilyatsion kanaldan oqib o'tganda qizishi tufayli sovitish yuzasining har xil qismlari uchun sovitish muhitining temperaturasi har xil qiymatga ega bo'ladi.

Shunday qilib, EM ning qizish va sovish egri chiziqlari eksponensial o'zgarishiga nisbatan farqli bo'ladi. Lekin ko'pchilik amaliy hollarda yuqorida ko'rilgan nazariyaga asoslangan holda mazkur o'zgarishlar eksponenta ko'rinishida o'zgaradi, deb qaralganda katta xato bo'lmaydi.

32.2§.Elektr mashinalarining asosiy nominal ish rejimlari.

EM larining ish rejimlari ekspluatatsiya sharoitida ularning o'qiga qo'yiladigan yuklamaga qarab, 8 turda bo'ladi va ular S harfi bilan belgilanadi. Bulardan o'zoq davomli (S_1), qisqa muddatli (S_2), takrorlanuvchi qisqa muddatli (S_3) va normal ish davri salt ishlash? Tormozlash va boshqalar bilan almashinib turadigan ish rejimlariga bo'linadi.

EM taxminan to'la yuklama bilan uzoq vaqt mobaynida (masalan, elektr stansiyalarda elektr generatorlari, nasos qurilmalarida elektr motorlari va boshqalar) va nisbatan qisqa muddatda (ba'zi bir yuk ko'tarish kran motorlari) ishlashi mumkin. Zamonaviy avtomatlashtirilgan sanoat va boshqa qurilmalarda EM lari ko'pchilik hollarda davriy rejimda ishlaydi. Umuman, EM lari o'zgaruvchan yuklama bilan ishlaydi.

EM ning o'zgaras nominal yuklamadagi ishi sovitish muhiti temperaturasi o'zgaraganda mashina qismlari temperaturasining oshishi kamida barqarorlashgan qiymatlariga erishgan vaqtga qadar davom qilsa, bunday rejimni EM ning davomli nominal ish rejimi deyiladi (bu rejimning standart bo'yicha shartli belgilanishi S_1).

O'zgaras nominal yuklamaning davrlari, sovitish muhitining temperaturasi o'zgaras bo'lganda EM ning ishdan to'xtatilish davrlari (pauzalari) bilan almashinib turadigan ish rejimiga qisqa muddatli (S_2) nominal ish rejimi deyiladi. Bu rejimda yuklama davrida EM qismlari temperaturasining oshishi

barqarorlashgan qiymatgacha yetadigan vaqtdan ancha kam, EM ni to'xtatish davrlari esa davomli bo'lib, bunda u amaliy ravishda atrof muhit temperaturasi gacha so'vishga ulguradi. Bunday EM lar 15, 30, 60 va 90 min. bo'lgan davomli ish davriga tayyorlanadi. EM temperaturasi ning qisqa muddatli rejimdagi oshishi $\tau_{kr} \leq \tau_{max}$ bo'lgandagi qisqa muddatli rejimning ruxsat berilgan davomiyligi t_{kr} ni quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

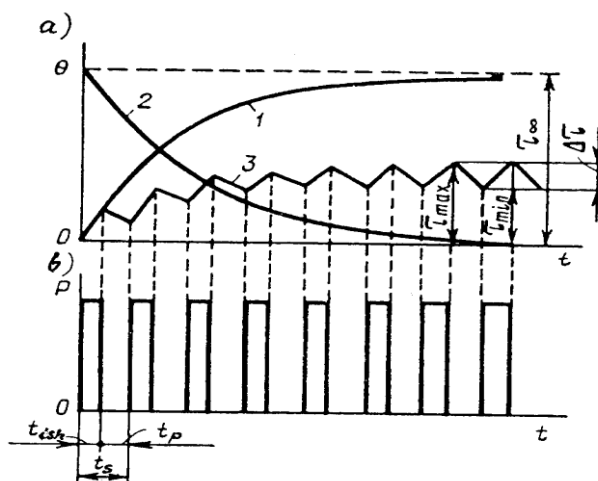
$$\tau_{kr} = \tau_{\infty} [1 - \exp(-t_{kr}/T)] . \quad (32.7)$$

Demak, qisqa muddatli rejimda τ_{∞} ning qiymatini davomli ish rejimdagi EMga nisbatan $1/[1 - \exp(-t_{kr}/T)]$ marta oshirish mumkin ekan. Quvvat isroflari $\Sigma P'$ ning ruxsat berilgan qiymatlarini ham shuncha marta oshirsa bo'ladi. Shuning uchun qisqa muddatli rejimga hisoblangan quvvatdagi EM larning gabarit o'lchamlari va massasi davomli ish rejimga hisoblangan EMlarnikiga nisbatan ancha kichik bo'ladi. Tushuntirishga boshqacha yondashilganda, EM larining berilgan gabaritlarida materiallarning sarflanishida qisqa muddatli ish rejimidagi EM larining quvvati ish rejimi davomli bo'lgan EM larnikiga nisbatan katta bo'ladi. O'zgarmas nominal yuklamaning qisqa muddatli davrlari, sovitish muhiti temperaturasi o'zgarmaganda, EM ishdan to'xtatilishi (pauza)ning qisqa muddatli davrlari bilan almashinib turadigan ish rejimiga takrorlanuvchi qisqa muddatli (S3) ish rejimi deyiladi. EMSining umumiy ish vaqtini $t_w = t_{ish} + t_p$ davomiylilikda davriy takrorlanadigan sikllarga bo'lib o'rganiladi. Bu rejimda EM ning normal ish davrlari va pauza davrlari kichik bo'lib, yuklama bilan ishlagan davrida EM temperaturasi ning oshishi barqarorlashgan qiymatigacha yetmaydi, pauza davrlarida esa EM sining temperaturasi atrof muhitnikigacha so'vishga ulgurmaydi. Standartga binoan EM sining bu rejimda ishlash siklidagi vaqt 10 minutdan oshmasligi kerak. Takrorlanuvchi qisqa muddatli ish rejimi mashina ishining davomiyligi bilan xarakterlanadi (uning standartda belgilanishi QQD – “qayta qo'shilish davomiyligi” so'zlarning 1-harflari).

$$QQD\% = (t_{ish}/t_p) \cdot 100 = [t_{ish}/(t_{ish} + t_p)] \cdot 100. \quad (32.8)$$

QQD ning standart qiymatlari 15, 25, 40 va 60 % lardan iborat.

EM sining takrorlanuvchi qisqa muddatli rejimdagi ishida qizish shakli arrasimon ko'rinishga ega bo'ladi (32.2-rasm), chunki qizish davrlari sovish davrlari bilan almashinib turadi. Ish davri vaqtida EM qizish egri chizig'iga (rasmda, 1) mos holdagi egri chiziq bo'yicha oshadi, pauza vaqtida esa sovish egri chizig'iga (rasmda, 2) mos holda kamayadi.



32.2-rasm. Takrorlanuvchi qisqa muddatli ish rejimida elektr mashina temperaturasiining «arrasimon» ko'rinishdagi qizish shakli

Takrorlanuvchi qisqa muddatli rejimda uzluksiz davomli ish rejimiga nisbatan EM ning yuklamasini oshirishga ruxsat beriladi. Amaliyotda EM quvvatini qanchaga oshirish mumkinligini aniqlash uchun ekvivalent tokdan foydalaniladi:

$$I_{ekv} = I_{ish} \cdot \sqrt{t_{ish} / (t_{ish} + t_n)} = I_{ish} \sqrt{\Pi B}, \quad (32.8)$$

bunda I_{ish} – EM ning ish davridagi toki; QQD – yuklamaning nisbiy davomiyligi (standartda foizlarda beriladi).

Agar QQD1 takrorlanuvchi qisqa muddatli rejimdagi ishga mo'ljallangan EM QQD2 rejimda ishlatilsa, uning quvvati P ni aniqlovchi tok kuchi qanchaga oshirilishi (32.9) yoki kamaytirilishi (32.9) nisbatlardan aniqlanadi:

$$P_1/P_2 \approx I_1/I_2 \approx \sqrt{\Pi B_2 / \Pi B_1}. \quad (32.9)$$

$$P_1/P_2 \approx I_1/I_2 = \sqrt{\Pi B_1 / \Pi B_2}. \quad (32.10)$$

(32.9) dan, $QQD = 100\%$ dagi EM quvvati P_{100} deb qabul qilinsa, uning $QQD = 60\%$ dagi quvvatini $P_{60} = 1,3 P_{100}$ gacha oshirish mumkin bo‘ladi. Normal ish davri salt ishlash bilan almashinib turadigan ish rejimi. Mazkur rejimda EM ning yuklama bilan qisqa muddatli ish davrlari salt ishlash davrlari (pauzalar) bilan almashinib turadi. Bu rejim yuklamaning nisbiy davomiyligi bilan xarakterlanadi.

$$P_N (\%) = (t_{ish} / s) \cdot 100 = [t_{ish} / (t_{ish} + t_0)] \cdot 100, \quad (32.11)$$

bu yerda t_{ish} – ish vaqti; t_0 – salt ishlash vaqti.

Bu kattalikning standart qiymatlari 15, 25, 40 va 60 % larni tashkil qiladi. T siklning davomiyligini 10 minutga teng, deb qabul qilinadi. ϑ_{mash} va τ larning mazkur rejimdagi o‘zgarish xarakteri takrorlanadigan qisqa muddatli rejimdagiga o‘xshash bo‘ladi, ya’ni ular t_{ish} va t_0 vaqtda barqarorlashgan qiymatlarga erishmaydi.

Nazorat savollari

1. Elektr mashinalarining qizish sablarini tushuntirib bering.
2. Elektr mashinalarining jarayoni qanday bo‘ladi?
3. Nima sababdan elektr mashinalarining qizish va sovushini hisoblashda ularning qismlarini bir jinsli materiallardan tuzulgan deb qabo‘l qiladi?
4. Elektr mashinalarining qizishining muvozanat tenglamasini keltiring.
5. Elektr mashinalarining ish rejimlari nechta?
6. S1-qanday rejim deb ataladi?

* * *

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Беспалов В.Я., Котелянц Н.Ф. «Электрические машины»: Учебное пособие для студентов ВУЗов. – М.: «Академия», 2006. –320 с.
2. Berdiyev U.T. Pirmatov N.B. “Elektromexanika” fanidan darslik. Tosh, Shams-ASA-2014 y.
3. Majidov S.M. Elektr mashinalari va yuritmalari.-Toshkent: O‘qituvchi, 2002 -358 b.

4. Волдек А.И., Попов В.В. “Электрические машины” Машины переменного тока: Учебник для ВУЗов.– С-Питербург, 2008. – 350 с.
5. Копилов И.П. “Электрические машины” Учебник для ВУЗов., М. 2-й издание: Высш. Шк.; Logos; 2000. – 607 с.
6. Salimov J.S, Pirmatov N.B., Bekchanov B.E. Transformatorlar va avto-transformatorlar. Texnika oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. –T.: «Vektor press», 2009. – s.
7. Ibragimov U. Elektr mashinalari. Kasb-hunar kollejlari uchun darslik. – T.: O‘qituvchi, 2001. – 408 b.
8. Кацман М.М. Электрические машины. Учебник- Москва. Высшая школа, 2000 г.-463с.
9. Pirmatov N. B. Transformatorlarni ishlab chiqarish texnologiyasi. – T.: “Cho‘lpon”, 2006. – 56 b.
10. “Electric machines and electromechanics”, Syed A. Nasar, A Divisioin of The McGraw-Hill Companies, USA 1998.
11. Stephen J. Chapman «Electric machinery fundamentals», 2005, New-York, The McGraw-Hill Companies, USA
12. Olimxo‘jaev K.T., Berdiev U.T. “Elektr mashinalar va elektr yuritma asoslari” (Transformatorlar), O‘quv qo‘llanma, ToshTYMI, 2009 y.(1 va 2 qismlar)
- 13.Ziyonet. uz-электрон почта
- 14.Московский институт инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ) - [www. mii-inf.ru](http://www.mii-inf.ru).

	M U N D A R I J A	
1	So‘z boshi	3
2	Kirish	5
Birinchi bo‘lim. TRANSFORMATORLAR		11
1-bob.	Transformatorlarga oid umumiy ma’lumotlar	11
1.1§.	Transformatorlarning elektroenergetikada tutgan o‘rni	11
1.2§.	Transformatorlarning turlari, ularga qo‘yiladigan asosiy talablar, gabaritlari va nominal kattaliklari	13
2-Bob.	Transformatorlarning magnit tizimlari va chulg‘amlari	16
2.1§.	Transformatorlarning magnit o‘tkazgichlari va ularning konstruksiyasi	16
2.2§.	Transformatorlarning chulg‘amlari va ularning konstruksiyasi	19
2.3§.	Transformator va avtotransformator chulg‘amlarining ulanish usullari,	22

	chulg'am uchlarining standart bo'yicha yangicha belgilanishi va uni tajribada tekshirish	
3-Bob.	Transformatorning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayonlar.....	28
3.1§.	Elektromagnit induksiya hodisasi, transformatorning ishlash prinsipi va elektr yurituvchi kuchlari	28
3.2§.	Uch fazali transformatorlar salt ishlash rejimining o'ziga xos xususiyatlari..	32
3.3§.	Salt ishlash tajribasi va xarakteristikalarini	35
4-Bob.	Simmetrik yuklama ulangan transformatoridagi elektromagnit jarayonlar....	40
4.1§.	Lens qoidasi, yuklama ulangan transformatorning muvozanat tenglamalari..	40
4.2§.	Transformatorning ikkilamchi chulg'am kattaliklarini birlamchi chulg'amga keltirish va vektor diagrammalari	43
4.3§.	Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi	47
4.4§.	Qisqa tutashuv tajribasi va xarakteristikalarini	49
5-Bob.	Transformatorning ekspluatatsion xarakteristikalarini	
	Transformatorning tashqi xarakteristikalarini va kuchlanish o'zgarishi.....	
	Transformatorlarda kuchlanishni rostlash usullari va vositalari	
6-Bob.	Transformator chulg'amlarining ulanish guruhlari va transformatorlarning parallel ishlashi	54
6.1§.	Transformator chulg'amlarining ulanish guruhlari aniqlash	54
6.2§.	Uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish guruhlari tajriba yo'li bilan aniqlash va ularning qo'llanish sohalari	59
6.3§.	Transformatorlarning parallel ishlashi	64
7-Bob.	Uch chulg'amli transformatorlar. Avtotransformatorlar	70
7.1§.	Uch chulg'amli transformatorlar	70
7.2§.	Avtotransformatorlar	73
8-Bob	Ikki chulg'amli transformatorlarning nosimmetrik ish rejimlari. Transformatorlarda o'tish jarayonlar.	80
8.1§.	Ikki chulg'amli transformatorlarning nosimmetrik ish rejimlari	80
8.2§.	Transformatorlarda o'tish jarayonlar	86

9-Bob.	Maxsus maqsadli transformator qurilmalari	89
9.1§.	Maxsus maqsadli kuch transformatorlariga oid umumiy ma'lumotlar.....	89
9.2§.	Elektr yoyi vositasida payvandlash uchun transformatorlar	90
9.3§.	To'g'rilagich va avtomatika qurilmalari uchun transformatorlar	91
9.4§.	Elektrlashtirilgan temir yo'l va shahar elektr transportlari uchun kuch transformatorlarining o'ziga xos xususiyatlari.	94
9.5§.	Elektr o'lchash sxemalari uchun transformatorlar	95
Ikkinchi bo'lim. O'ZGARUVCHAN TOK MASHINALARI		100
10-Bob.	O'zgaruvchan tok mashinalari konstruksiyasi va nazariyasining umumiy masalalari	100
10.1§.	O'zgaruvchan tok mashinalari aktiv qismlari	100
10.2§.	O'zgaruvchan tok mashinalarining stator chulg'ami va uning tarkibiy qismlari	103
10.3§.	O'zgaruvchan tok mashinalari chulg'amlaridagi elektr yurituvchi kuchlar ...	104
10.4§.	O'zgaruvchan tok mashinalari chulg'amlarining magnit yurituvchi kuchlari	119
Uchinchi bo'lim. ASINXRON MASHINALAR		125
11-Bob.	Asinxron mashinalarda fizik jarayonlar.....	125
11.1§.	Asinxron mashinaning tuzilishi, ishlash prinsipi va ish rejimlari.....	125
11.2§.	Rotori tormozlangan asinxron mashinada elektromagnit jarayon va rotor chulg'ami parametrlarini stator chulg'amiga keltirish.....	128
11.3§.	Rotori aylanayotgan asinxron mashinada elektromagnit jarayon, vektor diagrammasi va almashtirish sxemalari.....	133
11.4§.	Uch fazali asinxron motorning energetik diagrammasi	137
12-Bob.	Asinxron mashinalarning elektromagnit momenti va mexanik xarakteristikalarini.....	139
12.1§.	Asinxron mashinaning elektromagnit momenti.....	139
12.2§.	Asinxron mashinaning mexanik xarakteristikalarini va asinxron motorning turg'un ishlash shartlari.....	141
12.3§.	Stator chulg'amiga berilgan kuchlanish $U_1 \neq U_{1N}$ bo'lganda va faza rotorli	148

	asinxron motorning rotor chulg'amiga qo'shimcha aktiv qarshiliklar ulangandagi mexanik xarakteristikalar.....	
12.4§.	Magnit maydon yuqori garmonikalarining asinxron motor mexanik xarakteristikasiga ta'siri.....	150
13-Bob.	Asinxron motorning doiraviy diagrammasi, ish xarakteristikalari va ularni hisoblash usullari	154
13.1§.	Asinxron motor toklarining doiraviy diagrammasini asoslash	154
13.2§.	Asinxron motorning salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalari va xarakteristikalari.....	156
13.3§.	Doiraviy diagrammani salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalaridan olingan ma'lumotlar bo'yicha qurish.....	158
13.4§.	Asinxron motorning ish xarakteristikalari.....	161
13.5§.	Asinxron motorlarning ish xarakteristikalarini analitik hisoblash usuli.....	162
14-Bob.	Asinxron motorlarni ishga tushirish va aylanish chastotasini rostlash.....	167
14.1§.	Uch fazali asinxron motorlarni ishga tushirish.....	167
14.2§.	Ishga tushirish xossalari yaxshilangan uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar.....	171
14.3§.	Uch fazali asinxron motorlarning aylanish chastotasini rostlash usullari.....	173
15-Bob.	Uch fazali asinxron generator.....	178
15.1§.	Asinxron mashinaning generator rejimi.....	178
15.2§.	Asinxron generatorning elektr tarmog'i bilan parallel ishlashi.....	180
15.3§.	Elektr tarmog'iga ulanmagan asinxron generatorning o'z-o'zini qo'zg'atishi va yuklama bilan ishlashi.....	181
16-Bob.	Bir fazali asinxron motorlar.....	184
16.1§.	Bir fazali asinxron motorning tuzilishi va ishlash prinsipi.....	184
16.2§.	Kondensatorli asinxron motor va uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni bir fazali manbadan ishlatish.....	185
17-Bob.	Asinxron mashinalarning maxsus maqsadli va zamonaviy turlari. Asinxron motorlarni ishlatishga oid amaliy maslahatlar.	187

17.1§.	Maxsus maqsadli asinxron mashinalarning ba'zi turlari.....	187
17.2§.	Asinxron motorlarning zamonaviy turlari.....	192
To'rtinchi bo'lim. SINXRON MASHINALAR		195
18-Bob.	Sinxron mashinalarning konstruksiyalari, ishlash prinsipi va qo'zg'atish tizimlari	195
18.1§.	Sinxron mashinalarning konstruksiyasiga oid umumiy ma'lumot	195
18.2§.	Sinxron generatorning ishlash prinsipi va qo'zg'atish tizimining turlari.....	199
19-Bob.	Sinxron generatorning simmetrik yuklama bilan ishlashi va yakor reaksiyasi	204
19.1§.	Sinxron generatorning simmetrik yuklama bilan ishlashidagi elektromagnit jarayonlar	204
19.2§.	Sinxron generator EYuK larining muvozanat tenglamalari va vektor diagrammalari	210
20-Bob.	Uch fazali sinxron generatorning avtonom rejimdagi xarakteristikalar.....	220
20.1§.	Salt ishlash, simmetrik qisqa tutashuv va induksion yuklanish xarakteristikalar	221
20.2§.	Sinxron mashinalarning simmetrik barqaror rejimdagi parametrlari	223
20.3§.	Tashqi va rostlash xarakteristikalar	229
21-Bob.	Sinxron generatorlarning nosimmetrik ish rejimlari	234
21.1§.	Nosimmetrik yuklamada sinxron generatorning ishi	234
21.2§.	Sinxron generatorda nosimmetrik qisqa tutashuvlar	237
22-Bob.	Sinxron generatorning elektr tarmog'i bilan parallel ishlashi	239
22.1§.	Uch fazali sinxron generatorlarni tarmoqqa parallel ulash	239
22.2§.	Sinxron generatorning elektromagnit quvvati va momenti, burchak xarakteristikalar va aktiv quvvatini rostlash	241
22.3§.	Elektr tarmog'i bilan parallel ishlayotgan sinxron generatorning statik turg'unligi, sinxronlovchi quvvati va momenti	246
22.4§.	Sinxron generatorning reaktiv quvvatini rostlash va U-simon	247

	xarakteristikalarini	
22.5§.	Sinxron generatorlarning tebranishlari va asinxron rejimga o'tishi.....	248
23-Bob.	Sinxron motorlar va kompensatorlar	252
23.1§.	Sinxron motorlarning ishlash prinsipi	252
23.2§.	Sinxron motorning burchak va U-simon xarakteristikalarini	253
23.3§.	Sinxron motorning ish xarakteristikalarini	256
23.4§.	Sinxron motorlarni ishga tushirish usullari	257
23.5§.	Sinxron kompensator va uning elektr ta'minoti tizimida quvvat koeffitsienti $\cos\phi$ ni yaxshilashi	260
24-Bob.	Sinxron mashinalarning istiqbolli turlari.. . . .	263
24.1§.	Krioturbogenerator.....	263
24.2§.	Magnitlanish o'qi buriladigan sinxron mashinalar	263
24.3§.	O'ta o'tkazuvchan qo'zg'atish chulg'amli sinxron mashinalar	266
24.4§.	Katta quvvatli istiqbolli sinxron mashinalar	268
25-Bob.	Maxsus maqsadli sinxron mashinalar.	271
25.1§.	Induktorli generatorlar	271
25.2§.	Avtomobil va traktorlarda hamda temir yo'l vagonlarida keng qo'llaniladigan changalsimon qutbli sinxron generatorlar.....	273
25.3§.	Avtomatika qurilmalarida ishlatiladigan sinxron motorlarning ayrim turlari.	276
Beshinchi bo'lim. O'ZGARMAS TOK MASHINALARI		280
26-Bob.	O'zgarmas tok mashinalarining konstruksiyasi va ishlash prinsipi	280
26.1§.	O'zgarmas tok mashinalarining tuzilishi va ishlash prinsipi	280
26.2§.	Yakor chulg'amlari va ularning turlari	287
26.3§.	O'zgarmas tok mashinalari chulg'amlarini hisoblash tartibi	292
26.4§.	Sirtmoqsimon chulg'amlar.....	293
26.5§.	To'liqsimon chulg'amlar.....	297
26.6§.	O'zgarmas tok mashinalari yakor chulg'amlarining turlarini taqqoslash va ularni tanlash.....	300
27-Bob.	O'zgarmas tok mashinasining magnit maydoni va yakor reaksiyasi.....	302

27.1§.	O'zgaras tok mashinasining generator rejimidagi magnit maydoni.....	302
27.2§.	Yakor reaksiyasining salbiy ta'siri va uni bartaraf qilish.....	305
28-Bob.	Kollektorli o'zgaras tok mashinalarida kommutatsiya.....	307
28.1§.	Kommutatsiyaning fizik asoslari.....	307
28.2§.	Kommutatsiyaning zararli ta'sirini kamaytirish usullari.....	310
28.3§.	Kommutatsiyani tekshirish va sozlash.....	312
29-Bob.	O'zgaras tok generatorlarining xarakteristikallari.....	315
29.1§.	Mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorining xarakteristikallari.....	315
29.2§.	Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorining o'z-o'zini qo'zg'atishi va normal rejimdagi xarakteristikallari.....	321
29.3§.	Aralash qo'zg'atishli o'zgaras tok generatorining xarakteristikallari.....	325
30-Bob.	O'zgaras tok motorlari.....	329
30.1§.	Ishlash prinsipi va ish jarayonining asosiy tenglamalari.....	329
30.2§.	O'zgaras tok motorlarini ishga tushirish.....	332
30.3§.	O'zgaras tok motorlarining ish xarakteristikallari.....	338
30.4§.	O'zgaras tok motorlarining mexanik xarakteristikallari.....	345
30.5§.	O'zgaras tok motorlarining roslash xarakteristikallari.....	349
30.6§.	O'zgaras tok motorlari aylanish chastotasini roslashning zamonaviy usullari.....	354
30.7§.	O'zgaras tok motorlarini tormozlash usullari.....	358
31-Bob.	Maxsus maqsadli va zamonaviy o'zgaras tok mashinalarining ayrim turlari.....	364
31.1§.	O'zgaras tok taxogeneratorlari.....	364
31.2§.	Ijrochi o'zgaras tok motorlari.....	365
31.3§.	O'zgaras tok mashinalarining zamonaviy turlari.....	367
Oltinchi bo'lim. ELEKTR MASHINALARI UCHUN UMUMIY BO'LGAN MASALALAR		372
32-Bob.	Elektr mashinalarining qizishi va sovushi.....	372
32.1§.	Elektr mashinalarining qizishi. Ish rejimlari	372

32.2§.	Elektr mashinalarining asosiy nominal ish rejimlari.....	375
	Foydalanilgan adabiyotlar	379

Содержание

	Предисловие	3
	Введение	5
	Первая глава. ТРАНСФОРМАТОРЫ	11
	1-часть. Общие данные о трансформаторах	11
1.1§.	Роль трансформаторов в электроэнергетике	11
1.2§.	Классификация трансформаторов, основные требования предъявляемые им, ихгабариты и номинальные данные.	13
2- часть.	Магнитные системы трансформаторов и их обмотки	16
2.1§.	Магнитные проводники трансформаторов и их конструкции.	16
2.2§.	Обмотки трансформаторов и их конструкции.	19
2.3§.	Способы соединение обмоток трансформаторов и автотрансформаторов, маркировка выводов по новым стандартам и их исследование	22
3- часть.	Электромагнитные процессы трансформаторов в режимы холостого хода	28
3.1§.	Явления электромагнитной индукции, принцип работы трансформатора и электродвижущие силы.	28
3.2§.	Особенности режима холостого хода трехфазных трансформаторов	32
3.3§.	Опыт холостого хода и его характеристики	35
4- часть.	Электромагнитные процессы трансформаторов при включение симметричного нагрузка	40
4.1§.	Правила Ленца, уравнении равновесии нагруженного трансформатора	40
4.2§.	Приведение данных вторичных обмоток к первичному и векторная диаграмма	43
4.3§.	Схема замещения двухобмоточных трансформаторов	47
4.4§.	Опыт короткого замыкания и его характеристики	49
5- часть.	Эксплуатационные характеристики трансформаторов	
5.1§.	Внешняя характеристика трансформаторов и изменение напряжения	
5.2§.	Методы регулирования напряжения и оборудования трансформаторов	
6- часть.	Группы соединение обмоток трансформаторов и параллельная работа трансформаторов	54

6.1§.	Определения группы соединение обмоток трансформаторов	54
6.2§.	Определения группы соединение обмоток трехфазных трансформаторов и их объектов применения	59
6.3§.	Параллельная работа трансформаторов	64
7- часть.	Трехобмоточные трансформаторы. Автотрансформаторы.	70
7.1§.	Трехобмоточные трансформаторы.	70
7.2§.	Автотрансформаторы.	73
8- часть.	Несимметричные режимы работы двух обмоточных трансформаторов. Переходные процессы трансформаторов.	80
8.1§.	Несимметричные режимы работы двух обмоточных трансформаторов.	80
8.2§.	Переходные процессы трансформаторов.	86
9- часть.	Трансформаторы специального назначения	89
9.1§.	Общие вопросы о силовых трансформаторах специального назначения	89
9.2§.	Трансформаторы для электродуговой сварки	90
9.3§.	Трансформаторы для выпрямительных и автоматических устройств	91
9.4§.	Особенности силовых трансформаторов для электрифицированных железнодорожных и городских транспортов	94
Вторая глава. МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА		100
10-часть.	Общие вопросы конструкции и теории машины переменного тока	100
10.1§.	Активный части машин переменного тока	100
10.2§.	Обмотки статора машин переменного тока и его составляющие	103
10.3§.	Электродвижущие силы в обмотках машин переменного тока	114
10.4§.	Магнитодвижущие силы обмоток машин переменного тока	119
Третье глава. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ		
11-часть.	Физический процессы у асинхронных машинах	125
11.1§.	Конструкции, принцип и режимы работы асинхронных машин	125
11.2§.	Электромагнитные процессы в асинхронном машине с заторможенным ротором и приведение параметров обмотки ротора к обмотке статора	128
11.3§.	Электромагнитные процессы в асинхронном машине с вращающимся ротором, векторная диаграмма и схемы замещения	133
11.4§.	Энергетическая диаграмма трехфазного асинхронного двигателя	137

12-часть.	Электромагнитный момент и механические характеристики асинхронных машин	139
12.1§.	Электромагнитный момент асинхронного двигателя	139
12.2§.	Механические характеристики асинхронного двигателя и условия устойчивой работы	141
12.3§.	Механические характеристики при напряжении обмоток статора $U_1 \neq U_{1N}$ и при включение дополнительного активного сопротивления цепи ротора асинхронного фазного двигателя	148
12.4§.	Влияние верхнего гармоника магнитного поля на механические характеристики асинхронного двигателя	120
13-часть.	Круговая диаграмма асинхронного двигателя, рабочие характеристики и их способы расчета.	154
13.1§.	Обоснование круговых диаграммы асинхронных двигателей	154
13.2§.	Опыты короткого замыкания и холостого хода и их характеристики	156
13.3§.	Построение круговой диаграммы на основе опытов короткого замыкания и холостого хода	158
13.4§.	Рабочие характеристики асинхронного двигателя	161
13.5§.	Методы аналитического расчета рабочих характеристик асинхронного двигателя.	162
14-часть.	Пуск и регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного двигателя	167
14.1§.	Пуск трехфазного асинхронного двигателя	167
14.2§.	Улучшенные пусковые свойства трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	171
14.3§.	Регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного двигателя	173
15-часть.	Трехфазные асинхронные генераторы	178
15.1§.	Генераторный режим асинхронных машин	178
15.2§.	Параллельная работа асинхронных генераторов с электрической сетью.	180
15.3§.	Самовозбуждение асинхронного генератора и его работы на нагрузках	181
16-часть.	Однофазные асинхронные двигатели	184
16.1§.	Конструкция и принцип работы однофазного асинхронного двигателя	184
16.2§.	Конденсаторные асинхронные двигатели и питание трехфазного асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором от однофазной сети	185
17-часть.	Асинхронные машины специального назначения и современные типы	182
17.1§.	Асинхронные машины специального назначения	187
17.2§.	Современные типы асинхронных машин	192
Четвертая глава. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ		

18-часть.	Конструкции, принцип работы синхронных машин и системы возбуждения	195
18.1§.	Общие сведения о конструкции синхронных машин	195
18.2§.	Принцип работы синхронных машин и типы систем возбуждения	199
19-часть.	Работа синхронного генератора с симметричной нагрузкой и реакция якоря	204
19.1§.	Электромагнитные процессы при работе синхронного генератора с симметричной нагрузкой	204
19.2§.	Уравнения равновесия ЭДС синхронного генератора и векторные диаграммы	210
20-часть.	Характеристики трехфазного синхронного генератора в автономных режимах	220
20.1§.	Характеристики холостого хода, симметричного короткого замыкания и индукционной нагрузки	221
20.2§.	Параметры синхронного генератора при симметричного устойчивого режима	223
20.3§.	Внешние и регулировочные характеристики	229
21-часть.	Несимметричные режимы работы синхронных генераторов	234
21.1§.	Работа синхронного генератора при несимметричном нагрузке	234
21.2§.	Несимметричная короткая замыкания в синхронных генераторах	237
22-часть.	Параллельная работа синхронного генератора с электрической сетью	239
22.1§.	Параллельная включение трехфазного синхронного генератора в электрической сеть	239
22.2§.	Электромагнитная мощность и момент синхронного генератора, угловые характеристики и регулирование активной мощности	241
22.3§.	Статический устойчивость синхронного генератора работающего параллельно с сетью, синхронизирующая мощность и момент	246
22.4§.	Регулирования реактивной мощности синхронного генератора и U-образные характеристики	247
22.5§.	Вибрация синхронных генераторов и переход на асинхронные режим.	248
23-часть.	Синхронные двигатели и компенсаторы	252
23.1§.	Принцип работа синхронных двигателей	252
23.2§.	Угловые и U-образные характеристики синхронного двигателя	253
23.3§.	Рабочие характеристики синхронного двигателя	256
23.4§.	Способы пуска синхронного двигателя	257
23.5§.	Синхронный компенсатор и его влияние к улучшению коэффициента мощности $\cos\varphi$ в системе электроснабжения	260

24-часть.	Перспективные виды синхронных машин	263
24.1§.	Криотурбогенератор	263
24.2§.	Синхронные машины вращающие магнитные ось	263
24.3§.	Синхронные машины сверхпроводимой обмоткой возбуждения	266
24.4§.	Перспективные синхронные машины высокой мощности	268
25-часть.	Синхронные машины специального назначения	271
25.1§.	Индукторные генераторы	271
25.2§.	Синхронные генераторы когтеобразным полюсам используемые автомобилях и тракторах а также для железнодорожных вагонов	273
25.3§.	Некоторые виды синхронных генераторов используемых в устройствах автоматике	276
Пятая глава. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА		280
26-часть.	Конструкция и принцип работы машины постоянного тока	280
26.1§.	Конструкция и принцип работы машины постоянного тока	280
26.2§.	Обмотки якоря и их виды	287
26.3§.	Порядок расчета обмоток машин постоянного тока	292
26.4§.	Петлевые обмотки	293
26.5§.	Волновые обмотки	297
26.6§.	Сопостовления типов и выбор обмотки якоря машин постоянного тока	300
27-часть.	Магнитное поле и реакция якоря машины постоянного тока	302
27.1§.	Магнитное поле машины постоянного тока в режиме генератора	302
27.2§.	Неэффективная действия реакция якоря и его удаление	305
28-часть.	Коммутация в коллекторных машинах постоянного тока	307
28.1§.	Физическая основы коммутации	307
28.2§.	Неэффективная действия коммутации и методы их уменьшения	310
28.3§.	Проверка и ььььь коммутации	312
29-часть.	Характеристики генераторов постоянного тока	315
29.1§.	Характеристики генераторов постоянного тока независимого возбуждения	315
29.2§.	Самовозбуждения генераторов постоянного тока параллельного возбуждения и характеристики при нормальных режимах работы	321
29.3§.	Характеристики генераторов постоянного тока смешанного возбуждения	325

30-часть.	Двигатели постоянного тока	329
30.1§.	Принцип работы и основные уравнение рабочего процесса	329
30.2§.	Пуск двигателей постоянного тока	332
30.3§.	Рабочие характеристики двигателей постоянного тока	338
30.4§.	Механические характеристики двигателей постоянного тока	345
30.5§.	Регулировочная характеристика двигателей постоянного тока	349
30.6§.	Современные способы регулирования частоты двигателей постоянного тока	354
30.7§.	Способы торможения двигателей постоянного тока	358
31-часть.	Некоторые виды машины постоянного тока современного и специального назначения	364
31.1§.	Тахогенераторы постоянного тока	364
31.2§.	Исполнительные двигатели постоянного тока	365
31.3§.	Современного виды машины постоянного тока	367
Шестая глава. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНЫ		372
32-часть.	Нагрев и охлаждения электрических машин. Режимы работы	372
32.1§.	Нагрев и охлаждения электрических машин.	372
32.2§.	Основные номинальные режимы работы электрических машин.	375
	Список использованных литературы.	379
	Оглавление	389

Conduct	3
The first chapter. Transformers	5
1.1- §.	Role transformer in electro energy
1.2- §.	The Categorization transformer, the main requirements предъявляемые by him, their size and nominal data.
1.3- §.	Magnet wire transformer and their designs
1.4- §.	The Windings transformer and their designs.
1.5- §.	Ways of compound windings transformer and auto transformer, marking conclusion on new standard and their study
1.6- §.	The Phenomenas to electromagnetic induction, principle of the functioning(working) the transformer and electro driving power.
1.7- §.	The Phenomenas to electromagnetic induction, principle of the functioning (working) the transformer and electro driving power.
1.8- §.	Particularities of the mode of the castrated move three-phase transformer
1.9- §.	Experience of the castrated move and his(its) features
1.10- §.	Equation balances of the loaded transformer
1.11- §.	Adduction of the given secondary windings to primary and vector diagram

1.12- §.	Experience of the short circuit and his(its) features	
1.13- §.	Groups of compound windings transformer and ways of the determination them	
1.14- §.	Parallel work transformer	
1.15- §.	Transformers of the special purpose	
2.1- §.	General information about active parts of the machines of alternating current	
2.2- §.	Windings stator machines of alternating current and his(its) component	
2.3- §.	Electro driving power in winding of the machines of alternating current	
2.4- §.	Magnet driving power of the windings of the machines of alternating current	
The Third chapter. ASYNCHRONOUS MACHINE		
3.1- §.	Designs, principle and state of working asynchronous machines	
3.2- §.	Electromagnetic processes in asynchronous machine with dullard rotor and adduction parameter windings of the rotor to winding stator	
3.3- §.	Electromagnetic processes in asynchronous machine with revolving rotor, vector diagram and schemes change	
3.4- §.	Energy diagram of the three-phase asynchronous engine	
3.5- §.	Electromagnetic moment of the asynchronous engine	
3.6- §.	Mechanical features of the asynchronous engine and condition of the firm work	
3.7- §.	Piechart asynchronous engine	
3.8- §.	Experiences of the short circuit and castrated move and their features	
3.9- §.	Building of the piechart on base experienced data	
3.10- §.	Operating line of the asynchronous engine	
3.11- §.	Starting the three-phase asynchronous engine	
3.12- §.	Regulation frequencies of the rotation of the three-phase asynchronous engine	
3.13- §.	To single-phase asynchronous engines	
3.14- §.	Capacitor asynchronous engines and feeding the three-phase asynchronous engine with short closed by rotor from single-phase network	
3.15- §.	Asynchronous machines special purpose	
The Quarter chapter. ASYNCHRONOUS MACHINE		
4.1- §.	General information about designs of the synchronous machines	
4.2- §.	Principle functioning(working) the synchronous machines and types of the systems of excitation	
4.3- §.	Functioning(working) the synchronous generator with symmetrical load and reaction of the anchor	

4.4- §.	Equation EDS synchronous generator and vector diagrams	
4.5- §.	Features of the castrated move, symmetrical short circuit and loads	
4.6- §.	External and regulation of the feature	
4.7- §.	Parallel functioning(working) the synchronous generator with electric network	
4.8- §.	Electromagnetic power and moment of the synchronous generator, angular features and regulation to active power	
4.9- §.	Steady-state stability, synchronizing power and moment of the synchronous generator working parallel with network of the	
4.10- §.	Regulation to reactive power of the synchronous generator and U-figurative features to	
4.11- §.	Synchronous engines and compensators	
4.12- §.	Angular and U-figurative features of the synchronous engine	
4.13- §.	Operating line of the synchronous engine	
4.14- §.	Ways of the starting the synchronous engine	
4.15- §.	Synchronous compensator and his(its) influence to improvement of the factor to powers cos in system of supply	
4.16- §.	Synchronous machines of the special purpose	
4.17- §.	Synchronous generators claw figurative pole used car and tractor as well as for railway coach	
4.18- §.	Some types synchronous generator used in automation	
The Fifth chapter. MACHINES of the DIRECT CURRENT		
5.1- §.	Design and principle of the functioning(working) the machine of the direct current	
5.2- §.	Windings anchor	
5.3- §.	Order of the calculation of the windings of the machines of the direct current	
5.4- §.	Petlevye windings	
5.5- §.	Wave windings	
5.6- §.	Comparable types and choice windings anchor of the machines of the direct current	
5.7- §.	Magnetic field machines of the direct current in mode of the generator	
5.8- §.	Switching in collector machine direct of the current	
5.9- §.	Feature generator direct to current	
5.10- §.	Engines of the direct current	
5.11- §.	Starting the engines of the direct current	
5.12- §.	Operating line of the engines of the direct current	
5.13- §.	Modern ways of the regulation of the frequency of the engines of the direct current	
5.14- §.	Ways of the braking of the engines of the direct current	
5.15- §.		
5.16- §.	Machines of the constant special purpose	

	Bibliography	
	Table of Contents	

CONTENTS