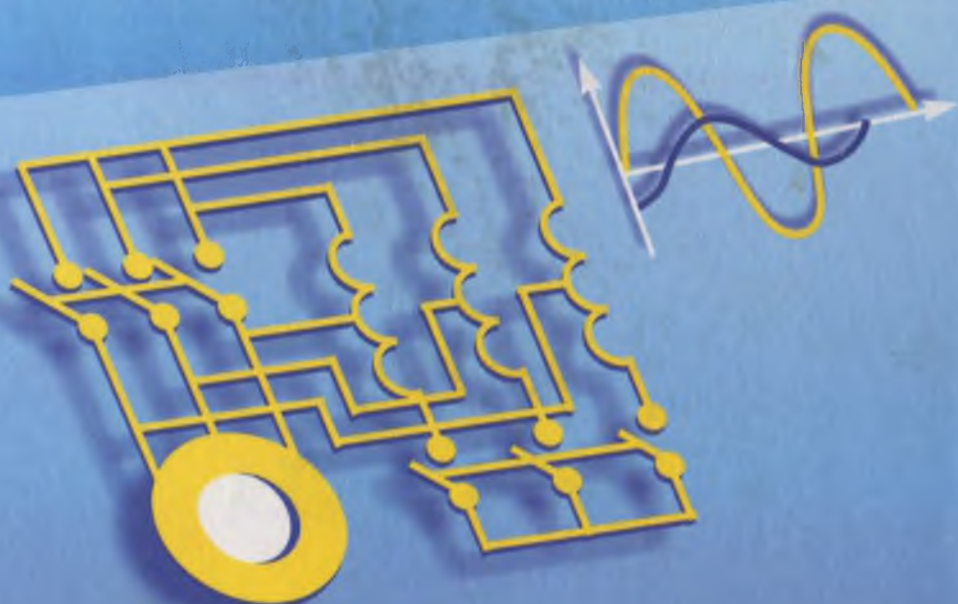


1313K40

289

JIDOV

ELEKTR MASHINALARI VA ELEKTR YURITMA



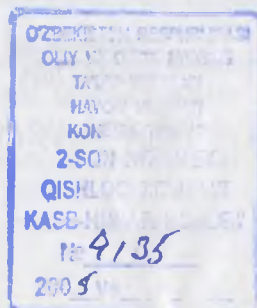
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

S. Majidov

ELEKTR MASHINALARI VA ELEKTR YURITMA

*Kasb-hunar kollejlaring o'quvchilari uchun
o'quv qo'llanma*

TOSHKENT — 2005



O'rta maxsus kasb-hunar ta'limi markazi ilmiy-metodik kengashi tomonidan nashrga tavsiya etilgan.

Taqrizchilar:

M. Z. HOMIDXONOV — T.f.d., akademik, O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan fan va texnika arbobi, Beruniy nomli O'zbekiston Davlat mukofoti sovrindori

N. M. USMONXO'JAYEV — T.f.d., professor, Beruniy nomli O'zbekiston Davlat mukofoti sovrindori

Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini elektrlash va avtomatlash yo'nalishidagi kollej o'quvchilariga mo'ljallab qayta ishlangan ushbu kitobda: o'zgarmas va o'zgaruvchan tok generatori va motorlarining tuzilishi, ishlash prinsipi, tavsiflari, ularni ishga tushirish, tormozlash, aylanish tezliklarini rostdash usullari, transformatorlarning tuzilishi, ishlash prinsipi, vazifalari, maxsus transformatorlar hamda elektr yuritma turlari, qo'llanishi, ular quvvatini hisoblash usullari, elektr yuritmani avtomatik boshqarish apparatlari va sxemalari haqida ma'lumotlar berilgan. Darslik muallifning Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash injenerlari instituti "Nazariy elektrotexnika" kafedrasida uzoq yillar davomida faoliyat ko'rsatib yaratgan kitoblardan biridir. Undan oliy o'quv yurtlarining ushbu yo'nalishdagi bakalavrlari va soha mutaxassislari ham foydalanishlari mumkin.

M $\frac{2202000000-54}{361(04)-2005}$ - 2005

ISBN 5-645-03976-9

© "O'MKHTM", 2005-y.
© "Bilim", 2005-y.

Darsligim, t.f.d., professor, O'zR da
xizmat ko'rsatgan fan va texnika ar-
bobi, Hurmatli ustozim akademik,
Fozilov Xosil Fozilovichning tavallu-
dining 95 yillik yorqin xotirasiga
bag'ishlanadi.

SO'Z BOSHI

Respublikamiz mustaqillikka erishgandan so'ng kadrlar tayyorlashni milliy dasturiga muvofiq, yurtimizda jahon andozalariga mos bo'lgan ta'lim yo'nalishlariga asos solindi. Jumladan, bu islohatlarga binoan o'lkamizning barcha tuman va chekka qishloq markazlarida ham yuzlab kasb-hunar kollejlari va akademik litseylar qurilib faoliyat ko'rsatmoqda. Ular eng zamonaviy o'qitish texnologiyalarini aks ettirishga qodir bo'lgan texnika vositalari bilan jixozlangan. O'qitish samaradorligini oshirish uchun esa o'quvchilarga darsliklar yaratilmoqda va oliy o'quv yurtlarining pedagogika fakultetlarida magistraturalar tashkil etilib ularda kollej o'quvchilari uchun yetuk o'qituvchilar tayyorlanmoqda Jumladan, qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini elektrlashtirish va avtomatlashtirish yo'nalishidagi kollej o'quvchilariga mo'ljallangan "Elektr mashinalari va elektr yuritma" nomli fandan ushbu darslik tayyorlandi.

Hozirgi kunda xalq xo'jaligining turli sohalari va hatto xizmatda ham elektr mashinalari va boshqa elektr jihozlari ko'p ishlatilmoqda. Xususan elektr energiyasini asosiy qismi-issiqlik, gidro va atom stansiyalarida o'rnatilgan sinxron mashinalarida hosil qilinadi. Bunda bug' va gidroturbinalarning mexanik energiyasi elektr energiyasiga aylantiriladi. Hozirgi issiqlik elektr stansiyalarida quvvati 300, 500, 800 va 1200 MVA li turbogeneratorlar, gidrostansiyalarda esa, 200...1000 MVA li gidrogeneratorlar ishlatilmoqda. Energetika sistemasidan uzoqda joylashgan kichik quvvatli iste'molchilari elektr energiyasi bilan ta'minlashda dizel, shamol motorlari, bug' va gidroturbinalar orqali aylantiriladigan sinxron generatorlardan foydalaniladi (bunday maxalliy elektr stansiyalari favqullotdagi vazifalarda ham keng ishlatilmoqda).

Statistik ma'lumotlarga binoan hozirda Respublikamizda ishlab turgan ko'p sonli issiqlik va gidrostansiyalarda hosil qilingan elektr energiyasi quvvatining umumiy miqdori 11 mln kw dan ortiq bo'lib, bundan 9,8 mln kw quvvat issiqlik elektr stansiyalarida, qolgani GES-larda ishlab chiqarilmoqda 2000 yilda elektr stansiyalarida 47,7 mlrd. kW-soat energiyasi ishlab chiqarildi. Bu respublikamizda jon boshiga

yiliga 2000 kW-soat elektr energiyasi to'g'ri keladi, demakdir. Yurtimizda katta quvvatli issiqlik elektr stansiyalari: jumladan Sirdaryo, Toshkent, Angren, Navoiy, Taxiya-tosh Davlat tuman elektr stansiyasi (DTES) lari, Angren, Farxod, Xo'jakent, Tovoqsoy kabi katta quvvatli va 20 dan ortiq kichik quvvatli GES lar ishlab turibdi.

Mahsulotlar ishlab chiqaradigan mashina va mexanizmlar turli xildagi elektr motorlari bilan harakatga keltiriladi. Elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantiradigan mashina elektr motori deyiladi. Hozirda Respublikamizda ishlab chiqariladigan elektr energiyasining taxminan 70% ini elektr motorlari bilan iste'mol qilinmoqda. Bu raqam qishloq xo'jaligi sohasiga ham taalluqlidir. Xususan, Qarshi cho'llarida bo'g'lar, ekinzorlar barpo etib Amudaryo suvini chiqarishda ketma-ket joylashgan oltita nasos stansiyalaridan foydalanilmoqda. Bunda har bir nasos stansiysida quvvati 12 ming kw bo'lgan sinxron motorli 5 tadan agregatlar o'rnatilgan bo'lib, ular orqali har sekundda 200 m³ suv tortiladi. Kanaldagi suv yo'lma-yo'lakay cho'l xo'jaliklarida elektr yuritmalar vositasida temir darvozali to'g'onlar orqali tarqatiladi va oxirgi kanaldagi tarqatilmay qolgan ortiqcha suv omborda yig'iladi Shunday qilib, bu nasoslarni aylantirayotgan sinxron motorlarining umumiy quvvati 400 ming kw ga yaqindir. Umuman katta quvvatli nasos, ventilyator va kompressorlar kabi o'zgarmas tezlik va doimiy yuklama bilan uzoq muddatda ishlaydigan mexanizmlarni aylantirishda sinxron motorlaridan foydalaniladi (bunda sinxron motorlarining quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi = 1$ teng). Davlat elektr stansiyalari odatda energetika resurslari mavjud bo'lgan tumanlarda quriladi va ularda elektr energiyasi uch fazali tok sifatida asosan sinxron generatorlari vositasida hosil qilinadi. Asinxron mashinalar esa boshqa elektr mashinalari singari generator va motor rejimlarida ishlay oladi, ammo quvvat koeffitsiyentining pastligi sababli ulardan faqat o'rtacha quvvatli motorlar sifatida foydalaniladi. Xususan, tuzilishining soddaligi, ishlashdagi ishonchlilikning yuqoriligi va arzonligi sababli rotori qisqa tutashtirilgan asinxron motorlari ko'p sohalarda keng qo'llaniladi. Ozgarmas tok mashinalari ham generator va motor rejimlarida ishlatiladi. Xususan, galvanika qurilmalari, akkumulatorlarni zaryadlash va o'zgarmas tok motorlarini elektr energiyasi bilan ta'minlashda ular generator vazifasida ishlatiladi.

Aylanish tezligi keng va silliq rostlanishni talab etadigan ishchi mashina va dastgohlarda o'zgarmas tok motorlaridan foydalaniladi.

Qishloq xo'jaligi, sanoat, qurilish va transport mexanizmlarini harakatga keltirishda o'zgaruvchan va o'zgarmas tok elektr yuritmalaridan foydalaniladi. Elektr motori va u bilan harakatlantiriladigan ish mashinasi orasidagi mexanik uzatma (reduktor) hamda elektr

motorini boshqaradigan elektr apparatlaridan tashkil topgan qurilma, elektr yuritma deyiladi. Ular tok turi, aylanish tezligini rostlanish va boshqarilish usullariga binoan turli xillarga ajratiladi. Shuningdek, elektr yuritmalar boshqaruvchi elektr apparatlari va elektr sxemalariga qarab ham turlicha bo'ladilar. Bunda ishlab chiqarish jarayonini to'la avtomatlashtirishda mikroelektronika elementlaridan foydalanish ham ko'zda tutiladi.

Katta quvvatli elektr energiyasini uzoq masofada joylashgan iste'molchilarga uzatishda va turli kuchlanishdagi elektr energiyasi hosil qiladigan stansiyalarni biror yuqori kuchlanishda o'zaro bog'lab, ya'ni energetika sistemasini yaratib elektr ta'minoti uzluksizligiga erishishda transformatorlardan keng foydalaniladi. O'zgaruvchan tok kuchlanishi qiymatini oshirish yoki kamaytirish uchun ishlatiladigan statik elektromagnit apparat *transformator* deyiladi.

Respublikamiz o'zining energetika sistemasiga ega bo'lib, uning ishi markaziy dispetcherlik boshqarmasidan nazorat qilinadi. Energetika sistemamizda kuchlanishi 110, 220 va 500 kV li elektr uzatish liniyalari ishlab turibdi. Jumladan, Farhod GES — Toshkent elektr uzatish liniyasining uzunligi 250 km, kuchlanishi 220 kV, Toshkent — Chirchiq uzatish liniyasining energiyasini uzoq masofalarga tejimli uzatish uchun har bir km masofaga 1 kV kuchlanish to'g'ri kelishiga erishish kerak bo'ladi.

Soni va quvvati o'sib borayotgan elektr iste'molchilarini energiya bilan ta'minlash uchun mamlakatimiz va jahon energetikasini jadal rivojlantirish zarurdir. Shu sababli, elektr energiyasini asosiy iste'molchisi bo'lmish elektr motorlarining texnika-iqtisodiy ko'rsatkichlarini yaxshilash va shovqinsiz ishlaydigan motorlar yaratish borasida ilmiy va amaliy ishlar olib borilmoqda. Hozirda AQSH firmalarida servisfaktorli (SF) elektr motorlari ishlab chiqarilmoqda. Motorning qutblar soni va quvvatiga qarab servis faktor 1,15—1,4 orasidagi son bo'lib, kuchlanish V va chastota f nominal bo'lganda, uning quvvati P_n ni SF gacha oshirish imkoni bo'lishligini bildiradi. Shuningdek, harorat +40 – 15 orasida bo'lganda ham bunday motorni nominal quvvat bilan ishlatish mumkinligini ko'rsatadi. Bundan tashqari, chastota nominal bo'lib, tarmoq kuchlanishi +10% o'zgarganda yoki nominal kuchlanishda chastota $\pm 5\%$ o'zgarganda ham SF motorlarni ishlatish mumkin bo'ladi. Shuningdek, Rossiyaning qator korxonalari, jumladan Vladimir elektr motor zavodi bilan birgalikda 5A seriyadagi, quvvati 0,55—315 kw li asinxron motorlarni ishlab chiqarmoqda (6A seriyasi esa, foydalanishga tayyorlanmoqda). Elektr motorlarini bu yangi seriyalarini yaratishda foydali ish va quvvat koeffitsiyentlarini yuqori bo'lishiga hamda chet el jahon standartiga mos kelishiga e'ti-

bor berilmoqda. Yevropaning yetakchi firmalari standartlash bo'yicha Yevropa elektrotexnika qo'mitasi SENELEC normalariga mos keladigan asinxron motorlar ishlab chiqarmoqda. Ular f.i.k. η va $\cos\varphi$ koeffitsiyentlarini yuqori bo'lishidan tashqari, shovqinsiz ishlash, qulay montaj qilish va 40 ming soatgacha ishlash imkoniga ega qilingan.

Mustaqillik tufayli Respublikamizda olib borilayotgan islohotlar qatori elektrotexnika sanoatida ham katta o'zgarishlar bo'lmoqda. Jumladan, Chirchiq transformator zavodida yuqori kuchlanishli transformatorlar, Andijon elektr motor aksiyadorlik jamiyatida ekspluatatsiya ko'rsatkichlari yuqori bo'lgan asinxron motorlarining yangi turlari ishlab chiqarilmoqda.

Shuningdek, gidromeliorativ tizimlaridagi ochiq sug'orish kanallari va quvurlarida suv sathi, sarfi, tezligi kabi kattaliklarni o'lchaydigan datchiklarning yangi konstruksiyalarini yaratish bo'yicha Respublikamiz olimlari tomonidan katta ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu ishlarning natijalari asosida 2000-yil AQSH qishloq xo'jaligi departamentini "Korxon" dasturi bo'yicha, 2001-yilda esa, AQSH ning xalqaro ilmiy tadqiqotlar va olimlarni ayirboshlash "AYREKS" tashkilotining grantlariga sazovor bo'lindi. Hozirda, bu ishlarni rivojlantirish bo'yicha Kaliforniya shtati va Nyu-Meksiko shtatlari universitetlari bilan ilmiy hamkorlik olib borilmoqda.

Birinchi qism

ELEKTR MASHINALARI VA TRANSFORMATORLAR

I BOB. ELEKTR MASHINALARI TO'G'RSIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

1.1. Elektr mashinalarining vazifasi va tasnifi

Elektr mashinalarni bir necha W dan bir necha yuz ming kW quvvatga mo'ljallab tayyorlash hamda osongina avtomatik boshqarish imkoni borligi sababli ular sanoat, transport va qishloq xo'jaligini elektrlashtirishda asosiy ish mashinasi sifatida ishlatiladi. Bug' va suv turbinalari, dizel va boshqa motorlar vositasida mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirib beruvchi mashina *elektr generatori* deyiladi. Xalq xo'jaligining turli sohalarida iste'mol qilinadigan elektr energiyasining ko'pchilik qismi ish mashinasi va mexanizmlarni harakatga keltirish uchun kerak bo'lgan mexanik energiyaga aylantiriladi. Elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beruvchi mashina *elektr motor* deyiladi. Elektr mashinalarning asosiy afzalliklaridan biri ularning generator, motor hamda elektrmagnit tormozlar sifatida ishlash imkoni hisoblanadi. Bunday mashinalar o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka, yoki past kuchlanishli o'zgarmas tokni yuqori kuchlanishli o'zgarmas tokka o'zgartirib beruvchi o'zgartgichlar sifatida ham qo'llaniladi.

Elektr mashinalar yordamida elektr signallarni kuchaytirish imkoni ham mavjuddir. Bunday mashinalar *elektr mashina kuchaytirgichlari* deyiladi.

Elektr mashinalar turli signallarning elektromexanik o'zgartgichi sifatida ham keng ishlatiladi. Bunday elektr mashinalarning quvvati juda kichik bo'lgani uchun ular mikromashinalar deb ataladi. Mikromashinalar ijrochi motorlar, taxogeneratorlar, sinxron bog'lash mashinalari sifatida ishlatiladi.

Ijrochi motorlar bilan elektr signallar mexanik komandaga, taxogeneratorlar bilan esa mexanik signallar elektr komandaga aylantiriladi. Sinxron bog'lash mashinalari vositasida mexanik usulda o'zaro bog'lanmagan ikki valning sinxron burilishi yoki aylanishiga erishiladi.

Quvvat bo'yicha elektr mashinalar shartli ravishda quyidagi turkumlarga bo'linadi:

quvvati bir necha Vatt dan 500 Vattgacha bo'lgan elektr mashinalar mikromashinalar turkumiga kiritiladi. Bunday mashinalar o'zgarmas tokda va chastotasi normal hamda yuqori (400÷500 H) bo'lgan o'zgaruvchan tokda ishlatiladi;

quvvati 0,5 dan 10 kW gacha bo'lganlari kichik quvvatli mashinalar turkumiga kiritiladi. Bunday mashinalar o'zgarmas tokda va chastotasi normal hamda yuqori bo'lgan o'zgaruvchan tokda ishlatiladi;

quvvati 10 kW dan bir necha yuz kW gacha bo'lganlari o'rta quvvatli mashinalar turkumiga kiritiladi;

quvvati bir necha yuz kW dan yuqorilari katta quvvatli (qudratli) mashinalar deyiladi.

Elektr mashinalarda ishlatiluvchi izolatsiya materiallarining yangi turlari ixtiro qilinishi natijasida gidrogeneratorlar kuchlanishi 110, 165 kW gacha ko'tarilmoqda. Bu esa elektr energiyasini uzoq masofalarga transformatorlarsiz uzatish imkonini yaratadi. Tok turiga ko'ra elektr mashinalar o'zgarmas va o'zgaruvchan tok mashinalariga bo'linadi. Ishlash prinsipiga ko'ra esa, o'zgaruvchan tok mashinalari asinxron va sinxron mashinalarga bo'linib, ular bir, ikki va uch fazali tuzilishda ishlab chiqariladi.

1.2. Elektr mashinalari va transformatorlarning ishlash prinsipi

Elektr mashinalar va transformatorlarning ishlash prinsipi elektromagnit induksiya va elektromagnit kuch haqidagi fizik hodisalarga asoslanadi. Elektromagnit induksiya qonunini kashf etgan Faradeyning ta'rifiga binoan, magnit kuch chiziqlarini ma'lum chastota bilan kesib o'tuvchi o'tkazgichda elektr yurituvchi kuch (e.yu.k.) hosil bo'ladi (1.1-rasm). O'tkazgichda hosil bo'lgan e.yu.k. ning qiymati magnit kuch chiziqlarining zichligi (magnit induksiya), o'tkazgich uzunligining aktiv qismi va o'tkazgichning harakat tezligiga proporsional bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$E = Bhv, \quad (1.1)$$

bunda E — o'tkazgichda hosil bo'lgan, e.yu.k., V;

B — magnit induksiya, T;

l — o'tkazgichning aktiv, ya'ni magnit kuch chiziqlarini kesib o'tuvchi qismi uzunligi, m;

v — o'tkazgichning harakat chastotasi, $\frac{m}{sek}$.

E. yu. k. yoʻnalishi oʻng qoʻl qoidasi bilan aniqlanadi: agar oʻng qoʻl kaftiga magnit kuch chiziqlari tik boʻlsa, u holda kaft tekisligiga nisbatan 90° burilgan bosh barmoq tomon harakatlanayotgan oʻtkazgichda hosil boʻlgan e.yu.k. ning yoʻnalishi kaft tekisligi tomon choʻzilgan toʻrt barmoq yoʻnalishida boʻladi (1.2-rasm).

E. yu. k. hosil qilingan oʻtkazgichni biror isteʼmolchiga yoki oʻz-oʻziga tutashtirilsa, u holda bu yopiq zanjirdan quyidagi ifoda bilan aniqlanuvchi tok oʻta boshlaydi (1.1-rasm);

$$I = \frac{E}{R_0 + R}, \quad (1.2)$$

bunda I — oʻtkazgichdan oʻtayotgan tok, A;

R_0 — tok manbaining ichki qarshiligi yoki e.yu.k. hosil qilingan oʻtkazgich qarshiligi, Om;

R — isteʼmolchining qarshiligi, Om.

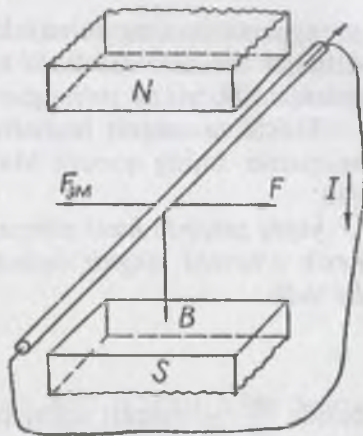
Bu yopiq zanjirda hosil boʻlgan tokning yoʻnalishi e.yu.k. yoʻnalishi bilan bir xil boʻladi.

Oʻtkazgichning koʻndalang kesimida bizdan qarshi tomonga yoʻnalgan e.yu.k. va toklarni $\otimes$ belgi bilan, biz tomonga yoʻnalganlarini $\odot$ belgi bilan belgilash qabul qilingan.

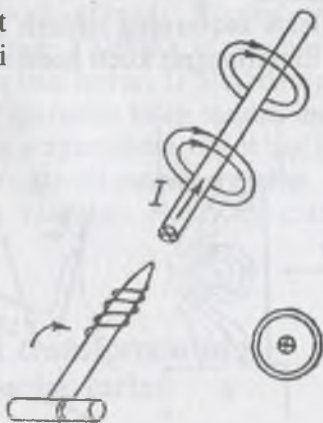
Tokli oʻtkazgich atrofida magnit oqim Φ hosil boʻlib, uning yoʻnalishi parma qoidasi bilan aniqlanadi.



1.2-rasm. Oʻtkazgichda hosil boʻlgan e. yu. k. yoʻnalishini aniqlash.



1.1-rasm. Oʻtkazgichda e.yu.k. hosil boʻlishi.



1.3-rasm. Oʻtkazgichdagi tokdan hosil boʻlgan magnit oqim yoʻnalishini aniqlash.

Agar parmaning yo'nalishi o'tkazgichdagi tok yo'nalishida bo'lsa, u holda tok atrofida hosil bo'lgan magnit oqim parma dastasining aylanishi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi (1.3-rasm).

Elektr va magnit hodisalar asosan elektromagnit induksiya bilan aniqlanib, uning qonuni Maksvell tomonidan quyidagicha ta'riflangan:

yopiq zanjirda hosil qilingan e.yu.k. (e) ning oniy qiymati shu zanjirni kesib o'tuvchi magnit oqimning o'zgarish chastotasiga proporsional bo'ladi:

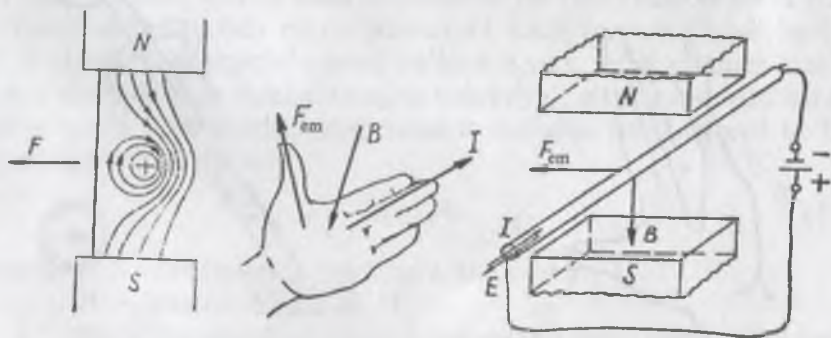
$$e = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1.3)$$

bunda $\frac{d\Phi}{dt}$ — magnit oqim Φ ning juda kichik dt vaqt ichidagi o'zgarish chastotasi (1.3). Ifodadagi manfiy (—) belgi Lens qoidasiga binoan e.yu.k. ta'sirida yopiq zanjirda hosil bo'lgan tok atrofidagi magnit oqimning yo'nalishi bu zanjirni kesib o'tuvchi asosiy magnit oqimning o'zgarishiga teskari bo'lishini anglatadi. Agar yopiq zanjirni kesib o'tuvchi magnit oqimning qiymati kamaysa, zanjirdagi tokdan hosil bo'lgan magnit oqim asosiy magnit oqim tomon yo'nalib, uning kamayishiga xalaqit beradi.

Shunday qilib, elektromagnit induksiya qonuniga binoan o'tkazgich magnit maydonni yoki magnit maydon o'tkazgichni berilgan chastota bilan kesib o'tsa, bu o'tkazgichda e.yu.k., o'tkazgich bilan hosil qilingan yopiq zanjirda esa tok paydo bo'ladi.

Demak, elementar tok manbaini, ya'ni generatorni hosil qilish uchun magnit maydon bilan yopiq zanjirdan iborat o'tkazgich bo'lishi kifoya.

Elektr motorning ishlash prinsipi elektromagnit kuchga asoslangan. Elektrmagnit kuch hodisasiga binoan agar tokli o'tkazgich magnit



1.4-rasm. Tokli o'tkazgichda ta'sir etuvchi elektromagnit kuch yo'nalishini aniqlash.

maydonga kiritilsa, u harakatga keladi (1.4-rasm). O'tkazgichni harakatga keltiruvchi bunday F_{em} kuch elektromagnit kuch deyiladi. Elektromagnit kuchning qiymati magnit induksiya, o'tkazgichdagi tok va o'tkazgich uzunligining qiymatlariga to'g'ri proporsional bo'lib, quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$F_{em} = BIl, \quad (1.4)$$

bunda F_{em} — elektromagnit kuch, N;
 B — magnit induksiya, Tl;
 l — o'tkazgichning uzunligi, m.

Elektromagnit kuchning yo'nalishi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi.

Agar chap qo'l kaftiga magnit induksiya tik bo'lib, o'tkazgichdagi tokning yo'nalishi kaft tekisligi bo'ylab cho'zilgan to'rt barmoq yo'nali-shida bo'lsa, u holda o'tkazgichga ta'sir etuvchi elektromagnit kuchning yo'nalishi kaft tekisligiga nisbatan 90° ga burilgan bosh barmoq tomon yo'nalgan bo'ladi (1.4-rasm).

Elektromagnit kuch ta'sirida tokli o'tkazgich harakatga kelib, magnit maydonni kesib o'tadi va unda e.yu.k. hosil bo'ladi. Ammo bu e.yu.k. ning yo'nalishi o'ng qo'l qoidasiga binoan o'tkazgichdagi tok yo'nali-shiga teskaridir (1.4-rasm). Demak, generatorda e.yu.k. va tok yo'nali-shi o'zaro mos bo'lsa, motorda esa qarama-qarshi bo'ladi. Shunday qilib, elementar harakat manbaini, ya'ni elektr motorni hosil qilish uchun magnit maydon bilan tokli o'tkazgich bo'lishi kifoya.

Elektr mashinalarning ishlashi uchun kerak bo'lgan magnit maydon, odatda, elektromagnit usul bilan hosil qilinadi. Buning uchun po'lat o'zakdan iborat bo'lgan qutblardagi g'altakka o'zgarmas tok berilib, kuchli magnit maydonni hosil qilish lozim. G'altakdan o'tayotgan tokning qiymati va yo'nalishini o'zgartirish bilan magnit induksiyaning qiymati va yo'nalishini osongina o'zgartirish imkoni tug'iladi. Demak, elektr mashinalarga kerak bo'lgan kuchli magnit maydon hosil qilish maqsadida o'zgarmas magnitga nisbatan elektromagnitdan foydalanish qulayroqdir.

1.3. Elektr mashinalari va transformatorlar taraqqiyotining qisqacha tarixi

1831-yilda M. Faradey tomonidan elektromagnit induksiya qonuni aniqlangandan so'ng elektr mashinalari va transformatorlar yaratila boshlandi.

Birinchi o'zgarmas tok generatori aka-uka Piksilar tomonidan 1832-yilda yaratilgan, birinchi o'zgarmas tok motori esa V. S. Yakobi tomonidan 1834-yilda yasalgan. Bu dastlabki generator va motorlarda magnit maydon o'zgarmas magnitlar bilan hosil qilingan bo'lsa, 1860-yillarga kelib esa elektromagnitlar bilan hosil qilindi. Elektr mashinaning motor va generator sifatida ishlash imkonini to'g'risida akademik Lensning 1833-yilda aytgan fikri 1838-yilda isbotlandi.

Temir yo'l transportini elektrlashtirish natijasida elektr motorlar va generatorlarga bo'lgan talab juda ham ortib ketdi.

O'tgan asrning 80-yillarida elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatish masalasi o'rta tashlanadi. 1882-yilda o'zgarmas tok elektr energiyasini uzatish birinchi tajribadan o'tkazildi. Ammo yuqori kuchlanishli o'zgarmas tok energiyasini kollektorli elektr mashinadan olish ko'p noqulayliklarga ega. Bu esa elektrotexnik olimlarning o'zgaruvchan tokka qiziqishlarini yana ham orttirdi.

O'zgaruvchan tokdan amaliy elektrotexnikada foydalanish va uni rivojlantirishda rus olimi P. N. Yablochkovning juda katta hissasi bor. Bu olim o'zi yaratgan elektr lampalarga keng ravishda o'zgaruvchan tok ishlatdi.

1876-yilda P. N. Yablochkov birinchi bo'lib transformatorni kashf etdi va undan o'zi yaratgan elektr lampalarni o'zgaruvchan tok bilan ta'minlashda foydalandi. Yablochkov yaratgan transformatorining po'lat o'zagi ochiq bo'lgan, zamonaviy, ya'ni po'lat o'zagi berk bo'lgan transformatorlar esa, 1944-yilda ishlatilgan. O'zgaruvchan tok motorlari ishlash prinsipining asosi bo'lmish aylanuvchi magnit maydon hodisasi to'g'risida italiyalik fizik G. Ferraris bilan bir vaqtda serb N. Tesla ham aylanuvchi magnit maydon hodisasini kashf etib, uning asosida ikki fazali asinxron motorni yaratgan. Ammo o'zgaruvchan tok mashinalari va transformatorlarning keng miqyosda rivojlanishi va ishlatilishida M. O. Dolivo-Dobrovolskiyning xizmati juda ham ulkan. M. O. Dolivo-Dobrovolskiy 1889-yilda uch fazali tok sistemasi, chulg'amlarni uchburchak va yulduz sxemalari bilan ulash, uch fazali asinxron motor va uch fazali transformatorni birinchi bo'lib kashf etgan.

1891-yilda esa, M. O. Dolivo-Dobrovolskiy birinchi bo'lib uch fazali transformator bilan 15 000 V kuchlanishli uch fazali o'zgaruvchan tokni 175 km masofaga uzatish liniyasini qurdirib, bu qurilmani Frankfurt-na Mayne shahrida o'tkazilgan elektrotexnika ko'rgazmasida namoyish qildi. M. O. Dolivo-Dobrovolskiy tajribasidan so'ng, katta quvvatli o'zgaruvchan tokni uzoq masofalarga qoniqarli foydali ish koeffitsiyenti bilan uzatish imkoniyati borligi tasdiqlandi.

Shu paytdan boshlab sanoat va transportni elektrlashtirish jadal sur'atlar bilan rivojlanib ketdi. Natijada elektr stansiyalarining quvvati

orta bordi, katta quvvatli generator va transformatorlar yaratila boshlandi.

Agar 1900-yillarda generatorlarning quvvati 5000 kVA dan osh-magan bo'lsa, 1920-yilda quvvati 60000 kVA bo'lgan turbogenera-torlar yaratildi.

Hozir elektr mashinalar ishlab chiqaradigan zavodlarda quvvati 1 mln 200 ming kVA gacha bo'lgan generatorlar yaratilmoqda, 1500 000 kVA li generatorlarning loyihalari esa tayyorlanmoqda. Quvvati bir necha vattdan bir necha ming kW gacha bo'lgan turli seriya va tipdagi elektr motorlar ham ko'plab chiqarilmoqda.

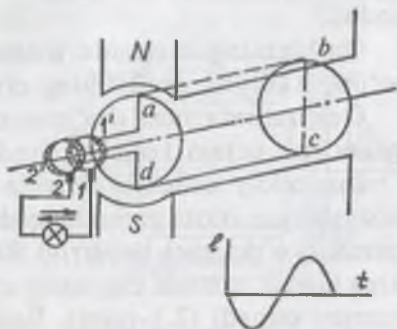
II BOB. O'ZGARMAS TOK MASHINALARINING ISHLASH PRINSIPI VA TUZILISHI

2.1. O'zgarmas tok generatorining ishlash prinsipi

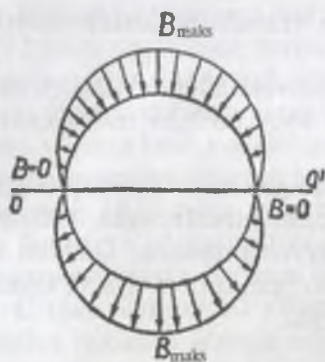
2.1-rasmda eng oddiy o'zgaruvchan tok generatorining prinsipial sxemasi ko'rsatilgan.

Bunda N va S qutblarning magnit maydonida silindr shaklidagi po'lat o'zakka o'rnatilgan bir o'ramdan iborat o'tkazgich soat mili-ning yo'nalishiga teskari tomonga n chastota bilan aylantiriladi. O'tkazgichning uchlari valga o'rnatilib, izolatsiyalangan ikkita halqaga tutashtiriladi va, demak, halqalar ham o'tkazgich bilan bir xil chas-totada aylanadi. Halqalar ustiga qo'zg'almas cho'tkalar o'rnatilgan bo'lib, ularga tashqi yuklama ulanadi. Bunday generatorning shimo-liy qutbi ostidagi o'tkazgichda hosil bo'lgan e.yu.k. yo'nalishi b dan a ga, janubiydakisida d dan c tomon bo'ladi. Demak, e.yu.k. dan hosil bo'lgan tok ham, halqa $1'$ dan cho'tka 1 tomonga, tashqi yuk-lamada esa cho'tka 2 dan halqa $2'$ tomonga yo'nalgan bo'ladi.

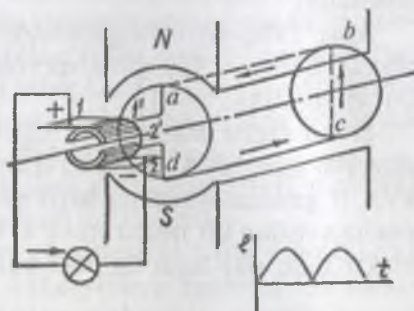
Generatordan chiqqan tokni tashqi zanjirga uzatuvchi cho'tka 1 ni musbat, tashqi zanjirdan o'tuvchan tokni generatorga qaytarib beruvchi cho'tka 2 ni manfiy potensialga ega deb qabul qilinadi va ularni tegishlicha (+) hamda (-) belgilar bilan ko'rsa-tiladi (2.3-rasm). Generator o'tkazgichi aylantirilib, 180° ga burilganda uning ab va cd to-monlari o'zaro o'rinlari bilan



2.1-rasm. O'zgaruvchan tok generatori-ning prinsipial sxemasi.



2.2-rasm. Po'lat silindrga o'rnatilgan o'tkazgich atrofida magnit kuch chiziqlarining taqsimlanishi.



2.3-rasm. O'zgarmas tok generatorining prinsipial sxemasi.

almashadi. Bunda musbat potensialli cho'tka manfiy, manfiyligi esa musbatga aylanib, yuklamadan o'tayotgan tok o'z yo'nalishini o'zgartiradi.

Shunday qilib, $abcd$ o'tkazgich va tashqi yuklamadan iborat yopiq zanjirda o'zgaruvchan e.yu.k. va tok hosil bo'lib, o'tkazgichning bir marta to'la aylanishida ular o'z yo'nalishini ikki marta o'zgartiradi. O'zgaruvchan e.yu.k. va, demak, tokning o'zgarish egri chizig'i magnit qutblarining shakliga bog'liq bo'ladi. Amalda, generator o'tkazgichlarida hosil qilingan e.yu.k. sinusoidaga yaqin shaklda bo'ladi. Buning uchun o'tkazgich o'rnatilgan po'lat silindr atrofidagi magnit kuch chiziqlari 2.2-rasmda ko'rsatilgandek taqsimlanishi lozim.

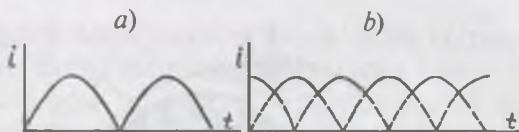
Haqiqatan, o'zgarmas chastota bilan aylantirilayotgan generator-dagi e.yu.k. ning oniy qiymati $v = Bv$; $B = \text{const}$ bo'lgani uchun uning o'zgarish qonuni ham magnit induksiya B ning taqsimlanishiga bog'liqdir.

Qutblarning o'rtasida magnit induksiyaning qiymati $B = B_{\text{maks}}$ bo'lib, ikki qutb oralig'ining o'rtasida esa $B = 0$ bo'ladi (2.2-rasm).

Generatorda hosil bo'lgan o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish uchun kollektordan foydalaniladi.

Eng oddiy kollektor sifatida misdan yasalgan va bir-biridan izolatsiyalangan ikkita yarim halqadan foydalanish mumkin. Demak, 2.1-rasmdagi o'tkazgich uchlarini ikkita halqa o'rniga ikkita yarim halqalarga ulansa, u holda eng oddiy o'zgarmas tok generatorining prinsipial sxemasi olinadi (2.3-rasm). Bunda ham yarim halqalar valga undan izolatsiyalangan holda o'rnatilib, ular val va, demak, o'tkazgich bilan bir xil chastotada aylanadi.

Shunga ko'ra, *abcd* o'ramda ilgarigidek o'zgaruvchan e.yu.k. hosil qilinadi, ammo kollektor bo'lgani sababli cho'tkalar o'zgarmas potentsiallarga ega bo'lib qoladi. Haqiqatan, 2.3-rasmga binoan cho'tka 1 yarim halqa 1' bilan kontakt hosil qilib musbat potentsialga ega bo'lsa, o'tkazgich aylanib 180° ga burilganida ham cho'tka 1 yarim halqa 2' bilan ulanib, yana musbat potentsialga ega bo'lib qoladi.



2.4-rasm. O'zgarmas tok generatoridan olingan tokning pulsatsiyalanishi:

a — bir o'ramli o'tkazgich va ikki kollektor plastinkasi va *b* — ikki o'ramli o'tkazgich hamda to'rtta kollektor plastinkasi bo'lgan generatordan olinadigan tokning pulsatsiyalanishi.

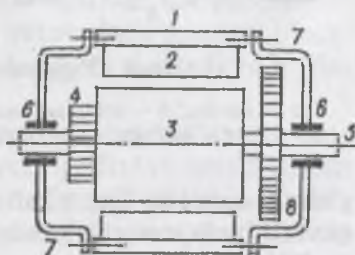
Demak, *abcd* o'ramda o'zgaruvchan e.yu.k. va tok hosil bo'lishiga qaramay, tashqi yuklamadan o'tadigan tok faqat bir xil yo'nalishda bo'lib, uning qiymati o'zgarib (pulsatsiyalanib) turadi (2.4-rasm, *a*). Tok pulsatsiyasini kamaytirish uchun generator chulg'aming o'ramlari sonini va, demak, kollektor plastinkalari (yarim halqalar) sonini ko'paytirish lozim.

2.4-rasm, *b* da ikki o'ramdan iborat o'tkazgich va to'rtta kollektor plastinkasi bo'lgan generatordan olingan tok grafigi ko'rsatilgan. Bunda tok pulsatsiyasi 2.4-rasm, *a* dagiga nisbatan keskin kamayadi.

Normal tipli o'zgarmas tok mashinalaridagi kollektor plastinkalarining soni 50÷80 ta bo'lib, ulardan olinadigan tokning qiymati deyarli o'zgarmas bo'ladi.

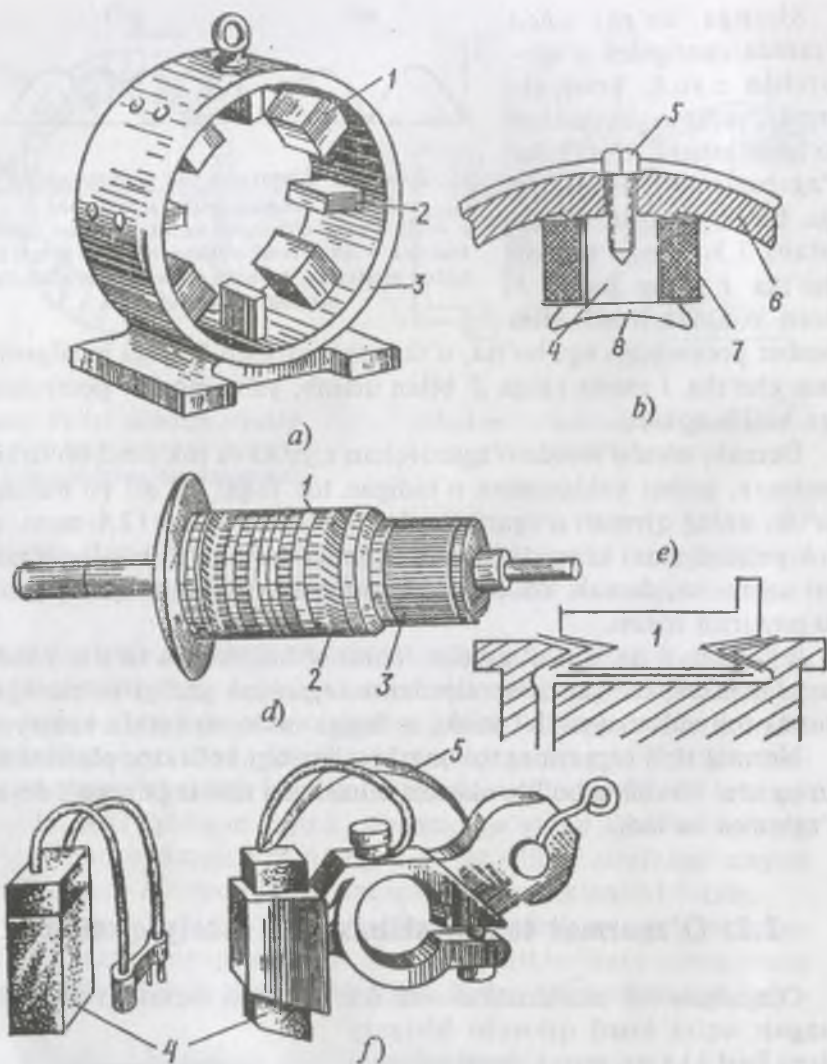
2.2. O'zgarmas tok mashinasining asosiy qismlari

O'zgarmas tok mashinasi asosan ikki qismdan iborat bo'lib, uning magnit oqim hosil qiluvchi birinchi qismi induktor, e.yu.k. hosil qiluvchi ikkinchi qismi esa yakor deb ataladi. Induktor o'z navbatida stanina 1 hamda asosiy (bosh) qutblar 2 dan iborat bo'lib, yakor esa yakor o'zagi 3, kollektor 4, val 5, podshipnik 6, podshipnik qalqoni 7 va ventilyator 8 dan iborat bo'ladi (2.5-rasm).



2.5-rasm. O'zgarmas tok mashinalarining konstruktiv sxemasi.

2.5-rasmda o'zgarmas tok mashinalarining konstruktiv sxemasi ko'rsatilgan. Bunda stanina mashinaning qo'z-



2.6-rasm. O'zgarmas tok mashinasining asosiy qismlari:

a — stanina; *b* — staninaga mahkamlangan asosiy bosh qutb o'zagi; *d* — yakor;
e — kollektor; *f* — cho'tka tutqich va unga o'rnatilgan cho'tkalar.

g'almas qismi bo'lib, u katta quvvatli mashinalarda po'latdan, kichik quvvatli larda esa cho'yandan quyib yasaladi (2.6-rasm, *a*).

Silindr shaklidagi stanina *3* ning ichki qismiga ayon ko'rinishga ega bo'lgan, ya'ni bo'rtib chiqqan asosiy *1* va qo'shimcha *2* qutblarning o'zaklari, uning ikki yon tomonlariga esa podshipnik qalqoni boltlar bilan mahkamlanib qo'yiladi.

2.6-rasm, *b* da o'zgarmas tok mashinasining asosiy qutbi ko'rsatilgan, bunda 4 — qutb o'zagi. Uning qalinligi 1 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat listlaridan yig'ilib hosil qilinadi; 8 — magnit oqimning berilgan qonun bo'yicha tarqalishini ta'minlovchi qutb boshmog'i; 7 — o'zgarmas tok bilan ta'minlanib, bosh qutblarda asosiy magnit oqimni hosil qiluvchi qo'zg'atuvchi chulg'am; 5 — stanina 6 ga qutb o'zagini mahkamlovchi bolt. Uyurma toklardan hosil bo'luvchi quvvat isrofini kamaytirish uchun qutb o'zagini tashkil qiluvchi po'lat listlar bir-biridan lok bilan izolatsiya qilinadi.

Kichik quvvatli mashinalarda esa qutb o'zagi quyma po'latdan yasaladi.

Katta quvvatli mashinalarda kommutatsiya sharoitini yaxshilash maqsadida qo'shimcha qutblar ham ishlatiladi (kommutatsiyaga qarang).

2.6-rasm, *d* da o'zgarmas tok mashinasining aylanuvchi qismi bo'lgan yakor ko'rsatilgan, bunda 1 — yakor o'zagi, 2 — e.yu.k. hosil qilinuvchi yakor chulg'ami, 3 — kollektor. Yakor o'zagi qalinligi 0,5 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat listlardan yig'iladi. Uyurma toklardan hosil bo'luvchi quvvat isrofini kamaytirish uchun bu listlar bir-biridan lok bilan izolatsiyalanadi.

Yakor o'zagini tashkil qilish uchun po'lat listlar maxsus andazada valga shtamplanadi. Yakor o'zagi chulg'am o'tkazgichlari o'rnatilishi uchun pazli (ariqchali) qilib tayyorlanadi.

Yakor chulg'ami presshpan yoki lakotkanlar bilan o'zakdan izolatsiyalanib, pazlarga yog'och ponalar va ular ustidan o'ralgan po'lat simli belbog'lar bilan mahkamlanadi. Kollektor esa qaldirg'och quyrug'i shaklidagi mis plastinkalaridan tayyorlanib, yakor valiga o'rnatiladi (2.6-rasm, *e*). Kollektor plastinkalari bir-biridan va yakor validan izolatsiyalanagan.

Bu plastinkalarning har biriga yakor chulg'aming o'tkazgichlari kavsharlab tutashtirilishi lozim. Kollektor o'zgarmas tok generatorining eng nozik va murakkab qismi bo'lib, yakor chulg'amidagi o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirib beruvchi mexanik to'g'rilagichdir.

Aylanib turuvchi yakor chulg'amidagi tokni tashqi yuklamaga uzatish uchun grafit, ko'mir-grafit yoki bronza-grafitdan tayyorlangan cho'tkalardan foydalaniladi. Qo'zg'almas holatdagi cho'tkalar maxsus cho'tka tutqichlarga o'rnatilib, ular yaxshi kontakt hosil qilishi maqsadida prujina yordamida kollektor plastinkalariga bosilib turadi (2.6-rasm, *f*). Cho'tka tutqichlar traversga, travers esa podshipnik qalqoniga yoki staninaga mahkamlanadi. Yakor valiga o'rnatilgan ventilyator u bilan birga aylanib mashinani shamollatib turadi.

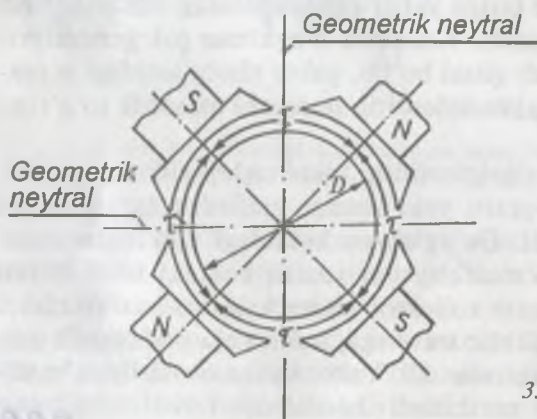
3.1. Umumiy tushunchalar

Hozir o'zgarmas tok mashinalarida faqat barabanli yakor ishlatiladi. Bunda chulg'am o'tkazgichlari yakor o'zagining tashqi qismidagi pazlarga joylashtirilib, uning aktiv (e.yu.k. hosil bo'luvchi foydali qismi) qismi halqasimon yakordagiga nisbatan ikki marta ortiq. Yakor chulg'amida hosil bo'ladigan e.yu.k. qiymatini ko'paytirish, uning pulsatsiyasini esa kamaytirish uchun yakor pazlariga joylashtiriladigan o'tkazgich o'ramlari sonini ko'paytirish hamda kollektorni ko'p plastinkalardan yasash lozim.

Yakor chulg'amining asosiy elementi seksiya hisoblanadi.

Chulg'am sxemasiga binoan kollektorning ikki qo'shni plastinka-siga ulangan bir yoki bir necha o'ramlardan iborat yakor chulg'ami qismi seksiya deb ataladi. Har bir seksiya yakor pazlariga joylashgan ikki aktiv va pazlardan tashqarida joylashgan aktiv bo'lmagan tomonlarga ega. Seksiya aktiv tomonining biri shimoliy qutb ostidagi pazlarga joylashtirilsa, ikkinchisi janubiy qutb ostidagi pazlarga joylashtiriladi.

Demak, seksiyaning aktiv tomonlari bir-biridan qutb bo'linmasi τ oralig'iga farqlanib, ularda hosil bo'lgan e.yu.k. lar bir-biri bilan qo'shiladi. Yakorning tashqi sirti bo'yicha hisoblangan shimoliy va janubiy qutb orasidagi masofa qutb bo'linmasi deb ataladi va τ harfi bilan belgilanadi (3.1-rasm).



3.1-rasm. Qutb bo'linmasi (τ) va geometrik neytral chiziq.

Qo'shni seksiyalardagi e.yu.k. larning qo'shilishi uchun bu seksiyalar bir-biri bilan ketma-ket ulanib, berk sistemali yakor chulg'ami ni hosil qilishi darkor.

Buning uchun har bir kollektor plastinkasiga bir seksiyaning oxiri va chulg'am sxemasiga binoan joylashgan qo'shni seksiyaning boshi kavsharlab tutashtiriladi. Elektr mashinaning qutblari sonini $2p$, juft qutblari sonini esa p bilan belgilab, yakor aylanasi uzunligi πD ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\pi D = 2p\tau, \quad (3.1)$$

bunda $\pi = 3,14$; D — yakor diametri, m .

Demak, qutblar soni $2p$ ni qutb bo'linmasi τ ga ko'paytirilsa, yakor aylanasi uzunligini aniqlash mumkin. Mashinadagi shimoliy va janubiy qutblar oralig'ining o'rtasidan o'tuvchi xayoliy chiziqli geometrik neytral deb ataladi.

Geometrik neytral chiziqlarning soni mashinadagi juft qutblar soniga teng bo'ladi (3.1-rasm).

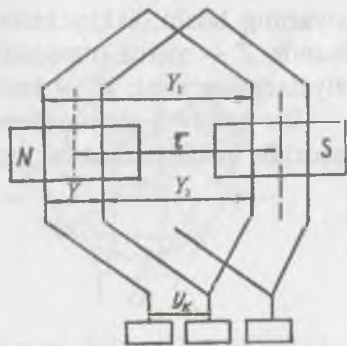
Yakor chulg'amini tuzish uchun quyidagi ma'lumotlarga ega bo'lish lozim:

1) birinchi qisman qadam. Yakor chulg'ami seksiyasining aktiv tomonlari joylashgan pazlar oralig'idagi masofa, ya'ni seksiyaning kengligi chulg'amning birinchi qisman qadami deb ataladi va Y_1 bilan belgilanadi. 3.2-rasmda sirtmoqli chulg'am qadamlari ko'rsatilgan;

2) ikkinchi qisman qadam. Yakor chulg'ami bir seksiyasining oxirgi aktiv tomoni bilan chulg'am sxemasiga binoan kelgusi seksiyasining boshlang'ich tomoni joylashgan pazlar oralig'idagi masofa chulg'amning ikkinchi qisman qadami deb ataladi va Y_2 bilan belgilanadi;

3) to'la qadam. Yakor chulg'amining sxemasiga binoan joylashtirilgan ikki qo'shni seksiya bosh tomonlari oralig'idagi masofa chulg'amning to'la qadami deb ataladi va Y bilan belgilanadi;

4) chulg'amning kollektor bo'yicha qadami. Yakor chulg'amining seksiya boshi bilan oxiri ulangan kollektor plastinkalari oralig'idagi masofa chulg'amning kollektor bo'yicha qadami deb ataladi va Y_k bilan belgilanadi. Bu masofa



3.2-rasm. Sirtmoqsimon chulg'amning tuzilish sxemasi.

seksiya boshi va oxiri ulangan kollektor plastinkalari orasidagi izolatsiyalovchi qatlamlar soni bilan o'lchanadi.

Shuningdek, chulg'amning yakor bo'yicha qadamlari Y_1 , Y_2 va Y ni yakor pazlarining soni bilan ham o'lchash mumkin.

Hozirgi zamon o'zgarmas tok mashinalarida seksiya kengligi Y_1 ni qutb bo'linmasi τ dan bir oz kichikroq, ya'ni amalda $Y_1 = 0,8 \tau$ qilib olinadi. Bunday seksiyaning qadami qisqartirilgan seksiya deyiladi. Seksiya qadamini bunday qisqartirish bilan unga ta'sir etuvchi asosiy magnit oqimning kamayishi sezilarli bo'lmay, uning pazdan tashqariga joylashgan qismiga sarflanadigan rangli metall birmuncha kamaytiriladi. Mashinaning asosiy qutblariga o'rnatiladigan qo'zg'atuvchi chulg'amning tuzilishi oddiy elektromagnit chulg'amlarniki singaridir. Ammo yakor chulg'ami maxsus sxemalar asosida tuziladi.

Hozirgi zamon o'zgarmas tok mashinalari yakorida sirtmoqsimon oddiy, sirtmoqsimon murakkab, to'liqsimon oddiy, to'liqsimon murakkab va aralash sxemali chulg'amlarni uchratish mumkin. Bu chulg'amlar amalda ikki va ko'p qatlamli qilib tayyorlanadi.

3.2. Sirtmoqsimon oddiy chulg'am

Boshi va oxiri yonma-yon joylashgan kollektor plastinkalariga ulanadigan seksiyalardan tuzilgan chulg'am sirtmoqqa o'xshashligi sababli u sirtmoqsimon oddiy chulg'am deyiladi (3.2-rasm). Sirtmoqsimon chulg'am umuman bir, ikki va ko'p qatlamli bo'lishi mumkin.

Yakor paziga birorta seksiyaning birgina aktiv tomonini joylashtirish bilan tuzilgan chulg'am bir qatlamli chulg'am deyiladi. Bunday chulg'amda $Z = 2S$ va har bir kollektor plastinkasiga bir seksiyaning boshi, ikkinchisining oxiri ulangani uchun $S = K$ bo'ladi, bunda Z — yakor o'zagidagi pazlar soni, S — yakor chulg'ami seksiyalarining soni, K — kollektor plastinkalarining soni.

Bir qatlamli sirtmoqsimon oddiy chulg'amni quyidagi formulalar asosida hisoblash mumkin:

$$Y = Y_1 - Y_2, \quad (3.2)$$

$$Y_k = 1, \quad (3.3)$$

$$Y = 2 \quad Y_k = 2, \quad (3.4)$$

$$Y_1 = \frac{Z+b}{2p} \quad (3.5)$$

bunda b — seksiyaning kengligi, ya'ni Y_1 ni butun songa aylantiruvchi eng kichik son;

$2p$ — qutblar soni.

Chulg'am sxemasini tuzish prinsipi quyidagi oddiy masalada ko'rsatilgan.

3.1-masala. To'rt qutbli o'zgarmas tok mashinasi uchun olti seksiyadan iborat bo'lgan yakor chulg'ami sxemasini tuzing.

Berilgan: $2p = 4$; $S = 6$.

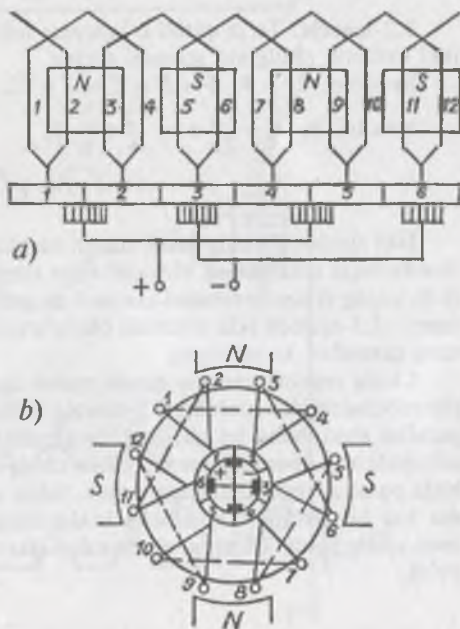
Yechish. Bir qatlamli chulg'am uchun

$$Y_k = 1, Y = 2, Y_k = 2, K = S = 6 \text{ va } Z = 2 \cdot S = 2 \cdot 6 = 12.$$

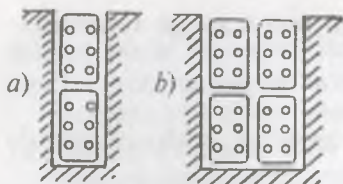
Demak,

$$Y_1 = \frac{Z+b}{2p} = \frac{12+0}{4} = 3.$$

Chulg'am quyidagi tartibda tuziladi: kollektor plastinkalari va yakor pazlari muntazam o'sib borish tartibida raqamlanib, so'ngra biror seksiya boshini 1-raqamli kollektor plastinkasiga ulanadi. Bu seksiyaning birinchi aktiv tomonini 1-raqamli pazga joylashtiriladi. Seksiyaning ikkinchi aktiv tomoni joylashadigan paz nomerini aniqlash uchun uning birinchi tomoni joylashgan paz raqamiga y_1 ni qo'shish lozim. Demak, seksiya ikkinchi aktiv tomonini $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, ya'ni 4-raqamli pazga joylanadi. Seksiya oxiri esa 2-raqamli kollektor plastinkasiga ulanadi. Navbatdagi seksiyaning boshi ham 2-raqamli kollektor plastinkasiga ulanishi lozim. Bu seksiyaning birinchi aktiv tomoni joylashadigan paz raqamini aniqlash uchun ilgari seksiya birinchi aktiv tomoni joylashgan paz raqamiga y ni qo'shish lozim. Demak, seksiya ikkinchi aktiv tomonini $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, ya'ni 4-raqamli pazga joylanadi. Seksiya oxiri esa 2-raqamli kollektor plastinkasiga ulanishi lozim. Bu seksiyaning birinchi aktiv tomoni joylashadigan paz nomerini aniqlash uchun ilgari seksiya birinchi aktiv tomoni joylashgan paz raqamiga y ni qo'shish lozim. Demak, ikkinchi seksiyaning birinchi aktiv tomonini $1 + y = 1 + 2 = 3$, ya'ni 3-raqamli pazga joylanadi. Shu prinsipda yakor



3.3-rasm. Yakorga joylashtirilgan sirtmoqsimon chulg'amning: a — yoyilgan va b — radial sxemalari.



3.4-rasm. a — bitta,
b — ikkita elementar pazga
ega bo'lgan haqiqiy pazlar.

lashgan bitta haqiqiy paz elementar paz deb ataladi. Haqiqiy pazga ikkitadan ortiq, masalan, to'rtta, oltita aktiv tomonlarni ham joylashtiriladi (masalan, murakkab chulg'amlarda).

3.4-rasmda bitta va ikkita elementar pazlarga ega bo'lgan haqiqiy paz ko'rsatilgan.

Ikkita aktiv tomonli seksiyaga bitta elementar paz va bitta kollektor plastinkasi to'g'ri kelishi sababli ikki va ko'p qatlamli chulg'amlar uchun $S = K = Z_{el}$ bo'ladi, bunda Z_{el} — elementar pazlar soni.

Shunga binoan ikki qatlamli sirtmoqsimon oddiy chulg'am quyidagicha hisoblanadi, ya'ni

$$Y_k = 1; Y = Y_k = 1; Y_1 = \frac{Z_{el}}{2p} \pm b \text{ bo'ladi.}$$

3.2-masala. To'rt qutbli o'zgarmas tok mashinasi uchun 12 seksiyadan iborat ikki qatlamli chulg'am sxemasi tuzing.

Berilgan: $2p = 4; S = K = Z_{el} = Z = 12$.

$$\text{Yechish. } Y_1 = \frac{Z_{el}}{2p} \pm b = \frac{12}{4} \pm 0 = 3;$$

$$Y = Y_k = 1.$$

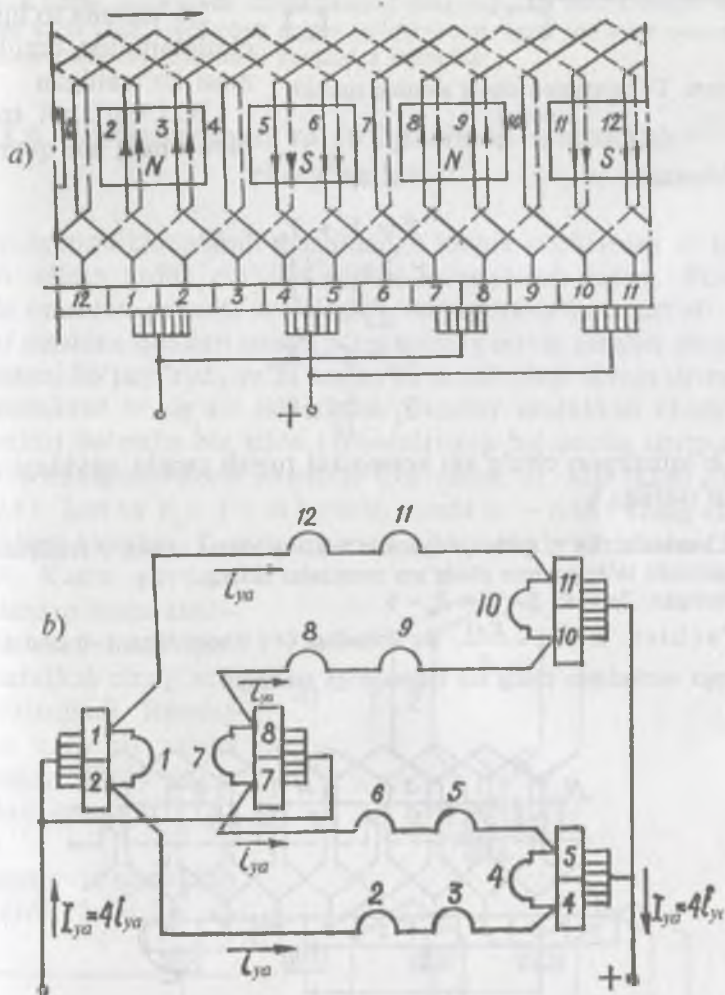
Ikki qatlamli chulg'amni tuzish tartibi ham bir qatlamliniki singari bo'ladi. Bunda faqat seksiyaning birinchi aktiv tomoni pazning yuqorigi qismiga joylashtirilib, uning ikkinchi tomoni esa boshqa pazning pastki qismiga joylashtiriladi (3.5-rasm). 3.5-rasmda ikki qatlamli chulg'amning yoyilgan va parallel shoxobchalarining sxemalari ko'rsatilgan.

Chulg'amning qarama-qarshi qutbli cho'tkalari orasidagi qismi uning parallel shoxobchalari deb ataladi. 3.2-masala uchun qurilgan chulg'am sxemasida to'rtta parallel shoxobcha bo'lib, har bir parallel shoxobcha ikkita ketma-ket ulangan seksiyalardan iborat. Demak, yakor chulg'amida hosil bo'ladigan e.yu.k. qiymati bitta parallel shoxobchadagi e.yu.k. bilan aniqlanib, chulg'amdan olinadigan tok esa har bir parallel shoxobcha toklarining yig'indisiga teng bo'ladi. Sirtmoqsimon oddiy chulg'am parallel shoxobchalarining soni mashina qutblari soniga teng, ya'ni

$$2a = 2p, \quad (3.6)$$

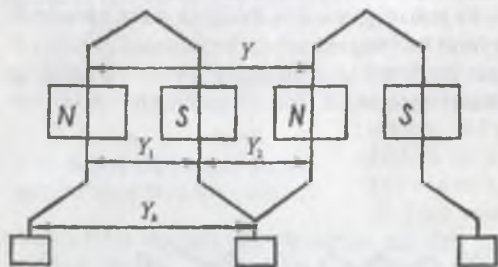
bunda a — parallel shoxobchalarining juft soni. Demak, qutblar soni $2p$ ni o'zgartirish bilan generatordan olinadigan kuchlanish yoki tok kuchi qiymatlarini o'zgarti-

rish mumkin. Chulg'am sxemasida kollektor plastinkalari ustiga o'rnatiladigan cho'tkalar o'rni magnit qutblari N va S lar o'rtasidan o'tgan chiziqlar bilan aniqlanadi (3.5-rasm, a , b). Bunda cho'tkaning bir kollektor plastinkasidan ikkinchisiga o'tishida geometrik neytral bo'yicha joylashgan seksiyalarigina qisqa tutashadi. Bu seksiyalarda e. yu. k va demak, tok hosil bo'lmagani uchun kommutatsiya jarayoni yaxshi o'tadi. 3.5-rasm, a da ko'rsatilgan chulg'am seksiyalaridagi e.yu.k. yo'nalishiga qarab musbat va manfiy qutbli cho'tkalar aniqlanadi. Bir xil qutbli cho'tkalar bir-biri bilan qisqa tutashtiriladi.



3.5-rasm. Ikki qatlamli chulg'amning:
 a — yoyilgan va b — parallel shoxobchalarining sxemalari.

3.3. To'liqinsimon oddiy chulg'am



3.6-rasm. To'liqinsimon chulg'amning tuzilish sxemasi.

Bunday chulg'amning sxemasi to'liqin shaklida bo'lgani uchun uni to'liqinsimon chulg'am deyiladi. Bu chulg'am ham ikki va ko'p qatlamli bo'lishi mumkin.

3.6-rasmda to'liqinsimon chulg'amning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan.

Ikki qatlamli to'liqinsimon chulg'am quyidagicha

hisoblanadi:

$$Y = Y_1 + Y_2, \quad (3.7)$$

$$Y_1 = Y_2 = \frac{k \pm 1}{p}, \quad (3.8)$$

$$2a = 2, \quad (3.9)$$

$$Z_{el} = S = K, \quad (3.10)$$

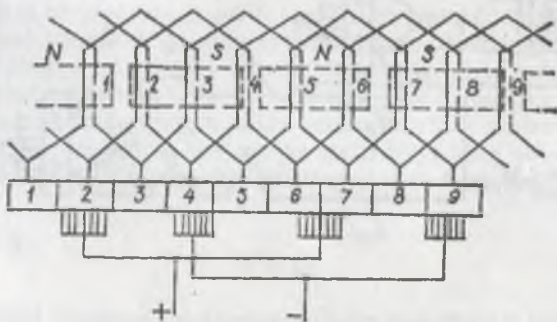
$$Y_1 = \frac{Z_{el}}{2p} \pm b. \quad (3.11)$$

To'liqinsimon chulg'am sxemasini tuzish tartibi quyidagi masalada ko'rsatilgan.

3.3-masala. To'rt qutbli o'zgarmas tok mashinasi uchun 9 seksiyadan iborat ikki qatlamli to'liqinsimon chulg'am sxemasini tuzing.

Berilgan: $2p = 4$; $S = K = Z_{el} = 9$.

Yechish. $K = K_k = \frac{K \pm 1}{p}$. Bu ifodadagi (+) ishora o'ng, (-) ishora esa chap tomonga suriladigan chulg'am sxemalariga taalluqli.



3.7-rasm. To'liqinsimon chulg'amning yoyilgan sxemasi.

$$Y = Y_k = \frac{K-1}{p} = \frac{9-1}{2} = \frac{8}{2} = 4,$$

$$Y_1 = \frac{Z_{st}}{2p} - b = \frac{9}{4} - \frac{1}{4} = 2,$$

$$Y_2 = Y - Y_1 = 4 - 2 = 2.$$

3.7-rasmda bu to'liqinsimon chulg'amning yoyilgan sxemasi ko'rsatilgan. To'liqinsimon chulg'amning sxemasi ham sirtmoqsimonniki singari tartibda tuziladi.

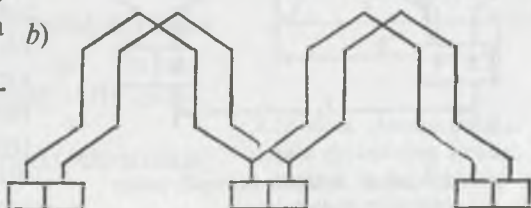
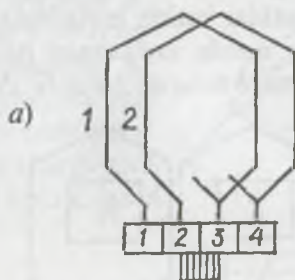
O'zgarmas tok mashinasidagi qutblar soni qancha bo'lishidan qat'iy nazar, to'liqinsimon oddiy chulg'amda ikkita parallel shoxobcha bo'ladi. Demak, elektr mashinadan katta kuchlanish olish uchun to'liqinsimon, katta tok olish uchun esa sirtmoqsimon chulg'am ishlatilishi maqsadga muvofiq.

3.4. Sirtmoqsimon va to'liqinsimon murakkab chulg'amlar

Sirtmoqsimon chulg'amli mashinadan kichik kuchlanish va katta tok olish uchun uning qutblari sonini ko'paytirish lozim. Buning natijasida mashina gabariti kattalashib, uning narxi ham ortadi.

Elektr mashina qutblari sonini o'zgartirmay uning parallel shoxobchalari sonini ko'paytirish, ya'ni undan katta tok olish uchun sirtmoqsimon murakkab chulg'am ishlatiladi. Bunday murakkab chulg'am yakor pazlari bo'yicha bir xilda joylashtirilgan bir necha sirtmoqsimon oddiy chulg'amlardan iboratdir (3.8-rasm, a). Murakkab chulg'amda $2a = 2pm$ va $Y_k = Y = m$ bo'ladi, bunda m — oddiy chulg'amlar soni. Seksiya kengligi Y_1 ning qiymati oddiy chulg'amnikidan farq qilmaydi. Katta quvvatli mashinalardan katta kuchlanish olish uchun to'liqinsimon murakkab chulg'amdan foydalaniladi. Bunday chulg'am ham bir necha to'liqinsimon oddiy chulg'amlardan iboratdir (3.8-rasm, b).

To'liqinsimon murakkab chulg'amda $2a = 2m$ va



3.8-rasm. Murakkab chulg'amlar:

a — sirtmoqsimon va
b — to'liqinsimon.

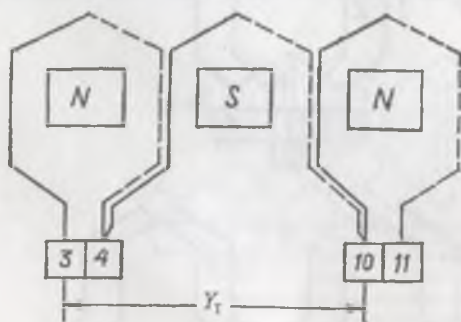
$Y_k = Y = \frac{K+m}{p}$ bo'ladi, bunda m — to'liqinsimon oddiy chulg'amlar soni. Murakkab chulg'amlar sxemasi ham oddiylarniki singari tartibda tuziladi.

3.5. Aralash sxemali chulg'amlar

Seksiyalarining aktiv tomonlari sirtmoqsimon va to'liqinsimon sxemalarda yakor pazlariga aralash joylashtirilib, seksiya uchlari esa umumiy kollektor plastinkasiga ulangan chulg'am aralash sxemali chulg'am deb ataladi (3.9-rasm).

Aralash sxemali chulg'am, asosan, katta quvvatli elektr mashinalarda qo'llaniladi. Bunday chulg'amda potentsiallarni tenglashtiruvchi ulanma vazifasini to'liqinsimon chulg'am seksiyasi bajaradi. Demak, aralash sxemali chulg'am uchun maxsus tenglashtiruvchi ulanmaga hojat yo'q. Bu uning afzalligi hisoblanadi. Tenglashtiruvchi ulanmaning o'zi nima? Har bir parallel shoxobchadagi e.yu.k. qiymatini bir xil qilish maqsadida zarur bo'lgan barcha shartlarni chulg'am tuzishda hisobga olinsa ham, lekin ko'pincha, shimoliy yoki janubiy qutblardagi magnit oqimlarning bir-biriga teng bo'lmashligi sababli sirtmoqsimon chulg'amda bunga erishib bo'lmaydi. Magnit oqimlarning bu tengsizligi magnit zanjirdagi turli yetishmovchiliklarga bog'liqdir. To'liqinsimon chulg'amning parallel shoxobchalaridagi seksiyalari hamma qutblar ostida bir xilda taqsimlanishi sababli ulardagi e.yu.k. qiymatiga magnit oqim tengsizligi aytarli ta'sir ko'rsatmaydi. Sirtmoqsimon chulg'amda esa har bir parallel shoxobchadagi seksiyalar faqat bir juft qutblar ostida joylashgani sababli magnit oqim turlicha bo'lgan qutblar ostida joylashgan parallel shoxobchalardagi e.yu.k. qiymati ham o'zaro teng bo'lmaydi. Potensiallar tengsizligi natijasida

chulg'am zanjirida tenglashtiruvchi tok hosil bo'ladi. Bu tok yuklama tokiga qo'shilib ba'zi cho'tkalarining ostida uchqunlanishini zo'raytirib yuborishi mumkin. Tenglashtiruvchi tokni tashqi yuklama zanjiriga chiqarmaslik, ya'ni uni cho'tkalardan o'tkazmaslik maqsadida bir xil potensialga ega bo'lgan chulg'am nuqtalari mis simlar bilan o'zaro qisqa tutashtiriladi. Bu



3.9-rasm. Aralash sxemali yakor chulg'ami.

simlardan tenglashtiruvchi toklar o'tgani uchun ularga tenglashtiruvchi ulanmalar deb nom berilgan. Bir xil potensialga ega chulg'am nuqtalari orasidagi masofa — potensial qadami quyidagi ifodadan aniqlanadi (3.9-rasm):

$$Y_r = \frac{K}{p}$$

Tenglashtiruvchi ulanmalar soni N_r esa quyidagicha aniqlanadi:

$$N_r = \frac{K}{a}$$

3.6. Yakor chulg'aming elektr yurituvchi kuchi

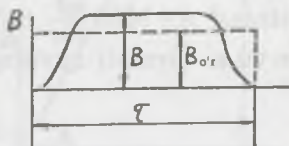
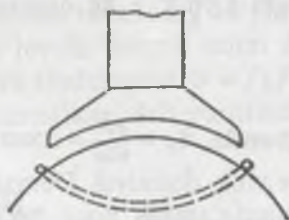
Elektromagnit induksiya qonuniga binoan, yakor chulg'amida hosil bo'ladigan e.yu.k. qiymati mashina qutblaridagi magnit oqimga, chulg'am parametrlariga va yakor chulg'aming magnit oqimi bilan kesilish chastotasiga bog'liq bo'ladi. Chulg'amdagi e.yu.k. ni aniqlash uchun dastavval, yuklamasiz ishlayotgan mashina yakorida hosil bo'ladigan e.yu.k. topiladi. Bunda yakor chulg'ami seksiyasining kengligi $Y_1 = \tau$ hamda cho'tkalarining geometrik neytral bo'yicha joylashgan seksiyalari ulanadigan kollektor plastinkalari ustiga o'rnatilgan deb faraz qilinadi. 3.10-rasmda asosiy qutblar ostidagi magnit induksiyaning taqsimlanish egri chizig'i ko'rsatilgan. Yakor chulg'aming har bir o'tkazgichida hosil bo'luvchi e.yu.k. o'rtacha qiymati $e_{o'r}$ ni aniqlash uchun magnit induksiya B ning o'rtacha qiymati $B_{o'r}$ ni belgilash lozim. Buning uchun 3.10-rasmda ko'rsatilgan B egri chizig'i balandligi $B_{o'r}$ bo'lgan to'g'ri chiziqlar bilan chegaralangan yuzalar o'zaro teng qilib olinishi shart. Demak, chulg'amning har bir o'tkazgichida quyidagi ifodadan aniqlanuvchi e.yu.k. hosil bo'ladi:

$$e_{o'r} = B_{o'r} l v, V,$$

bunda $B_{o'r}$ — magnit induksiyaning o'rtacha qiymati, T;

l — o'tkazgich uzunligining aktiv qismi, m;

v — o'tkazgichning harakat chastotasi, $\frac{m}{s}$.



3.10-rasm. Asosiy qutblar ostida (yakorning sirtida) magnit induksiyaning taqsimlanishi.

Ma'lumki, o'zgarmas tok mashinasining e.yu.k. qiymati yakor chulg'amidagi parallel shoxobchada hosil bo'luvchi e.yu.k. ga teng bo'ladi.

Demak, mashinada hosil bo'luvchi e.yu.k. ni aniqlash uchun dastavval parallel shoxobchaga tegishli o'tkazgichlar sonini belgilash zarur.

Yakor chulg'amidagi o'tkazgichlar sonini N , parallel shoxobchalar sonini $2a$ bilan belgilasak, har bir parallel shoxobchadagi o'tkazgichlar soni $\frac{N}{2a}$ bo'ladi. Shunga binoan, yakor chulg'amida hosil bo'luvchi e.yu.k. E_{ya} ning o'rtacha qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$E_{ya} = e_{o'r} \frac{N}{2a} = B_{o'r} l v \frac{N}{2a}, \quad V, \quad (3.12)$$

Mashina pasportida yakorning aylanish chastotasi $n \left[\frac{\text{ayl}}{\text{min}} \right]$ beriladi, shu sababli E_{ya} ning ifodasidagi chiziqli chastota v ni n orqali belgilash lozim, ya'ni $v = \frac{\pi D n}{60}$, ammo $\pi D = 2p\tau$ bo'lgani uchun $v = \frac{2p\tau n}{60}$ bo'ladi, v ning qiymatini (3.12) ifodaga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$E_{ya} = B_{o'r} l \frac{2p\tau n}{60} \frac{N}{2a},$$

bunda $B_{o'r} l \tau = B_{o'r} \cdot S = \Phi$ — bir juft qutblar ostidan yakorning sathi $S = \tau l$ ga o'tadigan magnit oqim. Shunga binoan yakorda hosil bo'luvchi e.yu.k. ning qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$E_{ya} = \frac{pN}{60a} n\Phi = k_E n\Phi, \quad (3.13)$$

bunda $k_E = \frac{pN}{60a} = \text{const}$ — mashina parametrlariga bog'liq bo'lgan e.yu.k. doimiysi. Demak, o'zgarmas chastota n bilan aylanadigan yakor chulg'amida hosil bo'lgan e.yu.k. ning qiymati magnit oqim Φ ga to'g'ri proporsional bo'ladi. Misol uchun qutblaridagi magnit oqim $\Phi = 0,1$ Vb, o'tkazgichlari soni $N=360$, $2p = 2a = 4$ va aylanish chastotasi $n = 1000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lgan o'zgarmas tok mashinasida hosil bo'lgan e.yu.k. qiymati quyidagicha aniqlanadi:

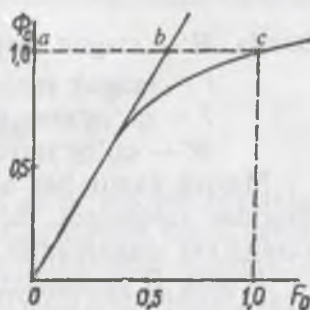
$$E_{ya} = \frac{pNn\Phi}{60a} = \frac{2 \cdot 360}{60 \cdot 2} 1000 \cdot 0,1 = 600 \text{ V}.$$

IV BOB. O'ZGARMAS TOK MASHINASINING MAGNIT ZANJIRI, YAKOR REAKSIYASI VA KOMMUTATSIYASI

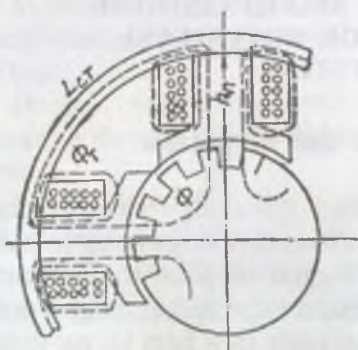
4.1. Magnit zanjiri va uni hisoblash

Mashina qutblariga o'rnatilgan qo'zg'atuvchi chulg'amga o'zgarmas tok berilsa, qutbning po'lat o'zagidagi elementar magnitchalar chulg'amdagi tokdan hosil bo'lgan tashqi magnit maydon tomon burila boshlaydi. Chulg'amdagi tok qiymati ortishi bilan tashqi magnit maydon tomon buriluvchi elementar magnitchalar soni ham ko'payib boradi. Po'lat o'zakdagi elementar magnitchalar qo'zg'atilishi bilan umumiy magnit maydon keskin ravishda zo'raya boradi. Shunga binoan, po'lat o'zakdagi elementar magnitchalarni qo'zg'atish uchun chulg'amga beriladigan tok qo'zg'atish toki deb, chulg'am esa qo'zg'atuvchi chulg'am deb ataladi. Asta-sekin ko'paytirilayotgan qo'zg'atish tokining biror qiymatidan boshlab, tashqi maydon tomon buriladigan o'zakdagi magnitchalarning soni kamayib boradi va tokning boshqa biror qiymatida atrofdagi magnit maydonga qo'shiluvchi o'zak magnitchalarining soni tugaydi. Shunga binoan, po'lat o'zakning elementar magnitchalarining barchasi tashqi magnit maydon tomon burilib bo'lgan holati uning to'yingan holati deb, bu holatni olish uchun kerak bo'lgan qo'zg'atish tokining qiymati to'yinish toki deb ataladi. O'zak magnitchalarining tashqi magnit maydonga proporsional ravishda ortib boruvchi holati o'zakning to'yinmagan holati deb ataladi. Qutblarda hosil bo'luvchi magnit oqim Φ ning magnit yurituvchi kuch F ga bog'lanishini ifodalovchi $\Phi = f(F)$ egri chizig'i mashinaning magnitlanish xarakteristikasi deb yuritiladi (4.1-rasm).

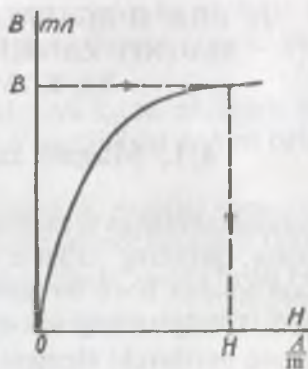
Magnit yurituvchi kuchning miqdori amper-o'ramlar soni bilan o'lchanib, o'zgarmas tok mashinasi uchun uning qiymati qo'zg'atuvchi chulg'amdagi tokning chulg'am o'ramlari soniga ko'paytmasidan aniqlanadi (agar $F = 100$ amper-o'ram bo'lsa, u holda 100 o'ramli chulg'amdan 1 amper tokni yoki bir o'ramli chulg'amdan 100 amper tokni o'tkazish mumkin). O'zgarmas tok mashinasining magnit zanjiri stanina, qutb o'zagi, qutb o'zagi bilan yakor o'rtasidagi havo oralig'i, yakor o'zagining tishli qismi va yakor o'zagidan iborat



4.1-rasm. O'zgarmas tok mashinasining magnitlanish xarakteristikasi.



4.2-rasm. O'zgarmas tok mashinasining magnit zanjiri.



4.3-rasm. Ferromagnit materiallarning magnitlanish egri chizig'i.

bo'lib, bular turli magnit qarshiliklarga egadir. Bular orqali qutblarda hosil qilingan magnit oqimning asosiy qismi Φ o'tishi kerak. Yakor chulg'amda hosil qilinishi lozim bo'lgan e.yu.k. E_{ya} ni olish uchun $\Phi = \frac{E_{ya}}{k_E n}$ magnit oqim zarur bo'ladi. Bu magnit oqimni magnit zanjirlardan o'tkazish uchun zarur bo'lgan magnit yurituvchi kuch qiymati quyidagi prinsipda hisoblanadi. Bunda 4.2-rasmda ko'rsatilgan o'zgarmas tok mashinasining magnit zanjiri, zanjir qismlarining ko'ndalang kesimi va ularga tavsiya qilingan magnit induksiya qiymatlari berilgan bo'ladi.

Magnit zanjirning har bir qismi uchun magnit yurituvchi kuch qiymati to'la tok qonunini ifodalovchi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Sigma HI = \Sigma IW = F,$$

bunda H — magnit maydonning kuchlanganligi, $\frac{A}{m}$;

l — magnit zanjir qismining uzunligi yoki balandligi, m;

I — qo'zg'atuvchi chulg'amdagi tok, A;

W — qo'zg'atuvchi chulg'amning o'ramlari soni.

Magnit zanjir har bir qismining uzunligi yoki balandligi 4.2-rasmdan aniqlanadi. Bu qismlardagi magnit maydonning kuchlanganligi esa magnitlanish egri chizig'i $B = f(H)$ dan topiladi.

B ning H ga bog'lanishini ifodalovchi egri chiziq magnitlanish egri chizig'i deb ataladi. Elektr mashinalar uchun ishlatiladigan po'lat xillari uchun magnitlanish egri chiziqlari ma'lumotnomalarda keltiriladi. 4.3-rasmda magnit zanjirning har bir qismiga tavsiya etilgan B lar bilan magnitlanish egri chizig'idan H larni topish ko'rsatilgan.

Shunday qilib, magnit zanjir har bir qismining uzunligi l ni H ga ko'paytirib magnit yurituvchi kuch $F = Hl$ aniqlanadi. Magnit zanjirdagi havo bo'shlig'i uchun $F_b = 2 \frac{B_b}{\mu_0} \delta k_b$ bo'ladi, bunda F_b — havo bo'shlig'idagi magnit yurituvchi kuch; 2 — magnit oqimning magnit zanjir bo'yicha ikki marta havo bo'shlig'idan o'tgani uchun olingan koeffitsiyent; $B_b = (0,5 \div 1,1)$ — havo bo'shlig'iga tavsiya etiluvchi magnit induksiyaning qiymati, T; $\mu_0 = 1,25$ — havo bo'shlig'i uchun magnit singdiruvchanlikning qiymati; δ — havo bo'shlig'ining uzunligi, m; $k_b = 1,1 \div 1,3$ — yakor o'zagi tishli bo'lgani uchun havo bo'shlig'i kattalashganligini ifodalovchi koeffitsiyent.

Shunga o'xshash, qutb o'zagi uchun magnit yurituvchi kuch $F_q = 2H_q h_q$ bo'lib, bunda H_q — qutb magnit maydonining kuchlanganligi; uning qiymatini qutb uchun tavsiya qilingan $B_q = (1,2 \div 1,6)$ T ga binoan magnitlanish egri chizig'idan topiladi; h_q — qutb o'zagining balandligi. Stanina uchun $F_{st} = H_{st} \cdot L_{st}$. Bunda ham, H_{st} ning qiymati stanina uchun tavsiya qilingan $B_{st} = (1 \div 1,4)$ T ga binoan topiladi. Yakor o'zagining tishli qismi uchun $F_{tish} = 2H_{tish} \cdot h_{tish}$. Bunda H_{tish} qiymati yakorning tishli qismi uchun tavsiya qilingan $B_{tish} = (1,8 \div 2,3)$ T ga binoan topiladi. Yakor o'zagi uchun $B_{ya} = H_{ya} L_{ya}$. Bunda H_{ya} qiymati yakor o'zagi uchun tavsiya qilingan $B_{ya} = (0,8 \div 1,3)$ T ga binoan topiladi.

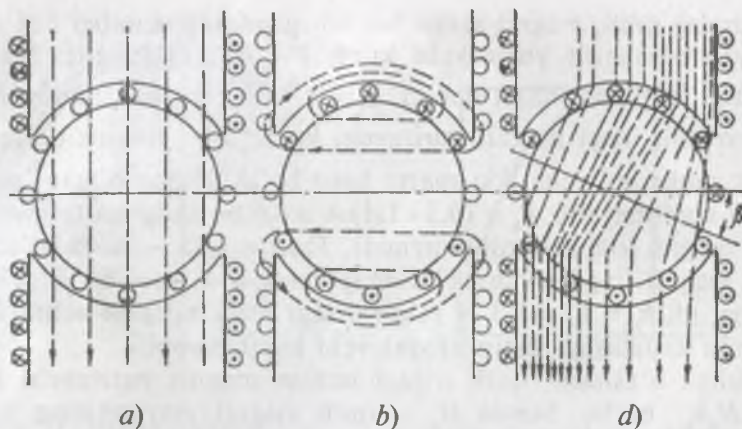
Shunday qilib, mashinaning magnit zanjiridan bir juft qutbga tegishli magnit oqimni o'tkazish uchun zarur bo'lgan magnit yurituvchi kuchning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$F = F_b + F_q + F_{st} + F_{tish} + F_{ya}.$$

Juft qutblar soni p bo'lgan o'zgarmas tok mashinasidagi magnit yurituvchi kuchning to'la qiymati $F_{to'la} = F \cdot p$ bo'ladi. Magnit yurituvchi kuch hisoblanganidan so'ng mashinaning magnitlanish xarakteristikasi $\Phi = f(F)$ ni qurish mumkin.

4.2. Yakor reaksiyasi

O'zgarmas tok mashinasining yuklamasi, ya'ni salt ish rejimida uning qutblaridagi magnit maydon faqat qo'zg'atuvchi chulg'amga berilgan tokdan hosil bo'ladi. Yuklama bilan ishlayotgan mashinada esa yakor chulg'amining tokli o'tkazgichlari atrofida ham magnit maydon paydo bo'lib, bu maydon qutblardagi asosiy magnit maydonga ta'sir qilishi mumkin. Yakor magnit maydonining qutblardagi asosiy magnit maydonga ta'siri yakor reaksiyasi deb ataladi.



4.4-rasm. Yakor reaksiyasi.

4.4-rasmda *a* — salt ish rejimida mashina qutblarida hosil bo'lgan asosiy magnet maydon; *b* — yakor chulg'aming tokli o'tkazgichlari atrofida hosil bo'lgan magnet maydon va *v* — mashina qutblaridagi asosiy magnet maydonga yakor magnet maydonning ta'siri natijasida hosil bo'lgan umumiy magnet maydon ko'rsatilgan.

Mashina qutblarining bir chekkasida yakor magnet maydoni asosiy magnet maydon tomon yo'nalib, umumiy maydonni zo'raytirsa, uning boshqa chekkasida esa teskari yo'nalib, uni zaiflashtiradi. Qutb o'zagining to'yinib qolishi sababli uning bir chekkasidagi magnet maydonning zo'rayishiga nisbatan ikkinchi chekkasida zaiflashishi ko'proq bo'ladi. Demak, yakor reaksiyasi natijasida mashinaning umumiy magnet maydoni bir oz kamayadi. Bundan tashqari, umumiy magnet maydonning o'qi qutb o'qlariga nisbatan biror β burchakka burilib qoladi. Bunda qutb magnet maydonining zo'raygan tomoni ostidagi chulg'am seksiyalarida kollektor plastinkalari orasidagi izolatsiyaga xavfli bo'lgan katta e.yu.k. hosil bo'lishi mumkin. Yakor markazidan umumiy magnet maydon o'qiga perpendikular o'tkazilsa, magnet induksiya nolga teng bo'lgan va geometrik neytralga nisbatan β burchagiga burilgan neytral chiziq olinadi. Bu neytral chiziq fizik neytral deb ataladi. Fizik neytralning holati generatorda geometrik neytralga nisbatan β burchagiga yakor aylanishi tomon burilib olinsa, motorda esa yakor aylanishining teskari tomoniga burilib olinadi. Mashinaning salt ish rejimida fizik neytral geometrik neytralga mos, ya'ni $\beta = 0$ bo'lsa, yuklamaning ko'payishi bilan esa fizik neytralning geometrik neytralga nisbatan burilish burchagi β ning qiymati ortib boradi. Shunga binoan, yuklama o'zgarishi bilan cho'tkaning holati

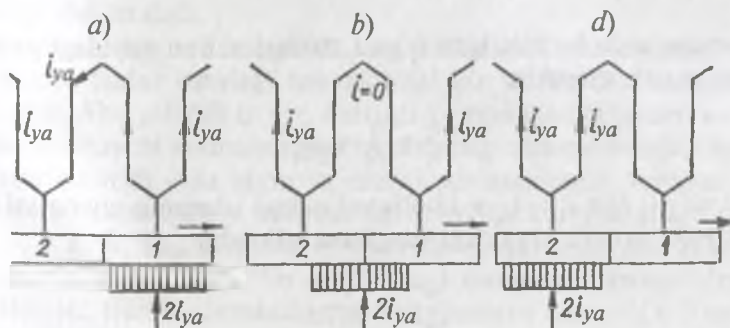
generatorida yakor aylanishi tomon, motorlarda esa teskari tomonga turli β burchaklariga burilishi lozim.

Amalda, cho'tkaning uchqunlanish eng kam bo'lgandagi holati uning fizik neytralda bo'lgan holati hisoblanadi.

4.3. O'zgarmas tok mashinasining kommutatsiyasi

O'zgarmas tezlik bilan aylanayotgan yakordagi kollektor plastinkalari qo'zg'almas holatdagi cho'tkadan sirg'alib o'tib, u bilan ketma-ket kontaktda bo'lib turadi.

4.5-rasmda cho'tka bilan kollektorning: a — faqat birinchi plastinkasi; b — birinchi va ikkinchi plastinkasi va d — faqat ikkinchi plastinkasi kontaktda bo'lgan, ya'ni chulg'am seksiyasining kommutatsiya boshlanishidagi, o'rtasidagi va tugallanganidagi holatlari ko'rsatilgan. 4.5-rasm, b ga binoan yakor chulg'amining birinchi va ikkinchi raqamli kollektor plastinkalari bilan tutashgan seksiyasi, bir daqiqa bo'lsa ham, cho'tka orqali qisqa tutashib qoladi. Shu bilan birga, cho'tkaning 4.5-rasm, a dagi holatida kollektorning birinchi va ikkinchi plastinkalariga tutashgan seksiya yakor chulg'amining biror parallel shoxobchasiga tegishli bo'ladi, 4.5-rasm, d dagi holatida esa chulg'amning boshqa parallel shoxobchasiga tegishli bo'lib qoladi. Cho'tkaning kollektor bir plastinkasidan ikkinchisiga o'tishi natijasida seksiyaning biror parallel shoxobchadan ikkinchisiga o'tib qolishi va bu seksiyaning qisqa tutashib qolishidagi jarayonlar birgalikda kommutatsiya deb ataladi. Dastavval, qisqa tutashgan seksiyaning magnit induksiya nol, ya'ni $B = 0$ bo'lgan pazlarga joylashgan deb faraz qilib, kommutatsiya jarayoni tekshiriladi. Bunda 4.5-rasm, a ga binoan, parallel shoxobchadagi tok i_{ya} deb olinsa, kollektorning birinchi



4.5-rasm. To'g'ri chiziqli kommutatsiya davrida qisqa tutashgan seksiyadagi tokning o'zgarishi.

plastinkasiga ikkita parallel shoxobchani uchlarini ulangani sababli cho'tkaga keladigan tokning qiymati $2i_{ya}$ bo'ladi. Cho'tkaning 4.5-rasm, b dagi holatiga binoan qisqa tutashib qolgan seksiyada $B = 0$ bo'lgani uchun unda e.yu.k. va, demak, tok ham hosil bo'lmaydi.

Cho'tkaning 4.5-rasm, v dagi holatida esa 1 va 2-raqamli kollektor plastinkalari bilan ulangan seksiya boshqa parallel shoxobchaga tegishli bo'lib qolgani sababli undagi tok teskari yo'nalishga ega. Demak, kommutatsiya davrida qisqa tutashgan seksiyadagi tokning yo'nalishi va qiymati $+i_{ya}$ dan $-i_{ya}$ gacha o'zgaradi. Qisqa tutashgan seksiyada tokning keskin o'zgarishi sababli unda o'zinduksiya yoki reaktiv deb ataluvchi e.yu.k. e_r hosil bo'ladi. Bu reaktiv e.yu.k. Lens prinsipiga binoan, qisqa tutashgan seksiyadagi tokning o'zgarishiga teskari ta'sir ko'rsatadi. Qisqa tutashgan chulg'amga reaktiv e.yu.k. dan tashqari kommutatsiyalovchi e.yu.k. e_k ham ta'sir etishi mumkin. Qutblardagi asosiy magnit oqimning qisqa tutashgan seksiya bilan kesilishi natijasida hosil bo'lgan e.yu.k. kommutatsiyalovchi e.yu.k. deb ataladi. Kommutatsiya davrida qisqa tutashgan seksiyadagi tok i ning o'zgarish qonunini aniqlash maqsadida dastavval uning yo'nalishini 4.6-rasm, a dagi singari bo'ladi deb, qisqa tutashgan seksiyaga ta'sir etuvchi e.yu.k. lar yig'indisini nolga teng, ya'ni $e_k + e_r = 0$ va cho'tkaning kengligi kollektor plastinkasining kengligiga teng bo'ladi deb qabul qilinadi. Agar cho'tka bilan kollektorning birinchi plastinkasi orasidagi o'tkinchi qarshilikni r_1 ikkinchisi orasidagini r_2 deb olinsa, u holda bu qarshiliklar bilan kontakt yuzalari F_1 va F_2 lar quyidagi proporsiyaga ega bo'ladi, ya'ni $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{F_2}{F_1}$. 4.6-rasm, a ga binoan F_1 ning qiymati kommutatsiya boshlanganidan so'ng o'tgan vaqt t ga proporsional, ya'ni $F_1 \equiv t$ deb qabul qilinsa, F_2 ning qiymati $F_2 \equiv T - t$ bo'ladi, bunda T — kommutatsiya davri.

Cho'tkaning kollektor bir plastinkasidan ikkinchisiga o'tish uchun ketgan vaqt kommutatsiya davri deb ataladi va T harfi bilan belgilanadi.

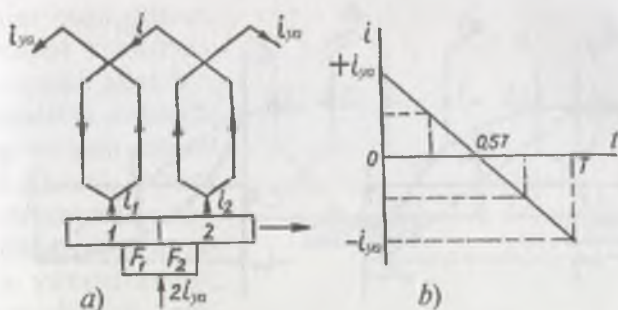
4.6-rasm, a da ko'rsatilgan i_1 va i_2 toklari uchun quyidagi proporsiyalarni tuzish mumkin:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{t}{T-t}, \quad (4.1)$$

bunda $i_1 = i_{ya} - i$ va $i_2 = i_{ya} + i$ bo'lgani uchun ularning qiymatini 4.1-proporsiyaga qo'yib, quyidagi tenglama olinadi:

$$\frac{i_{ya} - i}{i_{ya} + i} = \frac{t}{T - t}.$$

Bu tenglamani i ga nisbatan yechib, kommutatsiya davrida qisqa tutashgan seksiyadagi tokning o'zgarish qonuni quyidagicha aniqlanadi:



4.6-rasm. To'g'ri chiziqli kommutatsiya:

a — kommutatsiya davrida qisqa tutashgan seksiyadagi tokning yo'nalishi;
b — uning o'zgarish grafigi.

$$i = I_{ya} \frac{T-2t}{T} [A]. \quad (4.2)$$

Demak, bu tenglamaga binoan, kommutatsiya davrida qisqa tutashgan seksiyadagi tok i to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarar ekan.

4.6-rasm, b da $i = f(t)$ grafigi ko'rsatilgan. Bu grafikni qurish uchun (4.2) tenglamadagi t ning o'rniga 1-jadvalda keltirilgan turli qiymatlarini qo'yib, unga tegishli toklar aniqlanadi.

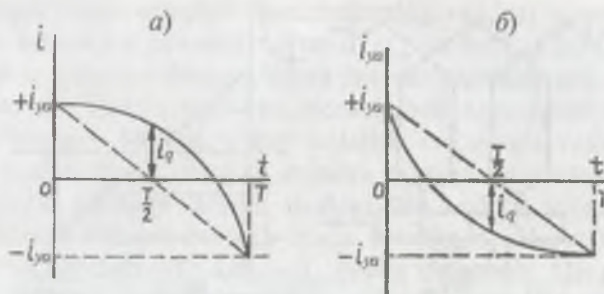
1-jadval

t	0	$0,25 T$	$0,5 T$	$0,75 T$	T
i	I_{ya}	$0,5 I_{ya}$	0	$-0,5 I_{ya}$	$-I_{ya}$

Kommutatsiya davrida qisqa tutashgan seksiyadagi tok to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgargani uchun uni to'g'ri chiziqli kommutatsiya deb ataladi.

Demak, $e_k + e_r = 0$ bo'lganda to'g'ri chiziqli kommutatsiya olinadi. Bunda cho'tkalar ostidagi tok zichligi bir xil bo'lib, uchqunlanish bo'lmaydi. Shu sababli to'g'ri chiziqli kommutatsiya yaxshi va yengil vaziyatda o'tuvchi kommutatsiya hisoblanadi. Ammo bunday kommutatsiyaga erishish juda qiyin va murakkab masaladir. Amalda $e_k + e_r$ nolga teng bo'lmaydi va natijada egri chiziqli kommutatsiya olinadi. Agar $e_k < e_r$ bo'lsa, u holda e_r ta'sirida qisqa tutashgan seksiyadan qo'shimcha tok i_q o'tib, bu seksiyadagi umumiy tokning o'zgarishi sekinlashadi, bunda sekinlashgan kommutatsiya olinadi (4.7-rasm, a).

Qo'shimcha tokning sodir bo'lishi bilan sekinlashgan kommutatsiyada cho'tka ostining o'ng tomonida, tezlashgan kommutatsiyada esa cho'tka ostining chap tomonida uchqunlanish zo'rayadi. Egri



4.7-rasm. Egri chiziqli kommutatsiya:
a — sekinlashgan, b — tezlashgan kommutatsiyalar.

chiziqli kommutatsiyalarni yaxshilash uchun quyidagi ifodadan aniqlanuvchi qo'shimcha tok qiymatini kamaytirish zarur:

$$i_q = \frac{e_k + e_r}{R_1 + R_2} = \frac{\Sigma e}{\Sigma R}.$$

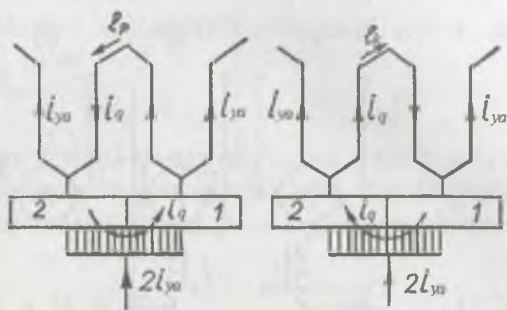
Demak, qo'shimcha tok qiymatini kamaytirish uchun Σe ni nolgacha kamaytirish yoki katta qarshilikli cho'tkalardan foydalanish lozim. Katta qarshilikli cho'tkalardan kichik quvvatli mashinalarda foydalanish mumkin, katta quvvatlilarda esa cho'tkaning o'ta qizishi sababli, foydalanish mumkin emas. Kommutatsiyani yaxshilash uchun ko'pincha Σe ning qiymatini nolgacha kamaytirish usulidan foydalaniladi.

Qisqa tutashgan seksiyaga ta'sir etuvchi $\Sigma e = e_k + e_r$ qiymatini nolgacha kamaytirish uchun kommutatsiya zonasida shunday magnit maydon yaratish kerakki, undan hosil bo'lgan e_k ning qiymati e_r ga teng, yo'nalishi esa unga teskari bo'lsin. Buning uchun hozirgi zamon mashinalarida qo'shimcha qutb qo'llaniladi. Qo'shimcha qutb o'zagining ko'ndalang kesimi asosiy qutbnikiga nisbatan ancha kichik bo'ladi. Bu qutb o'zagiga o'rnatilgan chulg'am yakor chulg'amiga ketma-ket ulanadi. Bunda qo'shimcha qutbning shimoliy va janubiy tomonlari asosiy qutbnikiga nisbatan quyidagi, ya'ni generatorlarda $N - s - S - n$, motorlarda esa $N - n - S - s$ tartibda joylashishi kerak.

Qo'shimcha qutb chulg'amidan yuklama tokining o'tishi sababli unda hosil bo'lgan magnit maydonning qiymati yakor tokiga proporsional ravishda o'zgarib turadi. Shunga binoan, qo'shimcha qutbda hosil bo'ladigan magnit maydon yakorda hosil bo'ladigan magnit maydonga teskari yo'naltirilib dastavval yakor reaksiyasining ta'sirini yo'qotish imkonini olinadi. Agar qo'shimcha qutbda $\Phi_q = \Phi_{ya} + \Phi_k$ qiymatli

magnit oqim hosil qilinsa, u holda yakor reaksiyasi ta'sirini yo'qotish bilan birga kommutatsiya zonasida Φ ga teng bo'lgan magnit oqim hosil qilinadi. Buning natijasida Σe qiymatini nolgacha kamaytirilib, kommutatsiya yaxshilanadi, ya'ni to'g'ri chiziqli kommutatsiya hosil qilinadi. Qo'shimcha qutbga ega bo'lgan mashinalarda yuklama o'zgarib turishiga qaramay cho'tkaning holati o'zgartirilmaydi.

Katta quvvatli mashinalarda yakor reaksiyasi ta'sirini yo'qotish uchun kompensatsiyalovchi chulg'am qo'llaniladi. Bu chulg'am asosiy qutb o'zaklariga o'rnatilib, yakor chulg'amiga ketma-ket ulanadi. Kompensatsiyalovchi chulg'amdanda yuklama toki o'tganda unda yakor tokiga proporsional bo'lgan magnit maydon hosil qilinadi. Bu chulg'amdagi magnit maydonni yakor magnit maydoniga teskari yo'naltirib, yakor reaksiyasi ta'sirini turli yuklamalarda ham avtomatik ravishda yo'qotish imkoni olinadi. Ammo kompensatsiyalovchi chulg'amga ega mashinalarning konstruksiyasi birmuncha murakkab bo'lgani uchun ular qimmatga tushadi.



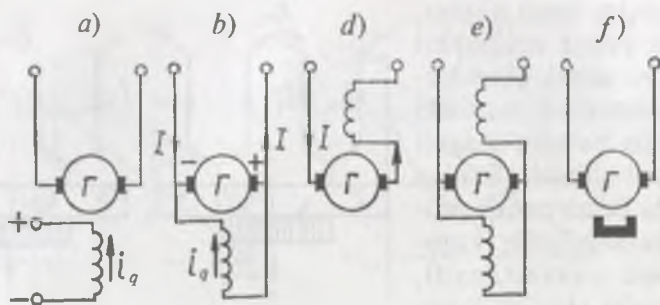
4.8-rasm. Generatorning qo'shimcha qutblaridagi N va S larning asosiy qutbnikiga nisbatan joylashish tartibi.

V BOB. O'ZGARMAS TOK GENERATORLARI

5.1. Umumiy tushunchalar

Elektr mashinasining ishlashi uchun zarur bo'lgan magnit maydon hosil qilish usuliga ko'ra o'zgarmas tok mashinalari elektromagnit va doimiy magnit bilan qo'zg'atiluvchi mashinalarga bo'linadi. Doimiy magnit bilan qo'zg'atiluvchi mashinalar magnit o-elektr mashina deb ham ataladi. Bunday mashinalar juda kam uchraydi, ular asosan taxogenerator va shu singari maxsus mashinalar sifatida-gina ishlatiladi.

Elektromagnit bilan qo'zg'atiluvchi mashinalar qo'zg'atuvchi chulg'amining ulanish sxemasiga ko'ra mustaqil va o'z-o'zidan qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorlariga bo'linadi. Agar generatorning qo'zg'atuvchi chulg'ami tashqi tok manbaidan ta'minlansa mustaqil, o'z yakoridan ta'minlanganda esa o'z-o'zidan qo'zg'atishli generator



5.1-rasm. Generatorlarning prinsipial sxemasi.

olinadi. O'z-o'zidan qo'zg'atishli generatorlar o'z navbatida parallel (shunt), ketma-ket (seriyes) va aralash (kompaund) qo'zg'atishli generatorlarga bo'linadi. Parallel qo'zg'atishli generatorlarda qo'zg'atuvchi chulg'am yakor chulg'amiga parallel ulansa, ketma-ketlikda ketma-ket ulanadi, aralashlikda esa qo'zg'atuvchi chulg'am ikkita bo'lib, ularning biri yakor chulg'amiga parallel, ikkinchisi ketma-ket ulanadi. 5.1-rasmda: *a* — mustaqil; *b* — parallel; *d* — ketma-ket; *e* — aralash va *f* — o'zgarmas magnit bilan qo'zg'atishli generatorlar ulanishining prinsipial sxemalari ko'rsatilgan. 5.1-rasm, *d* dagi generator sxemasida qo'zg'atuvchi chulg'am bo'lmaganligi sababli uning o'rnida o'zgarmas magnit belgisi ko'rsatilgan.

Generatorning ishlash jarayonida uning yakor chulg'amida $E_{ya} = k_E n \Phi$ ga teng bo'lgan e.yu.k. hosil bo'ladi. E.yu.k. hosil bo'lgan yakor chulg'amiga yuklama sifatida biror elektr iste'molchisi ulansa, u holda yakor zanjiridan yuklama toki I_{ya} o'tadi.

Bunda yakor zanjiri uchun e.yu.k. larning quyidagi muvozanat tenglamasini tuzish mumkin:

$$E_{ya} = I_{ya} R_{yuk} + I_y \Sigma R = U + I_y \Sigma R, \quad (5.1)$$

bunda $U = I_{ya} R_{yuk}$ — generator qismalaridagi kuchlanish (yuklama kuchlanishning tushuvi):

R_{yuk} — yuklama qarshiligi:

$I_y \Sigma R = I_{ya} (R_{ya} + R_q + R_k + R_s + R_{ch})$ — tegishli yakor, qo'shimcha qutb, kompensatsiyalovchi va ketma-ket chulg'am hamda cho'tka qarshiliklarida kuchlanishning tushuvi.

Agar yakor chulg'amiga yuklama ulanmasa, u holda $I_{ya} = 0$ bo'ladi. Generatorning yuklamasiz, ya'ni $I_{ya} = 0$ bilan ishlash rejimi salt ishlash rejimi deb ataladi. Demak, salt ishlash rejimida generator kuchlanishi uning yakorida hosil bo'lgan e.yu.k. ga teng, ya'ni $U = E_{ya}$ bo'ladi.

Yuklama berilishi bilan generator kuchlanishi yakordagi e.yu.k. ga nisbatan $I_y \Sigma R$ hisobiga kam, ya'ni

$$U = E_{ya} - I_y \Sigma R$$

bo'ladi. Generatorni ishlatish uchun, dastavval, uning yakorini birlamchi motor bilan kerakli chastotada aylantirish zarur. Bunda generator valiga ta'sir etuvchi momentlarning muvozanat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$M_l = M_0 + M_{em}, \quad (5.2)$$

bunda M_l — birlamchi motorning aylantiruvchi momenti;
 M_0 — salt ish momenti (yuklamasiz ishlayotgan generator yakorini aylantirishda mexanik ishqalanishlarga sarflanadigan moment);
 M_{em} — elektromagnit moment (yuklama bilan ishlayotgan generatorlarda hosil bo'luvchi moment).

Generator elektromagnit momentining ifodasi quyidagicha aniqlanadi. Yuklama bilan ishlayotgan generator chulg'aming har bir parallel shoxobchasidan $i_{ya} = \frac{I_{ya}}{2a}$ ga teng bo'lgan tok o'tadi. Yakorning bu tokli o'tkazgichlariga asosiy qutbdagi magnit oqim ta'sir etishi natijasida elektromagnit kuch F_{em} hosil bo'ladi. 5.2-rasmda yakorning har bir tokli o'tkazgichiga ta'sir etuvchi elektromagnit kuch ko'rsatilgan.

Bu kuchning qiymati $F_{em} = B_{or} i_{ya} l$ bo'lib, uning yo'nalishi chap qo'l qoidasiga binoan aniqlanadi.

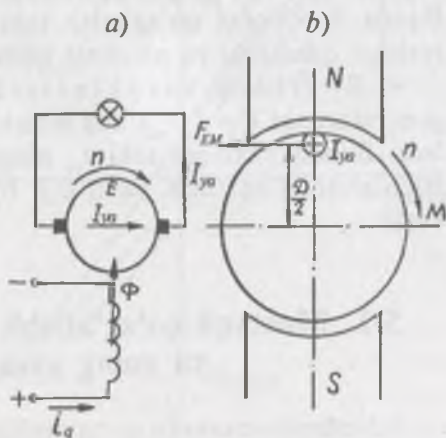
Demak, yakor o'tkazgichlariga ta'sir etuvchi elektromagnit moment ifodasini quyidagicha yozish mumkin:

$$M_{em} = F_{em} \frac{D}{2} N = B_{or} i_{ya} l \frac{D}{2} N.$$

Bu tenglamada $i_{ya} = \frac{I_{ya}}{2a}$,
 $D = \frac{2\pi r}{\pi}$ va $B_{or} l = \Phi$ bo'lgani uchun u quyidagicha ifodalanadi:

$$M_{em} = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_{ya} = k_m F I_{ya}, \text{ Nm}, \quad (5.3)$$

bunda $k_m = \frac{pN}{2\pi a} = \text{const}$ — moment doimiysi deb ataluvchi va mashina parametrlari bilan



5.2-rasm. Generatorlarda hosil bo'ladigan elektromagnit momenti.

aniqlanuvchi o'zgarmas koeffitsiyent. Generatoridagi elektromagnit momentning qiymati qutblardagi magnit oqim Φ bilan yakor toki I_{ya} ga proporsional bo'lib, uning yo'nalishi birlamchi motorning aylan-tiruvchi momentiga teskari bo'ladi (5.2-rasm). Shuning uchun gene-ratorda hosil bo'ladigan elektromagnit moment *tormoz momenti* deb ham ataladi.

Generatorning uzoq davr ichida normal ishlashini ta'minlaydigan rejimi uning nominal rejimi deb ataladi. Bu rejim quyidagi miqdorlar bilan xarakterlanadi:

P_n , U_n , I_n va n_n — tegishli nominal quvvat, kuchlanish, tok va aylanish chastotasi. Bu nominal miqdorlar generatorning pasportida (shchitida) keltiriladi.

Elektr mashinalarning xususiyatlari grafik usul bilan ifodalangan, xarakteristika deb ataluvchi bog'lanishlar bilan aniqlanadi. Generator-niing asosiy xarakteristikolari quyidagilardan iborat bo'lib, ular o'zgarmas chastota, ya'ni $n = \text{const}$ da olinishi kerak.

1) Salt ish xarakteristikasi. Generator kuchlanishi U_0 ning uning qo'zg'atuvchi chulg'amdagi qo'zg'atish toki i_q ga bog'lanishini ifodalovchi egri chiziq, ya'ni $U_0 = f(i_q)$ salt ish xarakteristikasi deb ataladi. Bunda $I_{ya} = 0$ va $n = \text{const}$ bo'lishi kerak.

2) Yuklama xarakteristikasi. Generatorning yuklama bi-lan ishlayotgan rejimidagi $U = f(i_q)$ uning yuklama xarakteristikasi deb ataladi. Bunda yakor tokining qiymati o'zgarmas, ya'ni $I_{ya} = I_n = \text{const}$ qilib saqlanishi va $n = \text{const}$ bo'lishi kerak.

3) Tashqi xarakteristika. Yuklama bilan ishlayotgan gene-rator kuchlanishining yakor tokiga bog'lanishini ifodalovchi egri chi-ziq, ya'ni $U = f(I_{ya})$ generatorning tashqi xarakteristikasi deb ataladi. Bunda $R_r = \text{const}$ qo'zg'atish tokini rostlab turish uchun kiritilgan rezistor qarshiligi va $n = \text{const}$ qilib saqlanishi kerak.

4) Rostlash xarakteristikasi. Yuklama bilan ishlayotgan generatoridagi $i_q = f(I_{ya})$ bog'lanish rostlash xarakteristikasi deb ata-ladi. Bunda yuklama toki I_{ya} ning o'zgarishiga qaramay, generator kuchlanishi o'zgarmas, ya'ni $U = U_n = \text{const}$ va $n = \text{const}$ bo'lib qolishi kerak.

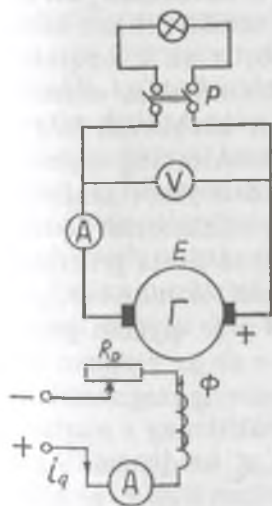
5.2. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatori va uning xarakteristikolari

5.3-rasmda mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining ula-nish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiriga ki-ritilgan rostlash rezistori R_r bilan qo'zg'atish toki i_q va, demak,

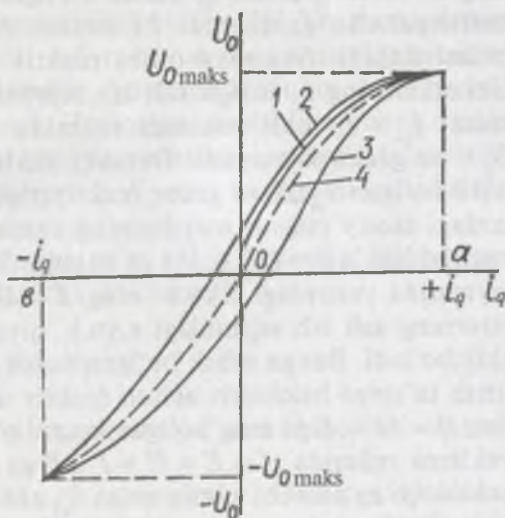
mashinaning asosiy magnit oqimi Φ ni rostdlash mumkin. Generatorning qo'zg'atuvchi chulg'amiga beriladigan o'zgarmas tokni akkumulyator, turli tipdagi statik to'g'rilagichlar yoki qo'zg'atgich deb ataluvchi o'zgarmas tok mashinasi kabi mustaqil tok manbalaridan olinadi.

Salt ish xarakteristikasi. 5.4-rasmda ko'rsatilgan salt ish xarakteristikasi $U_0 = f(i_q)$ ni hosil qilish uchun yuklamasiz generatorning yakori o'zgarmas chastota bilan aylantirilib, uning qo'zg'atuvchi chulg'amidagi tokning qiymati $+i_q = 0$ gacha asta-sekin ko'paytiriladi. Bunda kuchlanishning qiymati $U_0 \approx 1,15 U_n$ gacha o'zgarib, 1 egri chiziq olinadi. Qo'zg'atish tokini $-i_q = 0$ gacha kamaytirib bu tokning yo'nalishi o'zgartiriladi va so'ngra uning qiymatini $-i_q = 0b$ gacha ko'paytiriladi.

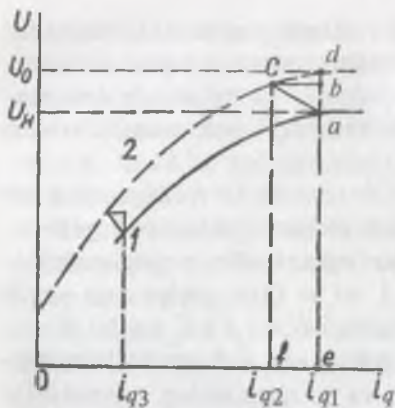
Natijada egri chiziqli xarakteristika 2 olinadi. Qo'zg'atish tokini ko'paytirish bilan xarakteristikaning 1 egri chizig'ini olish vaqtida mashina qutblaridagi qoldiq magnetizmning ko'payib qolgani sababli 2 egri chizig'i 1 ga nisbatan yuqoriroq joylashadi. Shunga o'xshash, qo'zg'atish tokini $-i_q = 0b$ dan $+i_q = 0a$ gacha o'zgartirib xarakteristikasining 2 va 3 egri chiziqlaridan hosil bo'lgan sirtmoq gisterezis sirtmog'i deb ataladi. Gisterezis sirtmog'ining o'rtasidan o'tkazilgan 4 egri chizig'i esa hisoblashlarda qo'llaniladigan salt ish xarakteristikasi deyiladi. Salt ish xarakteristikasining to'g'ri chiziqli qismi mashina magnit sistemasining to'yinmagan, uning egri chiziqli



5.3-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli generatorning ulanish sxemasi.



5.4-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli generatorning salt ish xarakteristikasi.



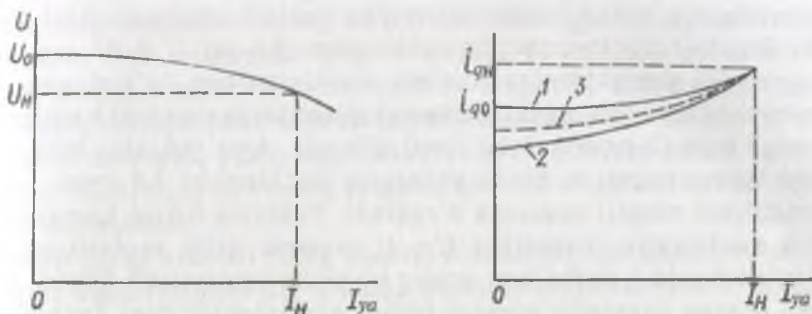
5.5-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli generatorning yuklama xarakteristikasi.

qismi esa to'yingan holatiga taalluqlidir. Demak, salt ish xarakteristikasi, boshqa masshtabda, mashinaning magnitlanish xarakteristikasini ifodalab, undan mashinaning magnit zanjiri xususiyatlarini aniqlashda foydalanish mumkin.

Yuklama xarakteristikasi. Generatorning 5.5-rasmdagi 1 egri chiziq bilan ko'rsatilgan $U = f(I_q)$ yuklama xarakteristikasi $I_{ya} = I_n = \text{const}$ bo'lgan yuklama tokida olingani sababli 1 egri chiziq salt ish xarakteristikasi 2 ga nisbatan pastda joylashadi. Qo'zg'atish tokini kamaytirish bilan yuklama toki I_n ni

o'zgartirmay saqlash uchun yuklama qarshiligi R_{yuk} ni kamaytirish lozim.

5.5-rasmda ko'rsatilgan 1 va 2 egri chiziqlardan foydalanib, reaktiv yoki xarakteristik deb ataluvchi uchburchakliklarni qurish mumkin. Bu uchburchakliklar orqali yuklama tokining ortishi bilan generator kuchlanishining pasayishi sabablarini aniqlash imkonini olinadi. Reaktiv uchburchaklikni qurish uchun yuklama xarakteristikasidagi nominal kuchlanishga tegishli a nuqtadan yuqori tomonga $I_{ya} \Sigma R$ ga teng ab kesma o'lchab qo'yiladi. So'ngra salt ish xarakteristikasi bilan kesishguncha gorizontaal bc kesma o'tkazilib, a va c nuqtalar birlashtiriladi. Shunday qilib, reaktiv abc uchburchaklik olinadi. Generatorning i_{q1} tokiga salt ish rejimida $U_0 = de$ kuchlanish to'g'ri kelsa, $I_{ya} = I_n$ tokli yuklama rejimida esa kuchlanishning qiymati $U_n = ae$ gacha kamayadi. Demak, yuklama tokidan yakor zanjirida hosil bo'lgan $I_{ya} \Sigma R$ va yakor reaksiyasining magnitsizlantirish (qutblardagi asosiy magnit maydonning kamaytirilishi) ta'sirida generator kuchlanishi $\Delta U = (U_0 - U_n)$ ga kamayadi. Yuklama tokining berilgan qiymatida yakordagi e.yu.k. ning $E = U + I_{ya} \Sigma R = be$ qiymati generatorning salt ish rejimidagi e.yu.k. qiymati $E_0 = de$ ga nisbatan kichik bo'ladi. Bunga sabab bo'lgan yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'sirini hisoblash uchun reaktiv uchburchaklikning s nuqtasidan $cf = be = E$ ga teng bo'lgan kesma o'tkazilib, i_{q2} aniqlanadi. Agar yuklama rejimida $cf = E = U + I_{ya} \Sigma R$ ga teng bo'lgan e.yu.k. ni olish uchun qo'zg'atuvchi chulg'amga i_{q1} tokini berish lozim bo'lsa, salt ish rejimida esa bu e.yu.k. ni hosil qilish uchun i_{q2} tokini berish kifoya. Demak, reaktiv uchburchaklikning $bc = fe = i_{q1} - i_{q2}$ tomoni yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'sirini yo'qotish uchun zarur bo'lgan



5.6-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli generatorning:
a — tashqi va b — rostdash xarakteristikalari.

qo'zg'atish toki qiymatini ifodalaydi. Bu uchburchaklikning $ab = I_{ya} \Sigma R$ tomoni esa yakor zanjirida kuchlanish tushuvini ifodalaydi. Qo'zg'atish toki i_q ning kichik qiymatlari, masalan, $i_q = i_{q3}$ da, mashinaning magnit sistemasi to'yinmagan holatda bo'lgani sababli magnitsizlantirish ta'sirining qiymati ham kichik bo'ladi.

Generatorning tashqi xarakteristikasi. 5.6-rasm, a da mustaqil qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasi ko'rsatilgan. Bu xarakteristikani olish uchun o'zgarmas chastota bilan aylantirilayotgan generatorning yuklamasi nominal qiymatigacha ko'paytiriladi. Bunda $I_{ya} = I_n$, $U = U_n$ va $i_q = i_{qn}$ bo'lishi lozim. So'ngra qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiridagi rezistor qarshiligi R_p ni o'zgartirmay, yuklama toki qiymatini nolgacha kamaytiriladi va $\dot{U} = f(I_{ya})$ ni qurish uchun kerakli ko'rsatkichlar olinadi. 5.6-rasm, a da ko'rsatilgan tashqi xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, yuklama tokining ortib borishi bilan kuchlanish kamayib boradi. Haqiqatan, yuklama tokining ortishi bilan $I_{ya} \Sigma R$ ning ko'payishi, yakor reaksiyasi magnitsizlantirish ta'sirining zo'rayishi va demak, e.yu.k. E_{ya} ning kamayishi sodir bo'lib, kuchlanish qiymati kamayib boradi.

Tashqi xarakteristika qattiqligini, ya'ni uning absissa o'qiga bo'lgan egilish qiymati ΔU_n ni quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U_n \% = \frac{U_0 - U_n}{U_n} 100. \quad (5.4)$$

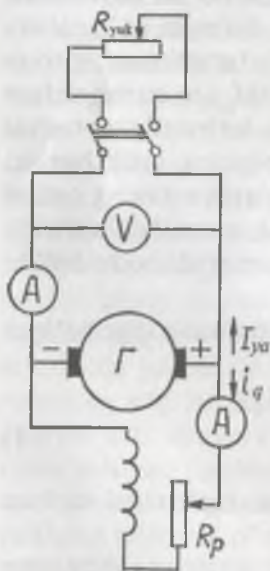
Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorlari uchun $\Delta U_n = (5 \div 10) \%$ bo'ladi.

Generatorning rostdash xarakteristikasi. Yuklama o'zgarishiga qaramay, kuchlanish qiymatini bir me'yorda, ko'pincha, $U = U_n = \text{const}$ qilib saqlash yoki ma'lum qonuniyat bilan o'zgartirish uchun qo'zg'atish toki i_q ning qiymatini o'zgartirish qonunini

aniqlaydigan $i_q = f(I_{ya})$ ni generatorning rostlash xarakteristikasi deyiladi. Bunda ham $n = \text{const}$ bo'lishi lozim. 5.6-rasm, b da mustaqil qo'zg'atishli generatorning rostlash xarakteristikasi ko'rsatilgan. Bu xarakteristikani olish uchun, dastavval generatorda nominal kuchlanish va unga tegishli nominal tok hosil qilinadi. Agar yuklama toki nolgacha kamaytirilsa, u holda generator kuchlanishi 5.6-rasm, a da ko'rsatilgani singari qonunda o'zgaradi. Yuklama tokini kamaytirish bilan kuchlanish qiymatini $U = U_n = \text{const}$ qilib saqlash uchun qo'zg'atish toki i_q ni ma'lum qonun bo'yicha kamaytirish kifoya. Demak, i_q ning kamayish qonuni tashqi xarakteristikadagi kuchlanish ko'payish qonunining teskarisi bo'ladi. O'zgarmas tok generatorning mustaqil qo'zg'atishli sxemada ishlashi uchun o'zgarmas tok manbai ning zarur bo'lishi uning asosiy kamchiligi hisoblanadi.

5.3. Parallel qo'zg'atishli generator va uning xarakteristikalari

O'zgarmas tok manbai bo'lmagan hollarda mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorini parallel qo'zg'atishli prinsipda ishlatish mumkin. Parallel qo'zg'atishli generatorning ishlash prinsipi magnit-



5.7-rasm. Parallel qo'zg'atishli generatorning ulanish sxemasi.

lantirilgan mashina qutblari va staninasida hosil bo'ladigan qoldiq magnetizm Φ_{qol} ga asoslanadi. Φ_{qol} ning qiymati to'la magnit oqimning 2÷3 foizini tashkil etadi. 5.7-rasmda parallel qo'zg'atishli generatorning ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda qo'zg'atuvchi chulg'am uchun o'zgarmas tok manbai sifatida shu generatorning yakori xizmat qiladi. Haqiqatan, mashina qutblaridagi Φ_{qol} o'zgarmas chastotada aylantirilayotgan yakor bilan kesilishi natijasida yakor chulg'amida kichik qiymatli, ya'ni $E_{qol} = k_E n \Phi_{qol}$ ga teng bo'lgan e.yu.k. hosil bo'ladi. Bu e.yu.k. ta'sirida yakor chulg'ami-ga parallel ulangan qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiridan kichik qiymatli qo'zg'atish toki $i_q = \frac{E_{qol}}{R_{ya} + R_q + R_r}$ o'tishi mumkin. Agar bu qo'z-g'atish tokidan qutblarda hosil qilingan magnit oqimning Φ_{qol} ga qo'shilishi natijasida umumiy magnit oqim ko'paysa, u holda generator o'z-o'zidan qo'zg'atilishi mumkin. Haqiqatan,

qutblardagi magnit oqimning ko'payishi bilan yakor chulg'amida hosil bo'luvchi e.yu.k. qiymati ham ko'payadi va natijada qo'zg'atuvchi chulg'amdanda o'tuvchi tokning qiymati ko'payib, qutblardagi magnit oqimning qiymati yana ham ko'payadi. Bunday o'z-o'zini qo'zg'atish jarayoni davomida yakor chulg'amida hosil bo'luvchi e.yu.k. qiymati qutb o'zaklarining to'yinishi va qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiridagi R_z bilan cheklanadi.

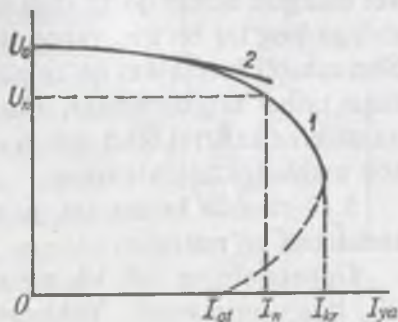
Agar qo'zg'atuvchi chulg'amdagi tokdan Φ_{qol} ga teskari yo'nalgan magnit oqim hosil bo'lsa, u holda mashina magnitsizlanadi va, natijada, umumiy magnit oqimning qiymati Φ_{qol} ga nisbatan kamayib mashina o'z-o'zidan qo'zg'atilmaydi. Bunda generatorni o'z-o'zidan qo'zg'atish uchun qo'zg'atuvchi chulg'amdagi tokning yo'nalishini yoki yakorning aylanish yo'nalishini o'zgartirish kerak. i_q ning yo'nalishini o'zgartirish uchun qo'zg'atuvchi chulg'am zanjirining yakorga ulanuvchi sh_1 va sh_2 uchlarini o'zaro almashtirish kifoya.

Agar generatorga yuklama ulangan bo'lsa, u holda tokning katta qismi yakor zanjiridan o'tib, qo'zg'atish chulg'amidan o'tuvchi tok qiymati generatorni o'z-o'zidan qo'zg'atish uchun yetarli bo'lmaydi. Demak, parallel qo'zg'atishli generatorni o'z-o'zidan qo'zg'atish paytida uning yakor zanjiri yuklamadan ajratilgan bo'lib, generator normal kuchlanishgacha qo'zg'atilgandan so'ng unga yuklama berilishi mumkin.

Agar qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiridagi rezistor qarshiligi katta bo'lsa, u holda bu zanjirda hosil bo'lgan tokning qiymati kichik bo'lib, generatorni o'z-o'zidan qo'zg'atish uchun bu tokning qiymati yetarli bo'lmaydi. Bunda generatorni o'z-o'zidan qo'zg'atish uchun rezistor qarshiligi nolgacha kamaytiriladi.

Parallel qo'zg'atishli generatorning salt ish xarakteristikasi mustaqil qo'zg'atishlikidan farq qilmaydi, tashqi xarakteristikasi esa keskin farq qiladi. 5.8-rasmda: 1 — parallel va 2 — mustaqil qo'zg'atishli sxemadagi generatorlarning tashqi xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Parallel qo'zg'atishli generator-da ham yuklama tokining ortib borishi bilan kuchlanish kamayib boradi. Kritik qiymat I_{kr} li tokka ega generator yuklamasi yana ko'paytirilsa, uning kuchlanishi bilan birgalikda yakor tokining ham kamayishi sodir bo'ladi. Yuklama qiymati



5.8-rasm. Parallel qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasi.

qisqa tutashishgacha ko'paytirilsa, yuklama tokining qiymati qisqa tutashish toki I_{qt} bilan cheklanadi (5.8-rasm).

Demak, parallel qo'zg'atishli generatorda yuklama tokining qisqa tutashish qiymati $I \leq I_n$ bo'lsa, mustaqil qo'zg'atishlida esa $I_{qt} = (10 \div 12) I_n$ bo'ladi.

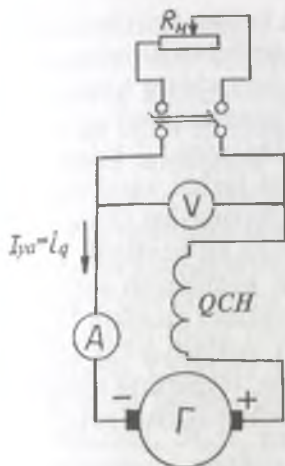
Parallel qo'zg'atishli generator yuklamasining ortib borishi bilan uning kuchlanishi dastavval mustaqil qo'zg'atishli generatordagi singari sabablarga binoan kamayib boradi. Yakor chulg'ami qisqichlaridagi kuchlanishning kamayishi bilan unga parallel ulangan qo'zg'atuvchi chulg'amdagi tokning qiymati ham kamayib boradi. Buning natijasida e.yu.k. va, demak, kuchlanishning qiymati yana kamayadi. Mustaqil qo'zg'atishli generatorda qo'zg'atish tokining qiymati generator kuchlanishiga bog'liq bo'lmaydi, parallel qo'zg'atishli generatorda esa $i_q = \frac{U}{R_q + R_y}$ bo'ladi, ya'ni uning qiymati generator kuchlanishiga proporsional ravishda o'zgaradi. Shu sababli, parallel qo'zg'atishli generator yuklamasining qiymati nominalga nisbatan $I_{kr} = (2 \div 2,5) I_n$ marta ko'payishi mumkin. Agar yuklama qiymati I_{kr} ga nisbatan bir ozgina ko'paysa, u holda generator kuchlanishi o'z-o'zidan keskin ravishda nolgacha kamayadi. Bunda yakor tokining qisqa tutashish I_{qt} qiymati faqat qoldiq e.yu.k. bilangina aniqlanib, $I_{qt} \approx I_n$ bo'ladi.

5.4. Ketma-ket qo'zg'atishli generator va uning xarakteristikallari

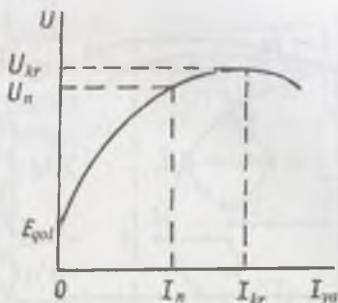
5.9-rasmda ketma-ket qo'zg'atishli generatorning ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda qo'zg'atuvchi chulg'am yakor chulg'amiga ketma-ket ulangani uchun qo'zg'atish toki i_q ning qiymati yuklamaning o'zgarishiga bog'liq bo'lib, yakor toki I_{ya} ga teng, ya'ni $i_k = I_{ya}$ bo'ladi. Shu sababli ketma-ket qo'zg'atishli generatorning xususiyatlari uning faqat tashqi xarakteristikasi bilan aniqlanadi. Bu generatorning boshqa xarakteristikalarini olish uchun uning qo'zg'atish chulg'amini mustaqil tok manbaiga ulash darkor.

5.10-rasmda ketma-ket qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Generatorning salt ish rejimida uning kuchlanishi qoldiq e.yu.k. E_{qol} bilan aniqlanadi. Yuklama berilishi bilan qo'zg'atuvchi chulg'amdan $i_q = I_{ya}$ toki o'tib, generator kuchlanishi ortib boradi. Generator kuchlanishning ortib borishi $i_q = I_{ya} = I_{kr}$ gacha davom etib, qutb o'zaklari to'yinganidan so'ng esa yuklama tokining ko'payishi yakor



5.9-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli generatorning ulanish sxemasi.



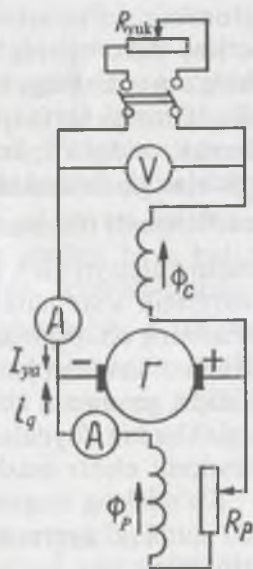
5.10-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikasi.

reaksiyasining magnitsizlantirish ta'sirini zo'raytirib, generatorning kuchlanishini pasaytiradi. Kuchlanish qiymati yuklama tokiga keskin bog'liqligi sababli ketma-ket

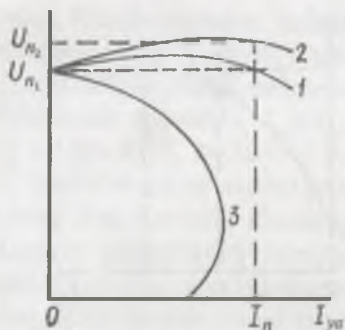
qo'zg'atishli generatorlar kam ishlatiladi.

5.5. Aralash qo'zg'atishli generator va uning xarakteristikallari

Aralash qo'zg'atishli generator qutblarida ikkita qo'zg'atuvchi chulg'am o'rnatilgan bo'lib, ulardan biri yakor chulg'amiga parallel, ikkinchisi esa ketma-ket ulanadi. Bu qo'zg'atuvchi chulg'amlardagi tokdan mashina qutblarida hosil bo'lgan Φ_p va Φ_c magnit oqimlar bir xil yoki qarama-qarshi tomonlarga yo'nalishi mumkin. 5.11-rasmda aralash qo'zg'atishli generator parallel va ketma-ket qo'zg'atuvchi chulg'amlarining mos, ya'ni $\Phi = \Phi_p + \Phi_c$ bo'lib ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Odatda, bunday generatorning qo'zg'atuvchi chulg'amlari mos sxemada ulanadi. Generatorning salt ish rejimidagi nominal kuchlanishi uning parallel qo'zg'atuvchi chulg'amidagi amper o'ramlar bilan aniqlanib, yuklama sababli kuchlanishning pasaygan qisminigina



5.11-rasm. Aralash qo'zg'atishli generatorning ulanish sxemasi.



5.12-rasm. Aralash qo'zg'atishli generatorning tashqi xarakteristikalari.

kompensatsiyalash ketma-ket chulg'amdagi amper o'ramlar bilan aniqlanadi.

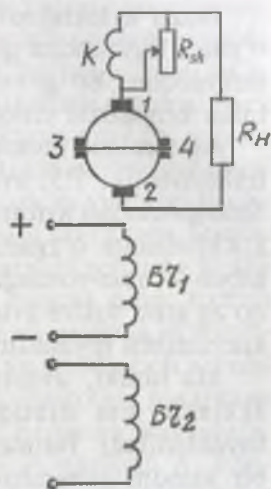
5.12-rasmda 1 egri chiziqliq bilan aralash qo'zg'atishli generator qo'zg'atuvchi chulg'amlarining mos, 3 bilan esa nomos ulanganidagi tashqi xarakteristikalari ko'rsatilgan. Ketma-ket chulg'amning o'ramlari sonini ko'paytirish bilan uzatish liniyasidagi kuchlanish tushuvini ham kompensatsiyalash mumkin (5.12-rasm, 2 egri chiziqliq). Aralash qo'zg'atishli generator, ko'pincha, o'zgarmas qiymatli kuchlanish olish uchun ishlatiladi.

5.6. Elektr mashina kuchaytirgichlari

Kirish qismiga beriladigan kichik qiymatli signalni o'zgartirish yo'li bilan chiqish qismidan olinadigan katta qiymatli signalni boshqarish imkoniga ega bo'lgan pribor, apparat yoki mashina kuchaytirgich deb ataladi. O'zgarmas tok generatori ham kuchaytirgichga misol bo'lishi mumkin. Bunda o'zgarmas chastota bilan aylantirilayotgan generatorning qo'zg'atuvchi chulg'ami kuchaytirgichning kirish qismi bo'lib, yakor chulg'ami esa chiqish qismi bo'ladi. Qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiridagi tok qiymatini o'zgartirish yo'li bilan unga nisbatan 20—30 marta katta qiymatli yakor (yuklama) tokini rostlash mumkin. Demak, oddiy o'zgarmas tok mashinasidan ham kuchaytirgich sifatida foydalanish mumkin, ammo uning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti nisbatan kichik, ya'ni $k_p = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} \approx 20 \div 30$ bo'lgani sababli undan kuchaytirgich sifatida foydalanilmaydi. Kuchaytirgichlar asosan avtomatik sistemalarda ishlatiladi. Bunda sistemaning biror elementining chiqishidan olinadigan kichik qiymatli signal uning boshqa elementi kirishiga kuchaytirilib beriladi. Elektr mashina kuchaytirgich sifatida, umuman, ko'ndalang va bo'ylama magnit maydonli kuchaytirgichlardan foydalaniladi. Amalda, ko'pincha, ko'ndalang magnit maydonli elektr mashina kuchaytirgichlari ishlatiladi.

Ko'ndalang magnit maydonli elektr mashina kuchaytirgichi (EMK) ikki qutbli o'zgarmas tok mashinasi kabi konstruksiyaga va ishlash prinsipiga ega bo'ladi. Bu qutblarga to'rttagacha boshqaruvchi (qo'zg'atuvchi), kompensatsiyalovchi va qo'shimcha qutb chulg'amlari o'rnatiladi. EMK ning yakori esa oddiy o'zgarmas tok mashinalariniki singari bo'lib, uning kollektoriga ikki juft cho'tkalar o'rnatilgan

bo'lad (5.13-rasm, 1—2, 3—4). Oddiy generatorlarda yakor tokidan hosil bo'lgan magnit oqimining ko'ndalang qismi asosiy magnit maydon kuch chiziqlarini qiyshaytirib, kommutatsiya jarayonini yomonlashtiradi, EMK da esa yakor reaksiyasining ko'ndalang o'q bo'yicha ta'siridan uning kirish qismiga berilgan signal kuchaytiriladi. Buning uchun ko'ndalang o'qlar bo'yicha o'rnatilgan 3—4 cho'tkalar o'zaro qisqa tutashtiriladi. Agar yakori o'zgaras chastota bilan aylantirilayotgan EMK ning boshqarish chulg'amalaridan biriga, masalan, BCH_1 ga kichik qiymatli elektr signal berilsa, u holda bu tokdan paydo bo'lgan magnit oqim yakorning 3—4 ko'ndalang cho'tkalar bilan qisqa tutashtirilgan chulg'amida kichik qiymatli e.yu.k., uning ta'sirida esa katta qiymatli tok I_2 hosil qiladi. Bu yakor toki I_2 dan ko'ndalang magnit oqim Φ_2 , bundan esa 1—2 bo'ylama cho'tkalar hamda yuklama bilan tutashgan yakor chulg'amida e.yu.k. va, demak, I_2 ga nisbatan birmuncha katta qiymatli yuklama toki I_3 hosil bo'ladi. Bu tokdan hosil bo'lgan Φ_3 magnit oqim Φ_1 ga teskari yo'nalib, EMK ni magnitsizlantirishi mumkin. Bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasining magnitsizlantiruvchi ta'sirini yo'qotish maqsadida yakor chulg'amiga ketma-ket ulangan kompensatsiyalovchi chulg'am K dan foydalaniladi. Yakor reaksiyasi ta'sirini kompensatsiyalash darajasini rostlash uchun K chulg'ami R_{sh} qarshiligi bilan shuntlanadi. Shunday qilib, EMK ni quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $k_p = 2000 \div 10000$ va undan ham katta bo'lishi mumkin. Bunday kuchaytirgichlar, odatda, sinxron chastotasi $3000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lgan asinxron motorlari bilan aylantirilib, EMK va uni aylantiruvchi motor umumiy korpusli qilib tayyorlanadi. EMK lardan generator, qo'zg'atgich va rostlagich sifatida ham keng foydalaniladi.



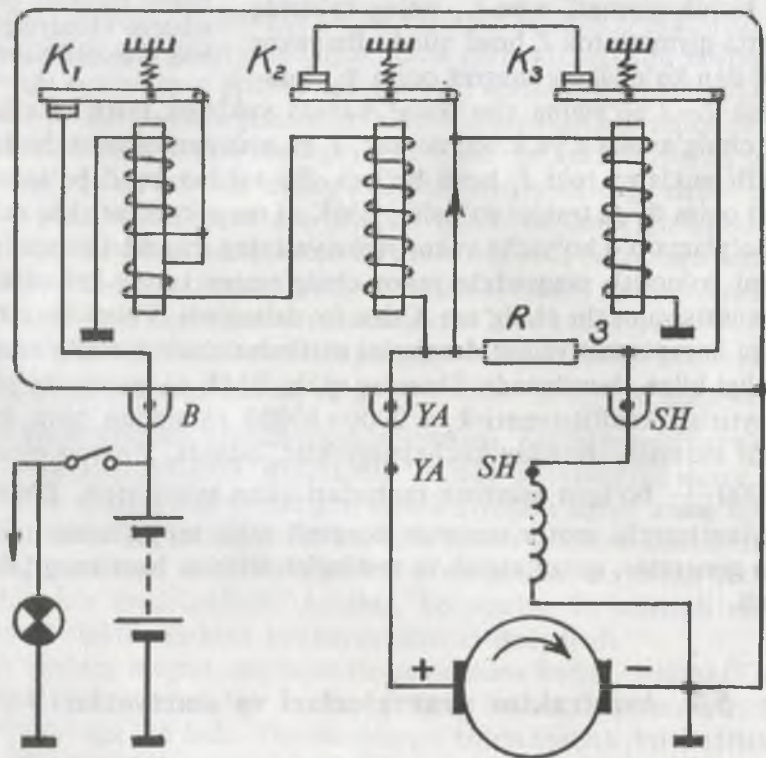
5.13-rasm. Ko'ndalang magnit maydonli elektr mashina kuchaytirgichning prinsipial sxemasi.

5.7. Avtotraktor generatorlari va startyorlari

Avtotraktorlardagi akkumulator batareyasini zaryadlab turish hamda fara va boshqa yoritgich lampalarni o'zgaras tok bilan ta'minlash uchun 12—24 voltli generatorlardan foydalaniladi.

Avtotraktor motorlarining aylanish chastotalari turlicha, xususan, traktorlarniki 1:3, avtomobillarniki esa 1:6 nisbatida o'zgarib turadi. Shunga binoan avtotraktor motorlari bilan aylantiriladigan generatorlar kuchlanishini o'zgartirmay nominal qiymatda saqlash uchun maxsus asbob — rele-rostlagichlardan foydalaniladi. Rele-rostlagichlar orqali qo'zg'atish tokini avtomatik ravishda o'zgartirish yo'li bilan generator kuchlanishi qiymatini o'zgartirmay saqlashga erishiladi (5.14- rasm).

Ma'lumki, avtotraktorlarning elektr zanjiri bir simli bo'ladi. Ikkinchi sim sifatida mashinaning metall korpusi (massasi) dan foydalaniladi. Bunda birinchi cho'tka va qo'zg'atish chulg'aming bir tomoni generator massasiga, ikkinchi cho'tkadagi $+Ya$ va rele-rostlagichning Ya qismlari o'zaro, qo'zg'atish chulg'aming ikkin-



50

chi Sh tomonini esa rele-rostlagichning Sh (shunt) qismasiga ulanadi. Generator aylantirilishi bilan o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipi asosida uning yakor chulg'amida qoldiq e.yu.k. hosil bo'ladi. Bu e.yu.k. ta'sirida musbat cho'tka, rele-rostlagichning Ya qismasi, normal berk K_2 va K_3 kontaktlari, Sh qismasi, qo'zg'atish chulg'ami va manfiy cho'tka orqali qo'zg'atish toki o'tadi. Generator tokining boshqa qismi ikkinchi rele chulg'ami, birinchi relening pastki tok va yuqorigi kuchlanish chulg'amlaridan o'tib, massa orqali manfiy cho'tkaga keladi. Kuchlanish qiymati nominalga tenglashganda birinchi relening kuchlanish chulg'ami toki va undan hosil bo'lgan magnit oqim tortish kuchi ta'sirida normal ochiq K_1 kontakt berkiladi va natijada akkumulatorni zaryadlovchi hamda yoritgich lampalari va yondirgich asboblardan o'tuvchi toklarga yo'l ochiladi. Aylanish chastotasi pasayganda, generator kuchlanishi akkumulatornikiga nisbatan kamayadi. Bunda birinchi relening tortish kuchi pasayadi va natijada K_1 kontakti ochilib, akkumulatorni generatordan ajratadi. Agar akkumulator toki generator tomon, ya'ni teskaricha o'tguday bo'lsa, birinchi rele o'zagining magnitsizlanishi natijasida K_1 kontakti bari bir ochiladi. Shunga ko'ra birinchi releni teskari tok relesi deb yuritiladi.

Aylanish chastotasi oshishi bilan generator kuchlanishi ko'payib ketsa, uchinchi relening normal berk K_3 kontakti ochiladi va bunda qo'zg'atish chulg'aming zanjiriga R qarshiligi kiritilib, generator kuchlanishi pasaytiriladi. Generator kuchlanishi pasayishi bilan uchinchi reledan o'tuvchi tok kamayadi va K_3 kontakti yana berkiladi. Shunday qilib, K_3 kontaktining ochilib-berkilishi natijasida qo'zg'atish tokining qiymati goh ko'payib, goh kamayadi va natijada generator kuchlanishi o'zgarmas qiymatda saqlanadi. Shunga binoan uchinchi releni tebranma tipli kuchlanish relesi deb ham yuritiladi. Agar tok qiymati normadan oshib ketsa, ikkinchi rele o'z kontakti K_2 ni ochib, qo'zg'atish chulg'ami zanjiriga yana R qarshiligini kiritadi. Natijada generator kuchlanishi va, demak, undan olinayotgan tok kamayadi. Shu sababli ikkinchi rele tok cheklovchi rele deyiladi.

Avtomobillarda ishlatiladigan generatorlarning quvvati $200 \div 600$ Vattga teng. Traktorlardagi generatorlarga sovituvchi ventilator o'rnatilmasligi sababli ularning quvvati avtomobil generatorlari quvvatiga nisbatan $25 \div 30$ foizga kam bo'ladi.

Avtotraktor motorlarini ishga tushirib yuborishda startyor deb ataluvchi 4 qutbli, ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motoridan foydalaniladi.

Startyor yakoriga to'liqinsimon sxemali maxsus chulg'am o'rnatiladi. Startyorni ishga tushirishda uning yakori zanjiriga rezistor qarshiligi kiritilmaydi. Avtotraktor motorlari ishga tushirilishi bilanoq startyor zanjiri tok manbaidan ajratiladi.

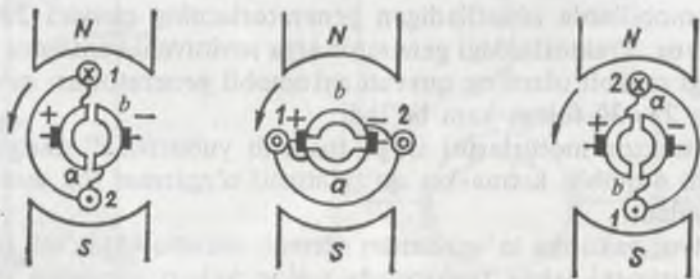
6.1. Umumiy tushunchalar

Elektr mashinalar generator va motor rejimida ishlashi mumkin. Agar qutblarida yetarli magnit oqim bo'lgan o'zgarmas tok mashinasining yakor chulg'amiga o'zgarmas tok berilsa, u holda yakor chulg'amidagi tokli o'tkazgichlarga ta'sir etuvchi elektromagnit kuchlardan yakorni aylantiruvchi elektromagnit moment hosil bo'ladi. Bunda elektr energiyasi mexanik energiyaga aylanib, elektr mashina motor rejimida ishlaydi. Yakor chulg'ami sekiyasi tomonlarining biri shimoliy, ikkinchisi esa janubiy qutb ostida joylashgan bo'ladi. Shu sababli, yakorda hamma vaqt bir tomonga aylantiruvchi elektromagnit kuchlar hosil qilish uchun N va S qutblar ostidan o'tuvchi yakor o'tkazgichidagi tokning yo'nalishini o'zgartirib turish kerak.

Yakor o'tkazgichlariga beriladigan tokning yo'nalishi kollektor bilan o'zgartirilib turiladi (6.1-rasm). Demak, o'zgarmas tok mashinasining generator rejimida uning kollektori bilan yakor chulg'amidagi o'zgaruvchan tok o'zgarmas tokka aylantiriladi, motor rejimida esa kollektor bilan elektr tarmog'idan beriluvchi o'zgarmas tok yakor chulg'amiga turli yo'nalishlarda beriladi. Elektromagnit moment ta'sirida o'zgarmas chastota n bilan aylanuvchi motor yakorining o'tkazgichlarida e.yu.k. hosil bo'ladi. Bu e.yu.k. ning qiymati (3.13) ifodadan, yo'nalishi esa o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanadi. Generatorda tokning yo'nalishi e.yu.k. tomon bo'lsa, motor yakorida hosil bo'lgan e.yu.k. ning yo'nalishi esa tokka teskaridir (6.2-rasm). Shu sababli bu e.yu.k. teskari e.yu.k. deb ham ataladi.

O'zgarmas tok motorning yakor zanjiri uchun e.yu.k. larning muvozanat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$U = E_{ya} + I_{ya} \Sigma R, \quad (6.1)$$



6.1-rasm. O'zgarmas tok motorida yakorga berilgan tokning kollektor bilan o'zgaruvchan tokka aylantirilishi.

bunda U — motorning yakor chulg'amiga beriladigan kuchlanish, V;
 E_{ya} — yakor chulg'amida hosil bo'lgan e.yu.k.; V;
 $I \Sigma R$ — yakor zanjirida kuchlanishning tushuvi, V;

$\Sigma R = R_{ya} + R_l$ — yakor chulg'ami qarshiligi bilan tashqi qarshilik yig'indisi, Om.
 Yakor toki (6.1) tenglamaga binoan quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{ya} = \frac{U - E_{ya}}{\Sigma R}. \quad (6.2)$$

E.yu.k. lar tenglamasining ikki tomonini I_{ya} ga ko'paytirib quvvatlar tenglamasining quyidagi ifodasi olinadi:

$$UI_{ya} = E_{ya} I_{ya} + I_{ya}^2 \Sigma R, \quad (6.3)$$

bunda UI_{ya} — elektr tarmog'idan motorga beriladigan quvvat, w;
 $I_{ya}^2 \Sigma R$ — yakor zanjiridagi qarshiliklarning qizishiga sarflangan quvvat isrofi, W;

$E_{ya} I_{ya}$ — motor yakorida hosil bo'ladigan quvvat, w.

Agar E_{ya} o'rniga uning $E_{ya} = \frac{pN}{60a} \Phi n$ qiymati qo'yilsa, u holda quyidagi hosil qilinadi:

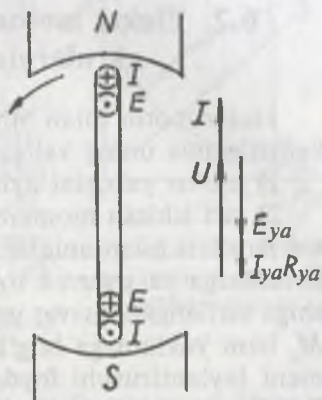
$$E_{ya} I_{ya} = \frac{pN}{60a} \Phi n I_{ya} = \frac{pN}{60a} \Phi \frac{60\omega}{2\pi} I_{ya} = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_{ya} \omega.$$

$\frac{pN}{2\pi a} \Phi I_{ya} = M_{em}$ tenglama elektromagnit momentni ifodalagani uchun yakorda hosil bo'ladigan quvvat elektromagnit quvvat deb ataladi va P_{em} bilan belgilanadi:

$$E_{ya} I_{ya} = M_{em} \omega = P_{em}, \quad (6.4)$$

bunda $\omega \left[\frac{\text{rad}}{\text{sek}} \right] = \frac{2\pi n}{60}$ — yakor aylanishining burchak chastotasi;
 $n \left[\frac{\text{ayl}}{\text{min}} \right]$ — yakorning minutiga aylanish soni. Demak, elektr motorga berilgan UI_{ya} quvvatning mexanik energiyaga o'tgan qismini elektromagnit quvvat tashkil etadi.

Elektromagnit quvvatning asosiy qismi motor validagi foydali mexanik quvvat P_2 ga aylanadi, qolgan kichik qismi P_0 esa aylanuvchi yakordagi mexanik ishqalanishlarni yengishga va motorning po'lat qismlarida sodir bo'luvchi quvvat isroflariga befoyda sarflanadi. Shunga binoan $P_{em} = P_2 + P_0$ bo'ladi.



6.2-rasm. Motor yakorida hosil bo'lgan e.yu.k. va uning tokka teskari yo'nalishi.

6.2. Elektr motor valiga ta'sir etuvchi momentlar va ularning muvozanat tenglamasi

Elektr motor bilan biror ish mashinasi yoki mexanizmi harakatga keltirilganda uning valiga quyidagi momentlar ta'sir etishi mumkin:

1) motor yakorini aylantiruvchi elektromagnit moment M_{em} ;
 2) salt ishlash momenti M_0 . Bu moment mexanik va magnit quvvat isroflari bilan aniqlanadi. Yakorning aylanishida mexanik ishqalanishlarga va uyurma toklar bilan motor po'lat o'zaklarining qizishiga sarflangan quvvat isrofi R_0 yuklamaga bog'liq bo'lmagani uchun M_0 ham yuklamaga bog'liq bo'lmaydi, uning qiymati nominal moment (aylantiruvchi foydali momentning nominal qiymati) M_n ning $2 \div 6\%$ ni tashkil etadi;

3) foydali moment M_2 . Bu moment motor bilan ish mexanizmini harakatga keltirishda mexanizm tomonidan vujudga keltiriladigan qarshilik (foydali yuklama) momenti bilan aniqlanadi. Qarshilik momenti o'z navbatida mashina yoki mexanizmning ish rejimi (katta yoki kichik qiymatli yuklamalar bilan ishlashi) va mexanik xarakteristikalar bilan aniqlanadi.

Odatda, M_0 va M_2 momentlari birgalikda hisoblanib, uni M_s bilan ifodalanadi, ya'ni $M_0 + M_2 = M_s$ bo'ladi, bunda M_s — motor valining aylanishiga qarshilik ko'rsatuvchi statik qarshilik momenti. Ish mexanizmlarning qarshilik momentlari o'z qiymatlarini chastota o'zgarishi bilan turlicha o'zgartiradilar. Shunga binoan, ish mexanizmi qarshilik momenti M_s ning motor aylanish chastotasi n ga nisbatan o'zgarishini ifodalovchi $M_s = f(n)$ bog'lanish uning mexanik xarakteristikasi deyiladi. Ish mexanizmlarning mexanik xarakteristikasi $M_s = f(n)$ uchun topilgan quyidagi empirik formulaga binoan ularni turli klasslarga ajratish mumkin:

$$M_s = M_{so} + (M_{sn} - M_{so}) \left(\frac{n}{n_{nn}} \right)^x \quad (6.5)$$

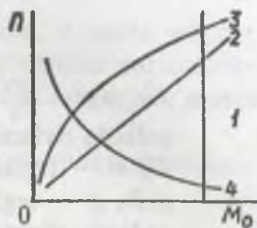
bunda M_s — ish mexanizmining n chastotadagi qarshilik momenti;
 M_{so} — salt ish rejimida mexanizmning harakatlanuvchi qismlaridagi mexanik ishqalanishlardan hosil bo'lgan qarshilik momenti;

M_{sn} — mexanizmning nominal, n_n chastotadagi qarshilik momenti;

x — chastota o'zgarishi bilan M_s ning o'zgarishini xarakterlaydigan daraja ko'rsatkichi.

(6.5) ifodaga binoan daraja ko'rsatkichi x uchun quyidagi qiymatlar berilib, turli klasslarga tegishli ish mexanizmlarining mexanik xarakteristikalarini olinadi.

1) $x = 0$ bo'lsa, $M_s = M_{sn} = \text{const}$ bo'ladi. Bunda qarshilik momenti o'zgarmas bo'lib, chastotaga bog'liq bo'lmagan mexanik xarakteristika olinadi (6.3-rasm, 1 egri chiziq). Bunday mexanik xarakteristikaga yuk ko'taruvchi kranlar, stanoklarning vint va chervyaklar bilan harakatlanuvchi qismlari ega bo'ladi. Haqiqatan, kran mexanizmining qarshilik momenti uning ilgagiga osilgan yuk og'irligi G va baraban radiusi $\frac{D_b}{2}$ bilangina aniqlanadi, xolos, ya'ni $M_s = G \frac{D_b}{2}$ bo'ladi.



6.3-rasm. Ish mexanizmlarining mexanik xarakteristikalari.

2) $x = 1$ bo'lsa, $M_s = M_{so} + \frac{M_{sn} + M_{so}}{n_n}$ bo'ladi. Bunda qarshilik momenti chastotaga proporsional bo'lgan mexanik xarakteristika olinadi (6.3-rasm, 2 chiziq). Bunday xarakteristikaga mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatori va don tozalovchi qishloq xo'jalik mashinasi kabilar ega bo'ladi.

3) $x = 2$ bo'lsa, qarshilik momenti chastotaning ikkinchi darajasi proporsional bo'ladi. Bunday mexanik xarakteristikaga ventilator, nasos, separator kabi mexanizmlar ega bo'ladi (6.3-rasm, 3 chiziq).

4) $x = -1$ bo'lsa, qarshilik momentining qiymati chastotaga teskari proporsional ravishda o'zgaradi. Bunday mexanik xarakteristikaga ko'pchilik transport mexanizmlari, metall qirquvchi stanoklar ega bo'ladi.

Ayrim mexanizmlarning qarshilik momenti tezlikdan tashqari, boshqa parametrlar ta'sirida ham o'zgaradi. Masalan, krivoshipshatunli mexanizmlarning qarshilik momenti chastota va burilish burchagiga bog'liq bo'lsa, elektrovozlarda chastota va yo'l profili (yo'lning baland-pastligi, egriligi)ga bog'liq bo'ladi. Bunda M_s ning o'zgarish grafigi har bir muayyan holda alohida keltiriladi. Qarshilik momentlari reaktiv va aktiv (potensial) bo'lishi mumkin. Reaktiv qarshilik momenti qirqish, ishqalanish va shu kabi jarayonlarda hosil bo'ladi. Bu momentning yo'nalishi hamma vaqt motorning aylantiruvchi momentiga teskari bo'ladi. Aktiv qarshilik momenti esa yuk ko'tarish, prujinaning qisilishi kabi jarayonlarda hosil bo'lib, bunday moment hamma yo'nalishining o'zgarishi bilan aktiv qarshilik momentning ta'siri ham teskarisiga o'zgaradi. Masalan, yuk ko'tarishda qarshilik momenti aylantiruvchi momentga teskari bo'ladi, yuk tushirishda esa bu momentlar bir xil yo'nalishda bo'ladi.

Motor valiga ta'sir etuvchi momentlardan yana birini dinamik moment M_{din} deyiladi. Dinamik moment quyidagicha ifodalanadi:

$$M_{\text{dun}} = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}, \quad (6.6)$$

bunda $J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ yoki $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sek}^2$ — motor vali bilan birgalikda aylanayotgan qismlarning inersiya momenti;
 G, m — tegishli og'irlik kuchi va uning massasi;
 ρ, D, g — tegishli harakatlanayotgan qismlarning inersiya radiusi, diametri va tezlanishi;

GD^2 — siltash momenti. Yakor yoki rotorga tegishli siltash yoki inersiya momentlarining qiymati motor kataloglarida keltiriladi. Motor bilan aylanuvchi va turli shakllarga ega qismlar uchun esa J va GD^2 ning qiymati texnik ma'lumotnomalarda keltiriladi:

$\frac{d\omega}{dt}$ yoki $\frac{dn}{dt}$ — motor valining tezlanishi.

Demak, dinamik moment hosil bo'lishi uchun biror sababga ko'ra chastotaning o'zgarishi kifoya. Masalan, motorni ishga tushirishda uning chastotasi ortib boradi. Bunda $\frac{dn}{dt} > 0$ bo'lib, aylantiruvchi momentga teskari yo'nalgan dinamik moment hosil bo'ladi. Motorni tormozlashda esa uning chastotasi kamayib borgan uchun $\frac{dn}{dt} < 0$ bo'ladi. Bunda hosil bo'lgan dinamik moment motor chastotasining pasayishiga xalaqit beradi, ya'ni tormozlovchi momentga nisbatan teskari yo'naladi.

Motorning o'zgarish chastota bilan aylanishida esa $\frac{dn}{dt} = 0$ bo'lib, dinamik moment hosil bo'lmaydi. Motorning o'zgarish chastota bilan aylanayotgan holati uning turg'un holati deyiladi. Demak, motor valiga ta'sir etuvchi momentlarning muvozanat tenglamasi umumiy holda quyidagicha ifodalanadi:

$$\pm M \pm M_s = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}. \quad (6.7)$$

Aylantirilayotgan ish mexanizmi, ko'pincha, reaktiv qarshilik momentiga ega bo'ladi. Bunda momentlarning muvozanat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$M - M_s = M_{\text{din}} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}. \quad (6.8)$$

Motorning turg'un rejimida, ya'ni $n = \text{const}$ bo'lganda (6.8) tenglama yana ham soddalashadi:

$$M = M_s. \quad (6.6)$$

Demak, turg'un rejimda motorning aylantiruvchi momenti statik qarshilik momentiga teng va u bilan doimo muvozanatda bo'ladi. Agar

M_s qiymati o'zgarib, masalan, $M < M_s$, bo'lib qolsa, u holda motorning aylantiruvchi momentining qiymati ham momentlar muvozanati boshqa pastroq turg'un chastotada tiklangunga qadar ko'payib boradi.

(6.4) ifodaga binoan motorning aylantiruvchi momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$M = M_{cm} = \frac{P_{cm}}{\omega} = \frac{60 P_{cm}}{2\pi n} = 9550 \frac{P_{cm}}{n} [\text{Nm}] = 975 \frac{P_{cm}}{n}, \text{ kgm} \quad (6.10)$$

Motor validagi foydali moment quyidagicha topiladi:

$$M_2 = 9550 \frac{P_2}{n} \text{ Nm} = 975 \frac{P_2}{n}, \text{ kgm}, \quad (6.11)$$

Motor shchitida uning nominal foydali quvvati P_n , toki I_n , kuchlanishi U_n va aylanish chastotasi n_n ko'rsatilgan bo'ladi. Bu qiymatlarga binoan motorning nominal aylantiruvchi momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} \text{ Nm} = 975 \frac{P_n}{n_n} \text{ kgm}, \quad (6.12)$$

bunda P_n , kW; n_n , $\frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ hisobida; elektromagnit moment motor validagi momentdan $2 \div 5\%$ gagina katta bo'lgani uchun $M_{cm} \approx M_2$ deb qabul qilinadi.

6.3. Qarshilik va siltash momentlarini motor validagi chastotaga keltirish

Motorning chastotasi ko'pincha ish mexanizmiga kerak miqdordan yuqori, ayrim hollarda esa past ham bo'ladi. Bunday hollarda motor chastotasini pasaytiruvchi yoki ko'paytiruvchi mexanik uzatma (qisqacha — uzatma) dan foydalaniladi.

Demak, motorni aylantiruvchi M , ish mexanizmning qarshilik M_s momentlari hamda aylanuvchi qismlarning siltash GD^2 yoki inersiya J momentlari turli chastota bilan aylanuvchi vallarda hosil bo'lishi mumkin. Ammo motor valiga ta'sir etuvchi momentlarning muvozanat tenglamasi (6.8) ni tuzishda hamma momentlar motor validagi chastotaga keltirilgan bo'lishi kerak. Momentlarni bir xil chastotaga keltirishda sistemaning energetik balansi o'zgarmasdan qolishi kerak. Demak ω_{mex} chastotadagi qarshilik momenti M_{sm} ni motor chastotasi ω_m ga keltirish uchun quyidagi tenglama, ya'ni

$$M_{sm} = \omega_{mex} \frac{1}{\eta_y} M_s \omega_m$$

tuziladi. Bu tenglamadan qarshilik momentining motor validagi chastotaga keltirilgan qiymati M_s quyidagicha aniqlanadi:

$$M_s = M_{sm} \frac{\omega_{mex}}{\omega_m} \frac{1}{\eta_y} = \frac{M_{sm}}{i \eta_y}, \quad (6.13)$$

bunda ω_{mex} — ish mexanizmi validagi chastota;
 η_u — uzatmaning foydali ish koeffitsiyenti;
 $i = \frac{\omega_m}{\omega_{mex}}$ — uzatmaning uzatish soni.

Agar uzatma n elementdan iborat bo'lsa, u holda (6.13) formula-ning quyidagi umumiy ifodasi olinadi:

$$M_s = M_{sm} \frac{1}{i_1 \cdot i_2 \dots i_n \cdot \eta_{y1} \cdot \eta_{y2} \dots \eta_{yn}}, \quad (6.14)$$

bunda

$$i_1 = \frac{\omega_m}{\omega_1}; i_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

va hokazo.

Har bir valdagi kinetik energiya zahiralari yig'indisining o'zgar-masligi asosida tuzilgan quyidagi tenglamadan inersiya momentlari-ning motor valiga keltirilgan qiymati J topiladi:

$$J \frac{\omega_m^2}{2} = J_m \frac{\omega_m^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_n \frac{\omega_n^2}{2}.$$

Demak, J ning qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} J &= J_m + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_m} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_m} \right)^2 + \dots + J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_m} \right)^2 = \\ &= J_m + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_2}{i_1^2 i_2^2} + \dots + \frac{J_n}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2}, \end{aligned} \quad (6.15)$$

bunda J_m — motor yakorining (rotorining) inersiya momenti.

Siltash momentlarining motor valiga keltirilgan qiymati ham yuqoridagi singari ifodadan topiladi, ya'ni

$$GD^2 = GD_m^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_1^2 i_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2} \quad (6.16)$$

bunda GD_m^2 — motor yakorining siltash momenti;

GD^2 — sistema siltash momentlarining motor valiga keltiril-gan qiymati.

Agar motor bilan harakatga keltiriluvchi sistema aylanma va ilgarihlama harakat qiladigan elementlardan iborat bo'lsa, u holda ilgarihlama harakat motor validagi aylanma harakatga keltiriladi. Bunda ham yuqoridagi prinsiplarga asoslaniladi, ya'ni og'irlik kuchi F_{sm} bo'lgan yukni v chastotada ko'tarish uchun quyidagi tenglama tuziladi:

$$F_{sm} \cdot v \cdot \frac{1}{\eta_y} = M_s \omega_m.$$

Undan

$$M_s = \frac{F_{sm} \cdot v}{\omega_m \cdot \eta_y}, \quad (6.17)$$

yoki

$$M_s = 9,55 \frac{F_{sm} \cdot v}{n_m \cdot \eta_y}, \quad (6.18)$$

bunda M_s — ilgarihlama harakatdagi yuk qarshilik momentining motor validagi aylanma harakatga keltirilgan qiymati.

Shunga o'xshash $\frac{mv^2}{2} = J \frac{\omega_m^2}{2}$ dan motor valiga keltirilgan inersiya momentining qiymati topiladi:

$$J = m \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2. \quad (6.19)$$

Siltash momentining motor valiga keltirilgan qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$GD^2 = \frac{365 \cdot Gv^2}{n_m^2} = 365G \left(\frac{v}{n_m} \right)^2. \quad (6.20)$$

Aylanma va ilgarihlama harakat qiladigan elementlardan iborat sistemaning keltirilgan qiymatlari umumiy holda quyidagicha ifodalanadi:

$$J = J_m + J_1 \frac{1}{i_1^2} + J_2 \frac{1}{i_1^2 i_2^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2} + m \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2$$

$$GD^2 = GD_m^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_1^2 i_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2} + \frac{365Gv^2}{n_m^2}. \quad (6.21)$$

6.4. O'zgarmas tok motorlarining mexanik xarakteristikasi

Motor valiga ta'sir etuvchi qarshilik momentining ortishi bilan motorning aylantiruvchi momenti ortadi, kamayishi bilan esa kamayadi. Bunda motorning chastotasi ham o'zgaradi. Motor aylantiruvchi momentining o'zgarishi bilan uning chastotasi qay tarzda o'zga-

rishini ifodalovchi $n = f(M)$ bog'lanish elektr motorning mexanik xarakteristikasi deb ataladi.

O'zgarmas tok motorlari uchun mexanik xarakteristika tenglamasi uning quyidagi asosiy ko'rsatkichlari, ya'ni

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{U - E_{ya}}{\Sigma R} \\ E_{ya} &= k_E n \Phi \\ M &= k_M \Phi I_{ya} \end{aligned} \right\} \text{ifodalarni birgalikda yechishdan aniqlanadi.}$$

Bu tenglamalar sistemasidan $n = f(M)$ bog'lanishini topish uchun dastavval motorning n chastota bilan aylanishida hosil bo'lgan $E_{ya} = k_E n \Phi$ ifodasidan $n = \frac{E_{ya}}{k_E \Phi}$ olinadi. Chastotaning bu ifodasidagi E_{ya} o'rniga uning tok formulasidan topilgan $E_{ya} = U - I_y \Sigma R$ qiymatini qo'yib, quyidagi tenglama olinadi:

$$n = \frac{E_{ya}}{k_E \Phi} = \frac{U - I_{ya} \Sigma R}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{I_{ya} (R_{ya} + R_r)}{k_E \Phi}. \quad (6.22)$$

Bu ifodadan motor chastotasini o'zgartirish usullarini aniqlash mumkin. Shunga binoan, (6.22) ifodani motor chastota xarakteristikasining tenglamasi deyiladi. O'zgarmas tok motorlarining mexanik xarakteristikasi tenglamasini topish uchun (6.22) ifodadagi I_{ya} o'rniga uning $M = k_m \Phi I_{ya}$ ifodasidan olingan $I_{ya} = \frac{M}{k_m \Phi}$ qiymatini qo'yish kifoya, ya'ni

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{I_{ya} \Sigma R}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{\Sigma R}{k_E \cdot k_m \Phi^2} \cdot M. \quad (6.23)$$

Demak, o'zgarmas tok motorlarining (6.23) bilan ifodalangan mexanik xarakteristika tenglamasiga binoan ideal salt ish rejimida, ya'ni $M = M_s = 0$ bo'lganda motorning turg'un (o'zgarmas) chastotasi $n = \frac{U}{k_E \Phi} = n_0$ bo'ladi. Motor valiga mexanizmning biror M_s qiymatli qarshilik momenti ta'sir etishi bilan uning chastotasi n_0 ga nisbat $\frac{\Sigma R}{k_E k_m \Phi^2} M_s$ hisobiga kamayadi. Bunda motorning aylantiruvchi momenti M_s gacha ko'payib, ya'ni $M = M_c$ bo'lib, uning pasaygan turg'un chastotasi quyidagicha aniqlanadi:

$$n = n_0 - \frac{\Sigma R}{k_E k_m \Phi^2} M. \quad (6.24)$$

Haqiqatan, motor chastotasi kamayishi bilan uning yakoridagi e.yu.k. ham kamayib boradi. Bunda $I_{ya} = \frac{U - E_{ya}}{\Sigma R}$ bo'lgani uchun mo-

torning aylantiruvchi $M = k_n \Phi I_{ya}$ momenti qiymati ham momentlar muvozanati tiklanguncha, ya'ni $M = M_s$ bo'lguncha ko'payib boradi. $M = M_s$ bo'lishi bilan motor chastotasining yuklama sababli pasayishi tugaydi va motor yangi o'zgarmas chastota bilan turg'un rejimda ishlay boshlaydi. Qarshilik momentining o'zgarishi bilan elektr motorlarning chastotasi va demak, e.yu.k. qiymati ham o'zgarib, natijada ularning aylantiruvchi momenti ham momentlar muvozanati tiklanguncha o'z-o'zidan o'zgaradi. Elektr motorlarning bu xususiyati ularning asosiy afzalliklaridan biri hisoblanadi. Elektr motorlar tabiiy va sun'iy mexanik xarakteristikalariga ega bo'lishi mumkin.

Yakor yoki rotor chulg'amiga qo'shimcha tashqi qarshilik kiritilmay nominal kuchlanish va nominal magnit oqimda olinadigan $n = f(M)$ bog'lanish elektr motorning tabiiy mexanik xarakteristikasi deyiladi. Yakor yoki rotor chulg'amiga biror tashqi qarshilik kiritilganda hamda kuchlanish yoki magnit oqimning nominaldan farq qilganda olinadigan $n = f(M)$ bog'lanish motorning sun'iy mexanik xarakteristikasi deyiladi. Aylantiruvchi moment o'zgarishi bilan motor chastotasining o'zgarish darajasiga qarab quyidagi mexanik xarakteristikalar bo'lishi mumkin:

1) **mutlaqo qattiq xarakteristika.** Aylantiruvchi momentning nominal qiymatgacha o'zgarishida chastotasi o'zgarmay qoladigan motor mutlaqo qattiq xarakteristikaga ega motor deyiladi. Bunday mexanik xarakteristikaga sinxron motorlar ega bo'ladi;

2) **qattiq xarakteristika.** Aylantiruvchi momentning nominal qiymatgacha o'zgarishida chastotasining qiymati bir ozgina, ya'ni 5—10 foizga o'zgaruvchi motor qattiq xarakteristikaga ega motor deyiladi. Bunday mexanik xarakteristikaga parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok va normal tuzilishdagi asinxron motorlar ega bo'ladi;

3) **yumshoq xarakteristika.** Aylantiruvchi momentning nominal qiymatgacha o'zgarishida chastotasining qiymati keskin o'zgaruvchi motor yumshoq xarakteristikaga ega motor deyiladi. Bunday xarakteristikaga ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok va maxsus tuzilishdagi asinxron motorlar ega bo'ladi.

6.5. O'zgarmas tok motorlarini ishga tushirish

Agar tinch turgan motorni elektr tarmog'iga ulab, unda qarshilik momentidan katta bo'lgan aylantiruvchi moment hosil qilinsa, u aylana boshlaydi. Aylanish chastotasining ortib borishi bilan yakorda hosil bo'ladigan e.yu.k. ham ortib boradi, natijada, yakor toki va, demak, aylantiruvchi moment kamayib boradi.

Aylantiruvchi moment qiymati qarshilik momentigacha kamayganda, ya'ni $M = M_{\text{isht}}$ bo'lib, momentlar muvozanati tiklanganda, chashtotaning ortib borish jarayoni tugaydi va motor berilgan o'zgarmas chastotada ishlay boshlaydi. Tinch turgan motorni elektr tarmog'iga ulab, uning chastotasini $n = 0$ dan $n = n_s = \text{const}$ gacha ortib borishdagi jarayoni motorni ishga tushirish jarayoni deyiladi. Bu jarayoni ishga tushirish toki I_{isht} , ishga tushirish momenti M_{isht} va ishga tushirish vaqti t_{isht} lar bilan xarakterlanadi.

Elektr tarmog'iga ulangan motorning tinch turgan yakori chulg'a-mida hosil bo'lgan tok uning ishga tushirish toki deb ataladi. Yakorning tinch holatida $n = 0$ bo'lgani sababli $E_{ya} = 0$ bo'ladi. Demak, ishga tushirish tokining qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{\text{isht}} = \frac{U}{\Sigma R}, \quad (6.25)$$

bunda $\Sigma R = R_{ya} + R_l$ — yakor zanjirining qarshiligi.

Yakor chulg'aming qarshiligi R_l ning qiymati, odatda juda kichik, ya'ni $R_l \approx (0.1 \div 2) \text{ Om}$ bo'ladi. Shunga binoan nominal tezlik va nominal tok $I_n = \frac{U_n - E_{ya}}{R_{ya}}$ bilan ishlayotgan motor yakoridagi kuch-

lanishning tushuvi $I_{ya} R_{ya} \approx (3 \div 8) \% U_{ya}$ bo'ladi. Demak, nominal kuchlanishli elektr tarmog'iga yakor chulg'amingi bevosita, ya'ni tashqi qarshiliksiz ulansa, u holda bu chulg'amdan o'tadigan yakor tokining qiymati nominalga nisbatan $10 \div 20$ marta ortib ketadi. Natijada kollektor atrofida aylanuvchi olov va haddan tashqari katta aylantiruvchi moment hosil bo'lib, motordagi izolatsiya va aylanuvchi mexanik qismlar ishdan chiqishi mumkin. Ishga tushirish tokini kommutatsiyaga va aylanuvchi qismlarga xavfli bo'lmagan qiymat $I_{\text{isht}} \approx 2I_n$ gacha va, demak, $M_{\text{isht}} \approx 2M_n$ gacha kamaytirish uchun yakor chulg'amiga ketma-ket ulangan rezistor qarshiligi kiritiladi. Bu rezistor ishga tushirish rezistori deyiladi. Ishga tushirish tokini $2I_n$ gacha kamaytiruvchi rezistor qarshiligi R_{isht} ning qiymatining I_{isht} ifodasi orqali $I_{\text{isht}} \approx 2I_n = \frac{U_n}{R_{ya} + R_{\text{isht}}}$ dan topiladi, ya'ni

$$R_{\text{isht}} = R_l = \frac{U_n}{2I_n} - R_{ya}. \quad (6.26)$$

(6.26) ifodadan R_{isht} ning qiymatini topish uchun R_{ya} ni aniqlash kerak. O'zgarmas tok motorlari uchun yakor chulg'ami qarshiligini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$R_{ya} \approx 0,5(1 - \eta) \frac{U_n}{I_n} = 0,5(1 - \eta) R_n, \quad (6.27)$$

bunda $\eta = \frac{P_n}{U_n I_n}$ — motor foydali ish koeffitsiyentining nominal qiymati:

$R_n = \frac{U_n}{I_n}$ — motorning nominal qarshiligi. Yakorga nominal kuchlanish berilganda undan o'tadigan ishga tushirish tokini nominal qiymatgacha kamaytiruvchi qarshilik o'zgarmas tok motorining nominal qarshiligi deb ataladi. Ishga tushirish rezistori odatda bir necha pog'onadan iborat qilib tayyorlanadi. Ishga tushirilgan motor chastotasining ortib borishi bilan uning yakor toki va, demak, aylantiruvchi momenti kamayib boradi. Motor chastotasining n_s , qiymatigacha bir tekisda ortib borishini ta'minlash uchun aylantiruvchi momentning o'rtacha qiymatini o'zgarmas qilib saqlash kerak. Buning uchun ishga tushiruvchi momentning qiymati o'zining $M_{maks} \approx 2M_n = M_{isht}$ qiymatidan $M_{min} = (1,1 \div 1,2) M_n$ gacha kamayganida R_{isht} qarshiligidagi bir pog'onasi shuntlanadi. Bunda tok va, demak, aylantiruvchi moment nominalga nisbatan yana ikki marta ko'payishi darkor. Shu singari chastota ortib borishi bilan ishga tushiruvchi rezistorning qarshiligi kamaytirilib boriladi va R_{isht} ning oxirgi pog'onasi shuntlanganda (rezistor qarshiligi nolga tenglashtirilganda) chastotaning qiymati n_s gacha ortib boradi. Momentlar muvozanati tiklanib, ya'ni $M = M_s$ va $n = n_s$, bo'lishi bilan ishga tushirish jarayoni ham tugaydi.

Ishga tushirish jarayonining davri bir necha sekundda tugashi sababli I_{isht} va M_{isht} qiymatlarining nominalga nisbatan $2 \div 2,5$ marta katta bo'lishi motor uchun xavfli bo'lmaydi (o'tkinchi rejim bobiga qarang).

6.6. Elektr motorning tormoz rejimlari

Mashina va mexanizmlarning ba'zi rejimlarida elektr motor tormoz vazifasini bajarib, turli xil tormoz rejimlarida ishlaydi. Mashina va mexanizmlarni tez va aniq to'xtatish hamda ularning harakat yo'nalishini teskariga o'zgartirish uchun ham elektr motor turli xil tormoz rejimlarida ishlatiladi. Bu rejimlarda hosil bo'lgan elektromagnit moment motor valining harakatiga teskari yo'nalgan bo'ladi. Motorning tormoz rejimida ishlashini, masalan, pastlikka tomon harakat qilayotgan elektr poyezdi misolida ko'rsatish mumkin. Bunda motor valiga potensial energiyadan olingan kuchlar ta'sir etib, uning chastotasini borgan sari orttirib boradi. Chastotaning qiymati chegaraviy, ya'ni ideal salt ish rejimidagi n_0 dan ham ortib ketse, u holda elektr motori tormoz rejimida ishlaydi. Bunda e.yu.k. ning qiymati elektr tarmog'idagi kuchlanishdan katta, ya'ni $E_{ya} > U$ bo'lib, yakor

yoki rotor chulg'amidagi tok va, demak, elektromagnit moment o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Shunday qilib, motorning bu rejimida hosil bo'lgan elektromagnit moment uning validagi harakatga teskari yo'naladi. Buning natijasida poyezdning tezligi xavfli darajagacha ko'tarila olmaydi. Elektr motorining bunday tormoz rejimi uning generator rejimi deyiladi. Haqiqatan, bu rejimda motor valining harakatini tezlashtiruvchi tashqi mexanik kuchlar uni generator rejimida ishlashga majbur etadi. Bu tashqi mexanik kuchlar elektr energiyasiga aylanib, motor ulangan elektr tarmog'iga uzatilib, ya'ni rekuperatsiyalanib turiladi. Bunda elektr tarmog'ida motorning qo'zg'atish uchun kerak bo'lgan tokkina olinadi. Motorning bunday rejimi rekuperativ tormozlanish rejimi deb ham ataladi. Elektr motorning rekuperativ tormozlash rejimidan traktor va avtomashina motorlarini chiniqtirish (obkatka etish) da ham foydalaniladi. Rekupe-rativ tormozlash bilan motor chastotasini n_0 ga nisbatan pasaytirish mumkin emas.

Nominal chastota bilan ishlab turgan mashina yoki mexanizmni tez, aniq va ravon to'xtatish uchun motorni elektrodinamik usul bilan tormozlash kifoya. Buning uchun nominal chastota bilan aylanib turgan motor yakori yoki stator chulg'ami elektr tarmog'idan ajratiladi, ularning qo'zg'atuvchi chulg'amlarini esa elektr tarmog'idan motor to'xtagunga qadar ajratilmaydi. Bunda motorning yakori yoki rotori chulg'amlari biror tashqi qarshilikka yoki o'z-o'ziga qisqa tutashtiriladi, natijada inersiya kuchlari ta'sirida motorning aylanuvchi qismi o'z harakatini davom ettirib tormoz rejimida ishlay boshlaydi.

Haqiqatan, bu rejimning dastlabki paytida $I_{ya} = \frac{-E_{ya}}{R_{ya} + R_{din}}$ bo'lib, bu teskari ishorali yakor tokidan tormozlash momenti $M_t = \frac{E_{ya}}{R_{ya} + R_{din}} \Phi \cdot k_m$ hosil bo'ladi. Tormozlash momenti ta'sirida motor valining inersiya tufayli aylanish chastotasi tezda pasayib u to'xtatiladi. Elektr motorlar teskari ulanish deb ataluvchi tormoz rejimida ham ishlashi mumkin. Motorning bunday rejimi, masalan, kran bilan og'ir yukni ko'tarish tomoniga ulansa ham, ammo uning og'irligi natijasida motor vali teskari tomonga aylana boshlaydi. Bunda motorning aylantiruvchi momenti bilan yukning qarshilik momenti berilgan chastotada tenglashib, yukning o'zgarmas chastota bilan tushirilishi ta'minlanadi.

Elektr motorlarning teskari ulanish rejimidan ularni tez to'xtatish yoki aylanish yo'nalishini o'zgartirishda ham foydalaniladi. Nominal chastota bilan ishlab turgan motorni bu usulda tez to'xtatish uchun yakor elektr tarmog'idan ajratilib, so'ngra yakor qismlarini shu tarmoqqa qaytadan teskari ulash kerak. Bunda qo'zg'atuvchi chulg'am

elektr tarmog'idan ajratilmaydi, yakor zanjiriga esa katta qarshilik R_{tu} kiritilishi zarur. Bu rejimda $I_{\text{ya}} = \frac{-U-E}{R_{\text{ya}}+R_{\text{tu}}}$ bo'lib, tormozlash momenti hosil bo'ladi. Tormozlash momenti ta'sirida motor tezda to'xtatilib, so'ngra aylantiruvchi moment ta'sirida u teskari tomonga motor rejimida aylana boshlaydi. Agar maqsad to'xtatish bo'lsa, u holda motor tormozlash momenti ta'sirida to'xtashi bilan, uni elektr tarmog'idan ajratish lozim. Demak, reversiv motorlarni teskari ulanish usulida, reversivmaslarni esa elektrodinamik usulda tormozlab to'xtatish maqsadga muvofiq natijalar beradi.

6.7. Elektr motorlar chastotasini rostlash

Elektr motor yoki uni ta'minlovchi tok manbai parametrlarini o'zgartirib, motor chastotasini majburiy ravishda o'zgartirish chastotani rostlash deyiladi. Qarshilik momentining o'zgarishida esa elektr motorining chastotasi mexanik xarakteristikaga (xususiyatga) binoan tabiiy ravishda o'zgaradi, xalos. Ishlab chiqarish jarayonida mashina va mexanizmlar turli chastotalar bilan ishlashi mumkin. Masalan, metall qirqish dastgohlarida bir xil buyumni turli materiallar (po'lat, mis, jez h. k.) dan tayyorlash uchun turli qirqish chastotalari talab qilinadi. Bundan tashqari, bir xil materialdan tayyorlanadigan buyumni turli qirqish operatsiyalari uchun ham turli chastotalar kerak, masalan, jilo berish operatsiyasi uchun talab qilinadigan qirqish chastotasi $30 \div 50 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$. Mashina va mexanizmlar validagi chastotani mexanik usul bilan ham rostlash mumkin. Ammo ilgari qo'llanib kelgan bu usul ko'p kamchiliklarga ega. Mashina va mexanizmlar uchun zarur bo'lgan chastotalarni elektr usullar bilan motor chastotasini rostlab hosil qilish ko'p afzalliklarga ega.

Chastotani rostlash usullari quyidagi ko'rsatkichlar bilan xarakterlanadi:

1) rostlash diapazoni; 2) rostlash silliqiligi; 3) rostlash tejamliligi va 4) rostlash mo'tadilligi. Rostlash diapazoni D harfi bilan belgilanib, u quyidagi nisbatdan aniqlanadi:

$$D = \frac{n_{\text{maks}}}{n_{\text{min}}}, \quad (6.28)$$

bunda n_{maks} , n_{min} — rostlash jarayonida nominal yuklamali motorda hosil qilinuvchi maksimal va minimal aylanish chastotalari.

Demak, rostlash diapazoni bilan chastotaning necha marta o'zgartirilishi aniqlanadi.

Rostlash diapazonidagi turli qiymatga ega chastotalar soni bilan esa rostlash silliqiligi φ aniqlanib, uni quyidagi nisbatdan topiladi:

$$\varphi = \frac{n_i}{n_{i-1}}, \quad (6.29)$$

bunda i — turli chastotalarning tartib soni; n_i — tartib soni, i — chastotaning qiymati.

Demak, rostlash silliqiligining qiymati ikki qo'shni chastotalarning nisbatidan topilishi mumkin. Rostlash diapazonidagi turli qiymatdagi chastotalar sonining ortib borishi bilan φ ning qiymati 1 ga yaqinlashadi. Rostlash tejamliyligi chastotani turli usullarga binoan rostlashda qo'llanilgan apparat — uskunalar narxi va hosil bo'ladigan quvvat isrofining qiymatlari bilan aniqlanadi.

Chastotaning rostlanishida elektr motorlar o'zlarining sun'iy xarakteristikalarida ishlaydi. Bunda sun'iy xarakteristikaning qattiqligi tabiiynikiga nisbatan o'zgarishi mumkin. Chastotaning rostlanishidan olingan sun'iy xarakteristikalarining qattiqligi qancha yuqori bo'lsa, rostlashdagi mo'tadillik ham shuncha yuqori bo'ladi. Demak, chastota yuqori mo'tadillik bilan rostlansa, u holda aylantiruvchi momentning o'zgarishi bilan motor chastotasi turg'un qiymatda saqlanadi yoki bir ozginaga o'zgaradi. O'zgarmas tok motorlari chastotasi $n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{(R_m + R_l)}{k_E \Phi} I_{ya}$ ifodaga binoan uch xil usulda, ya'ni kuchlanish U , yakor zanjiriga kiritilgan tashqi qarshilik R_l va magnit oqim Φ ning qiymatlarini o'zgartirish bilan rostlanadi. Kuchlanishni o'zgartirish bilan motorning chastotasini rostlashda yakor zanjirida tashqi qarshilik R_l bo'lmasligi hamda motor qutblarida magnit oqim $\Phi = \Phi_n$ o'zgarmasligi lozim.

Chastotani rostlash uchun ishlatilgan rezistorning qarshiligi uzoq vaqt davom etadigan nominal tokka hisoblanadi. Demak, chastotani rostlash uchun qisqa vaqt ishlashga hisoblangan ishga tushirish rezistoridan foydalanish mumkin emas. Yakor zanjiriga kiritilgan tashqi qarshilik qiymatini ko'paytirish bilan motor chastotasini nominalga nisbatan faqat pasaytirish mumkin.

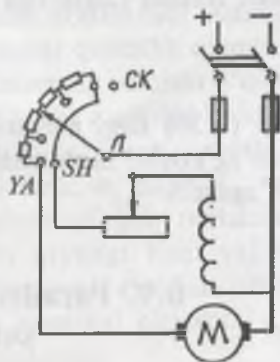
Qutblardagi magnit oqim Φ ning qiymatini o'zgartirish yo'li bilan motorning chastotasini rostlashda $U = U_n = \text{const}$ va $R_l = 0$ bo'lishi lozim.

Nominal rejimda ishlab turgan motorning magnit oqimini o'zgartirish bilan uning chastotasini rostlash uchun magnit oqimni hosil qiladigan qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiridagi tok qiymatini rostlash kifoya. Magnit oqimi nominalga nisbatan faqat kamaytirish imkoni bo'lgani uchun bu usul bilan motor chastotasini nominalga nisbatan faqat yuqori tomonga rostlash mumkin.

Qo'zg'atuvchi chulg'amning ulanish sxemasiga binoan o'zgar mas tok motorlari (generatorlar singari) mustaqil, parallel, ketma-ket va aralash qo'zg'atishli motorlarga bo'linadi. Qo'zg'atuvchi va yakor chulg'amlari turli tok manbalaridan ta'minlanuvchi motor mustaqil qo'zg'atishli motor deyiladi. Mustaqil qo'zg'atishli motordan, ko'pincha chastotasi kuchlanishni o'zgartirish bilan rostlanadigan sistemalarda foydalaniladi.

6.8. Parallel qo'zg'atishli o'zgar mas tok motori

Qo'zg'atuvchi chulg'ami yakor zanjiriga parallel ulanadigan motor parallel qo'zg'atishli motor deyiladi. 6.4-rasmda parallel qo'zg'atishli motorning ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda qo'zg'atish zanjiridagi i_q tokining qiymati yuklamaga, ya'ni yakor tokining qiymati I_y ga bog'liq bo'lmaydi. Motorni ishga tushirish uchun, dastavval, uning yakor zanjiriga ketma-ket ulangan rezistor qarshiligini kiritish zarur. Ishga tushirish va normal rejim bilan ishlash paytlarida motorning qo'zg'atuvchi chulg'ami zanjiridagi rostlash rezistori qarshiligi R_r ning qiymati nol, ya'ni $R_r = 0$ bo'lishi lozim. Shunday qilib, elektr tormog'iga ulangan motorda ishga tushirish momenti $M_{isht} = k_m \Phi I_{isht} \approx 2M_n$ bo'lgan aylantiruvchi moment hosil bo'ladi, bunda $\Phi = \Phi_n$ — qutblarning to'yingan holatiga tegishli nominal magnit oqim. Magnit oqimning bu qiymati qo'zg'atish chulg'ami zanjirlaridagi $i_q = \frac{U}{R_q} = \text{const}$ toki bilan aniqlangani uchun uni o'zgar mas, ya'ni $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ deb qabul qilish mumkin. Demak, nominal aylantiruvchi momentga nisbatan taxminan ikki marta katta ishga tushiruvchi moment ta'sirida motor aylana boshlaydi. Motor chastotasining bir tekisda ortib borishini ta'minlash uchun ishga tushirish rezistori qarshiligini asta-sekin kamaytirib borish kerak. Nominal chastotaga yaqinlashish oldidan $R_{isht} = 0$ qilinadi. Bunda motor chastotasi qarshilik momenti M_s bilan aniqlanadigan n_s gacha ortib boradi va bu $n_s = \text{const}$ chastotada motor turg'un rejim bilan ishlay boshlaydi. Parallel qo'zg'atishli motor uchun mexanik xarakteristika tenglamasi (6.23) ga binoan quyidagicha ifodalaniadi:



6.4-rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning ulanish sxemasi.

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{(R_{ya} + R_k)}{k_E k_m \Phi^2} M = \frac{U}{C_E} - \frac{(R_{ya} + R_k)}{C_E C_m} M = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E C_m} M, \quad (6.30)$$

bunda $C_E = k_E \Phi$ va $C_m = k_m \Phi$ bo'lib, $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ bo'lgani uchun $C_E = \text{const}$ va $C_m = \text{const}$ bo'ladi; $n_0 = \frac{U}{C_E}$ — chegara yoki ideal salt ishlash chastotasi. Shunga binoan, chastota xarakteristikasi tenglamasini ham quyidagicha ifodalash mumkin:

$$n = \frac{U}{C_E} - \frac{\Sigma R}{C_E} I_{ya} = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E} I_{ya}. \quad (6.31)$$

Nominal rejim uchun (6.31) ifodadagi n_0 , o'rniga uning $n_0 = \frac{U}{C_E}$ qiymatini qo'yib, noma'lum S_E ni aniqlash mumkin:

$$C_E = \frac{U - I_n R_{ya}}{n_n}. \quad (6.32)$$

O'zgarmas koeffitsiyent C_m ning qiymatini aniqlash uchun quyidagi nisbatdan foydalaniladi:

$$\frac{k_m}{k_E} = \frac{\frac{pN}{2\pi a}}{\frac{pN}{60a}} = 9,55. \quad (6.33)$$

Demak, parallel qo'zg'atishli motor uchun C_m ning qiymati quyidagicha topiladi:

$$C_m = 9,55 \ C_E = 9,55 \left(\frac{U_n - I_n R_{ya}}{n_n} \right). \quad (6.34)$$

(6.32) dagi C_E ning o'rniga uning $C_E = \frac{U_n}{n_0}$ qiymatini qo'yib, ideal salt ishlash chastotasi aniqlanadi:

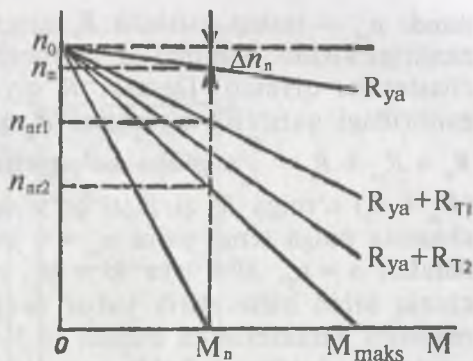
$$n_0 = \frac{n_n U_n}{U_n - I_n R_{ya}}. \quad (6.35)$$

(6.30) dagi mexanik xarakteristika tenglamasiga binoan parallel qo'zg'atishli motorning $n = f(M)$ bog'lanishi to'g'ri chiziqli bo'yicha o'zgaradi.

6.9. Parallel qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikalarini qurish

Tabiiy xarakteristikani qurish uchun koordinatalari $n = n_0$, $M = 0$ va $M = M_n$, $n = n_n$ bo'lgan nuqtalarni aniqlash va so'ngra ularni birlashtirish kifoya.

n_0 va M_n qiymatlari motor shchitida berilgan ko'rsatkichlar asosida yuqorida keltirilgan ifodalarga binoan aniqlanadi. So'ngra n va M lar uchun qabul qilingan masshtablar bo'yicha n_0 va M_n qiymatlari ordinata va abssissa o'qlarida belgilanadi. Absissa o'qining nominal moment M_n ga tegishli nuqtasidan yuqoriga perpendikular o'tkaziladi va undan n_n nuqtasi belgilanadi. Bu nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib tabiiy xarakteristika olinadi (6.5-rasm).



6.5-rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikalarini.

Tabiiy xarakteristikaga binoan chastota pasayishi Δn ning nominal qiymatini quyidagicha aniqlanadi;

$$\Delta n_n = \frac{n_0 - n_n}{n_n}. \quad (6.36)$$

Parallel qo'zg'atishli motorda $\Delta n_n = 2 \div 8\%$ bo'lgani uchun uni qattiq mexanik xarakteristikaga ega deb hisoblanadi. Yakor zanjiriga tashqi R_l qarshiligining turli R_{l1} , R_{l2} qiymatlarini kiritish bilan sun'iy yoki rezistorli deb ataluvchi xarakteristikalarni olish mumkin. Rezistorli xarakteristikalarni olishda $U = U_n = \text{const}$ va $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ bo'lishi lozim. Demak, rezistorli xarakteristikalar ham tabiiy xarakteristika singari n_0 nuqtasidan o'tgan to'g'ri chiziqlar bilan ifodalanadi. Ammo yakor zanjiriga kiritiladigan $R_{l1} < R_{l2}$ bo'lgan tashqi qarshilik qiymatlarining ko'payishi bilan rezistorli xarakteristikalarning abssissa o'qiga qiyaligi ortib boradi. Haqiqatan, R_{l1} va R_{l2} larni yakor zanjiriga kiritish bilan nominal moment M_n da olinadigan nominal n_{nr1} va n_{nr2} chastotalarining qiymatlari ham kamayib boradi. Demak, n_0 bilan n_{nr1} va n_{nr2} nuqtalarini to'g'ri chiziq orqali birlashtirib olingan rezistorli xarakteristikalarning abssissa o'qiga bo'lgan qiyaligi ham yakor zanjiridagi $(R_{ya} + R_l)$ qarshiligi qaymatiga proporsional ravishda ortib boradi. Rezistorli xarakteristikalarga tegishli nominal chastota n_{nr} qiymatlarini (6.31) ga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$n_{nr} = n_0 \left[1 - \frac{I_n (R_{ya} + R_l)}{U_n} \right], \quad (6.37)$$

bunda n_{nr} — tashqi qarshilik R_l ning turli R_{l1}, R_{l2} qiymatlarini yakor zanjiriga kiritib, nominal M_n momentda olinadigan nominal n_{nr1}, n_{nr2} chastotalar qiymati. Demak, R_l qiymatini o'zgartirish bilan yakor zanjiridagi qarshilik qiymatini R_n gacha, ya'ni nominal qarshilik $R_n = R_{ya} + R_l = \frac{U_n}{I_n}$ gacha ko'paytirish mumkin. Agar (6.37) dagi $(R_{ya} + R_l)$ o'rniga R_n qiymati qo'yilsa M_n da olinadigan nominal n_{nr} chastota nolga teng, ya'ni $n_{nr} = 0$ bo'ladi. Shunga binoan, koordinatalari $n = n_0$, $M = 0$ va $M = M_n$, $n = 0$ bo'lgan nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib yakor zanjiridagi R_n qarshilikka tegishli rezistorli xarakteristika olinadi (6.5-rasm). Agar yakor zanjiriga R_n qarshiligi kiritilsa, u holda motorning ishga tushirish momenti va, demak, toki o'zining nominal qiymatlariga teng, ya'ni $M_{isht} = M_n$; $I_{isht} = I_n$ bo'ladi. Ammo ishga tushirish jarayonining qulay sharoitda o'tishini ta'minlash uchun $M_{isht} \approx 2M_n$; $I_{isht} \approx 2I_n$ bo'lib, ularning o'rtacha qiymati o'zgarmas bo'lishi lozim. Buning uchun esa $R_{isht} = R_l$ ning to'la qiymati (6.26) ga binoan aniqlangan bo'lib, uning pog'onalari qarshiligi quyidagicha hisoblanadi.

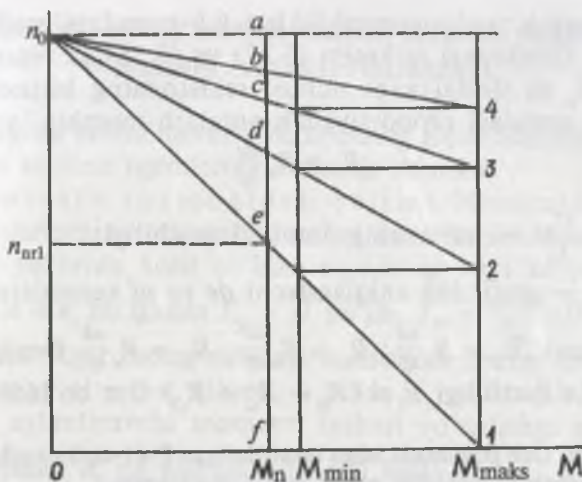
6.10. Parallel qo'zg'atishli motorni ishga tushirish rezistorini hisoblash

Yakor zanjiridagi qarshilikni R_l hisobiga ko'paytirish bilan nominal yuklamada, ya'ni $M_s = M_n = \text{const}$ bilan ishlayotgan motor chastotasi n ning n_0 ga nisbatan pasayishi Δn ni (6.30) ga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta n = n_0 - n = \frac{(R_{ya} + R_l)}{C_E C_m} M_n = C(R_{ya} + R_l), \quad (6.38)$$

bunda $C = \frac{M_n}{C_E C_m} = \text{const}$ — o'zgarmas koeffitsiyent. Demak, yakor zanjiridagi qarshilik $(R_{ya} + R_l)$ ning qiymatini boshqa masshtabda olingan chastota pasayishi Δn ning qiymati bilan aniqlash mumkin. Shunga binoan ishga tushirish rezistorining to'la qarshiligi va har bir pog'ona qarshiliklarini rezistorli xarakteristikalarni qurish bilan, ya'ni grafik usulda aniqlash imkoni olinadi. 6.6-rasmda uch pog'ona bilan ishga tushiriladigan motor uchun rezistor qarshiligini hisoblash ko'rsatilgan.

Buning uchun, dastavval, berilgan motorning parametrlariga binoan uning tabiiy xarakteristikasi quriladi. So'ngra, abssissa o'qida $M_{maks} = 2M_n$ va $M_{min} = (1,1 + 1,2)M_n$ larga tegishli nuqtalar belgilanib, ulardan yuqori tomonga perpendikularlar o'tkaziladi. Demak, ishga tushirish rezistorining to'la qarshiligida hosil bo'ladigan birinchi rezistorli xarakteristikani olish uchun n_0 bilan M_{maks} ga tegishli nuqta-



6.6-rasm. Motorni ishga tushirish rezistori qarshiligini grafik usulda hisoblash.

larni to'g'ri chiziq bilan tutashtirish kifoya. Bu xarakteristika bo'yicha motor chastotasi n_{nrl} qiymatgacha ortib borishi mumkin. Bunda motorning aylantiruvchi momenti M_{maks} dan M_s gacha kamayib, $M = M_s$ bo'lganda u o'zgaras qiymatga ega, ya'ni $n = n_{nrl} = \text{const}$ chastota bilan ishlay boshlaydi. Motor chastotasini n_{nrl} ga nisbatan ko'paytirish uchun aylantiruvchi moment va, demak, yakor toki qiymatini ko'paytirish lozim. Buning uchun esa tashqi qarshilik qiymati R_t ni kamaytirish kifoya.

Ishga tushirish jarayonini jadal va bir tekisda o'tkazish uchun M_{maks} ning M_{min} gacha kamayishi bilan rezistorning birinchi pog'ona qarshiligi R_{t1} shuntlanadi. Bunda yakordagi tok va, demak, aylantiruvchi moment qiymati yana M_{maks} gacha ko'payishi kerak. Chastota qiymati esa inersiya kuchlari ta'sirida o'zgarishga ulgurmagan uchun yakor zanjiridagi R_{t2} qarshilikka tegishli ikkinchi rezistorli xarakteristikani olish uchun n_0 va 2 nuqtalarini to'g'ri chiziq bilan birlashtiriladi. Bu xarakteristika bo'yicha chastotaning ortib borishi bilan moment qiymati kamayib boradi va, nihoyat, uning qiymati $M = M_{min}$ bo'lganda rezistorning ikkinchi pog'ona R_{t2} qarshiligi shuntlanadi. Bunda aylantiruvchi moment qiymati yana M_{maks} gacha ko'payib qolishi lozim va h.k.

Rezistorning uchinchi, ya'ni oxirgi pog'onasi R_{t3} shuntlanganda tabiiy xarakteristika boshlanadigan 4 nuqta olinsa, u holda hisoblashning grafik qismi tugaydi, aks holda esa M_{min} qiymatini bir oz o'zgartirib grafik hisoblash qayta boshlanadi. Amalda, ko'pi bilan, uch marta qayta qurishdan so'ng hisoblash tugallanadi.

Rezistorning pog'ona qarshiliklari 6.6-rasmdagi grafikka binoan aniqlanadi. Grafikdagi af kesim (6.37) va (6.38) ga binoan nominal qarshilik R_n ni ifodalagani uchun rezistorning birinchi pog'ona qarshiligini quyidagi proporsiyadan aniqlash mumkin, ya'ni:

$$R_{11} = R_n \frac{de}{af}, \quad (6.39)$$

bunda $R_n = \frac{U_n}{I_n}$ — motorning nominal qarshiligi;

$\frac{de}{af}$ — grafikdan aniqlanuvchi de va af kesmalarning nisbati.

Shu singari, $R_{12} = R_n \frac{cd}{af}$; $R_{13} = R_n \frac{bc}{af}$; $R_{ya} = R_n \frac{ab}{af}$ Om bo'lib, rezistorning to'la qarshiligi $R_1 = (R_{11} + R_{12} + R_{13})$ Om bo'ladi.

6.1-masala. Uch pog'onada ishga tushiriladigan P-61-tipli parallel qo'zg'atishli motor uchun rezistor qarshiligi grafik usulda hisoblansin.

Berilgan: $R_n = 6 \text{ kW}$, $U_n = 110 \text{ V}$, $I_n = 66 \text{ A}$, $n_n = 1000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$, $\eta = 0,825$.

Yechish. Dastavval motorning tabiiy xarakteristikasi quriladi. Buning uchun n_0 va M_n qiymatlari aniqlanadi, ya'ni

$$n_0 = \frac{n_n U_n}{U_n - I_n R_{ya}} = \frac{1000 \cdot 110}{110 - 66 \cdot 0,5(1 - \eta_n) R_n} = 1100 \frac{\text{ayl}}{\text{min}},$$

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} = 9550 \frac{6}{1000} = 57,3 \text{ Nm}.$$

Koordinatalari $n = n_0$, $M = 0$ va $M = M_n$, $n = n_n$ bo'lgan nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib 6.6-rasmda ko'rsatilgan tabiiy xarakteristika olinadi. Rezistorli xarakteristikalarni qurish uchun M_{maks} va M_{min} qiymatlari aniqlanadi, ya'ni

$$M_{maks} = 2M_n = 2 \cdot 57,3 = 114,6 \text{ Nm}.$$

M_{min} qiymati esa grafik usul bilan hisoblab aniqlanadi, ya'ni

$$M_{min} = 1,16 M_n = 1,16 \cdot 57,3 = 63 \text{ Nm}.$$

Rezistorli xarakteristikalarni yuqoridagi tartibda qurib, so'ngra 6.6-rasmda ko'rsatilgan grafikdan rezistor qarshiliklari aniqlanadi, ya'ni

$$R_{11} = R_n \frac{de}{af} = \frac{U_n}{I_n} \frac{de}{af} = 1,67 \cdot 0,213 = 0,355 \Omega,$$

$$R_{12} = R_n \frac{cd}{af} = 0,197 \Omega; \quad R_{13} = R_n \frac{bc}{af} = 0,121 \Omega$$

$$R_{ya} = R_n \frac{ab}{af} = 0,183 \Omega; \quad R_1 = R_{11} + R_{12} + R_{13} = 0,673 \Omega$$

6.11. Parallel qo'zg'atishli motor tormoz rejimlarining mexanik xarakteristikalari

Parallel qo'zg'atishli motorni rekuperativ, elektrodinamik va teskari ulanish kabi tormoz rejimlarida ishlatish mumkin.

Rekuperativ tormozlash rejimi. Nominal rejimda ishlab turgan motorning chastotasi tashqi kuch ta'sirida ortib borishi bilan uning yakorida hosil bo'lgan e.yu.k. qiymati ko'payib boradi va, nihoyat, $n = n_0$ bo'lganda $E_{ya} = U$ bo'lib, $I_{ya} = \frac{U-E}{R_{ya}} = 0$ va, demak, $M = 0$ bo'ladi. Agar motor validagi n chastota tashqi kuch ta'sirida n_0 dan katta, ya'ni $n > n_0$ qilinsa, u holda $E_{ya} > U$ bo'lib, yakor toki va, demak, aylantiruvchi momenti teskari yo'nalishga ega bo'ladi.

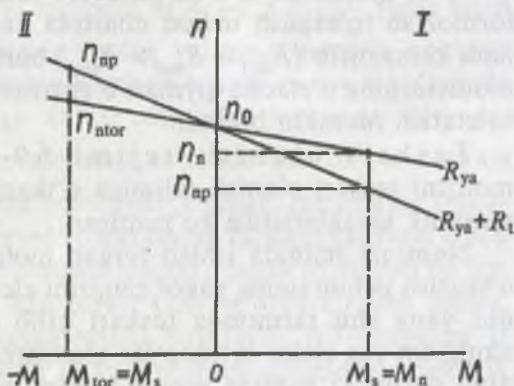
Bunda n qiymati n_0 ga nisbatan qancha katta bo'lsa, $I_{ya} = \frac{-(E_{ya}-U)}{R_{ya}}$ ning qiymati ham, motordagi tormozlovchi elektromagnit moment $M_t = k_m \Phi(-I_{ya}) = -C_m \frac{E_{ya}-U}{R_{ya}}$ ning qiymati ham shuncha katta bo'ladi. Demak, chastotani biror $n > n_0$ qiymatida $M_t = M_s$ bo'lib motor validagi chastota o'zgarmas qiymatga ega bo'ladi. Bunda yakor chulg'amidan o'tuvchi I_{ya} toki elektr tarmog'idan olinmay, balki unga berilib turiladi va shu sababli bu rejimni motorning generator yoki rekuperativ tormozlash rejimi deyiladi.

Rekuperativ tormozlash rejimida yakor tokining yo'nalishi o'zgarгани uchun, motorning bu rejimdagi mexanik va chastota xarakteristikalari tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n = \frac{U}{C_E} + \frac{\Sigma R}{C_E \cdot C_m} M_t = n_0 + \frac{(R_{ya} + R_t)}{C_E C_m} M_t = n_0 + \frac{\Sigma R}{C_E} I_{ya}. \quad (6.40)$$

6.7-rasmdagi koordinata sistemasi II kvadranti-ning yuqorisida parallel qo'zg'atishli motorning rekuperativ tormozlash rejimidagi mexanik xarakteristikasi ko'rsatilgan. Demak, rekuperativ tormozlashdagi mexanik xarakteristika motor rejimidagining davomidan iborat bo'ladi.

Elektrodinamik tormozlash rejimi.



6.7-rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning rekuperativ tormozlash rejimidagi mexanik xarakteristikasi.

6.8-rasmda parallel qo'zg'atishli motorni elektrodinamik tormozlash rejimiga o'tkazish sxemasi va unga tegishli mexanik xarakteristikalari ko'rsatilgan. Nominal rejimda ishlab turgan motorni dinamik tormozlash rejimiga o'tkazish uchun uning yakor chulg'amini elektr tarmog'idan ajratib, biror qarshilikka ulash kifoya. Bunda motorning qo'zg'atuvchi chulg'ami elektr tarmog'iga ulanganicha qolib uning yakori inersiya kuchlari ta'sirida o'z aylanishini davom ettiradi va, demak, motor generator rejimiga o'tib ishlay boshlaydi. Bu rejimning dastlabki paytida chastota qiymati o'zgarishga ulgurmaydi, ya'ni $n = n_n = n_b$ bo'ladi, bunda n_b — boshlang'ich chastota.

Demak, elektrodinamik tormozlash rejimining dastlabki paytida yakor zanjirida hosil bo'lgan tokning qiymati va yo'nalishi quyidagicha bo'ladi:

$$I_{ya} = \frac{-E_{ya}}{R_{ya} + R_{din}}, \quad (6.41)$$

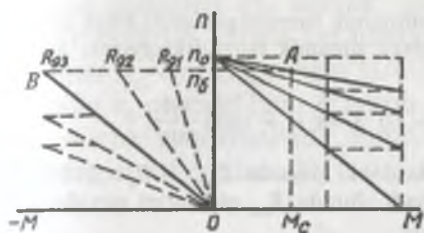
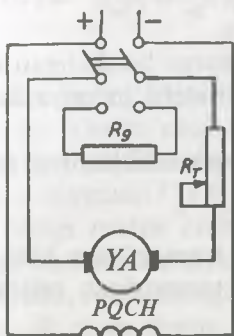
bunda R_{din} — yakor zanjiriga kiritilgan dinamik qarshilik. Bu qarshilikning qiymati ham $I_{ya} \approx 2I_n$ bo'lishi shartidan aniqlanadi. Demak, tormozlash momentining dastlabki qiymati

$$M_t \approx -C_m \frac{E_{ya}}{R_{ya} + R_{din}} \approx -2M_n$$

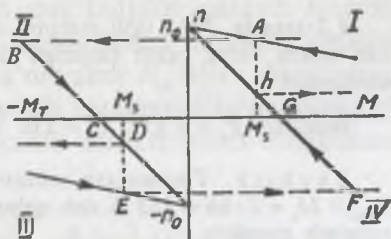
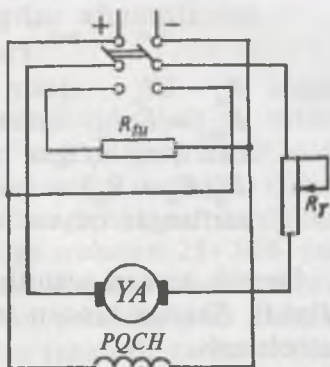
bo'ladi. Bu moment ta'sirida yakorning aylanish chastotasi kamayib natijada e.yu.k. va demak, yakor tokining qiymati ham kamaya boshlaydi. Demak, chastota kamayishi bilan unga proporsional ravishda tormozlash momentining qiymati ham kamayib boradi va, nihoyat, $n = 0$ bo'lganda $M_t = 0$ bo'ladi (6.8-rasm). Motorni tez va bir tekis tormozlab to'xtatish uchun chastota kamayishi bilan R_{din} qiymatini ham kamaytirib ($R_{din1} > R_{din2} > R_{din3}$) borish lozim. Bunda tormozlash momentining o'rtacha qiymati o'zgarmas bo'lib, motorni tez va silliq to'xtatish mumkin bo'ladi.

Teskari ulanish rejimi. 6.9-rasmda parallel qo'zg'atishli motorni teskari ulanish rejimiga o'tkazish sxemasi va unga tegishli mexanik xarakteristika ko'rsatilgan.

Nominal rejimda ishlab turgan motorni teskari ulanish rejimiga o'tkazish uchun uning yakor zanjirini elektr tarmog'idan uzib, so'ngra uni yana shu tarmoqqa teskari qilib ulash lozim, qo'zg'atuvchi chulg'am esa elektr tarmog'iga ulanganicha qolishi kerak. Bu rejimning dastlabki paytida motor yakori inersiya kuchlari ta'sirida o'z aylanishini davom ettiraveradi. Ammo yakor tokining qiymati va yo'nalishi o'zgarib, ya'ni $I_{ya} = \frac{-(U+E)}{R_{ya} + R_{yu}}$ bo'lib qoladi, bunda R_{yu} — yakor



6.8-rasm. Parallel qo'zg'atishli motor-ni elektrodinamik tormozlash yo'li bilan to'xtatish sxemasi.



6.9-rasm. Parallel qo'zg'atishli motorni teskari ulanish rejimiga o'tkazib tormozlab to'xtatish sxemasi.

zanjiriga kiritiluvchi teskari ulanish qarshiligi. Bu qarshilikning qiymati ham $I_{ya} \approx 2I_n$ hisobidan aniqlanadi.

Shunga binoan, motordagi elektromagnit moment ham o'z yo'nalishini o'zgartirib, tormozlovchi moment $M_i = -C_{ra} \frac{(U+E)}{R_{ya}+R_{tu}}$ ifoda bilan aniqlanadi. Bu moment ta'sirida motor valining inersiya kuchlari ta'sirida aylanish chastotasi keskin kamayib boradi va $n = 0$ bo'lganda $E = 0$ bo'lib, motor valiga ta'sir etuvchi moment qiymati $M = -C_m \frac{(U+E)}{R_{ya}+R_{tu}}$ bo'ladi. Bu moment ta'sirida esa motor teskari tomonga motor rejimida aylana boshlaydi. Demak, motorning teskari ulanish bilan olinadigan tormoz rejimi uning validagi chastota $n = 0$ bo'lguncha davom etadi. Agar maqsad motorni tezda to'xtatish bo'lsa, u holda $n = 0$ bo'lishi bilan uni elektr tarmog'idan ajratish lozim, aks holda motor teskari tomonga aylana boshlaydi. 6.9-rasmning II va IV kvadrantlarida motorning teskari ulanish rejimidagi mexanik xarakteristikasi ko'rsatilgan bo'lib, uning III va I kvadrantlardagi davomi esa motor rejimiga tegishlidir. Motorning teskari ulanish rejimidagi quvvatlarning muvozanat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{cl} + P_{mex} = UI_{ya} + E_{ya} I_{ya} = I_{ya}^2 (R_{ya} + R_{tu}),$$

bunda $R_{cl} = UI_{ya}$ — elektr tarmog'idan motorga beriladigan quvvat,
 $R_{mex} = E_{ya} I_{ya}$ — motor valini aylantiruvchi inersiya kuchlaridan hosil bo'lgan quvvat;
 $I_{ya}^2 (R_{ya} + R_{tu})$ — yakor zanjiridagi qarshiliklarning qizishiga sarflangan quvvat isrofi.

Demak, teskari ulanish rejimida elektr tarmog'idan ham quvvat olinadi. Shunga binoan bu eng tejamsiz tormozlash rejimlaridan hisoblanadi.

6.2-masala. P-61 tipli motorni elektrodinamik tormozlash usuli bilan to'xtatish uchun uning yakor zanjiriga kiritiladigan dinamik qarshilik qiymati R_{din} ni aniqlansin.

Berilgan: $P_n = 6 \text{ kW}$; $U_n = 110 \text{ V}$; $I_{ya} = 66 \text{ A}$ va $n_n = 1000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$.

Yechish. Tormozlash rejimining dastlabki paytida $E_{maks} = U_n = 110 \text{ V}$ va $I_{maks} \approx 2I_n = 2 \cdot 66 = 132 \text{ A}$ deb qabul qilinadi. Bunda R_{din} qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin.

$$R_{din} = \frac{E_{maks}}{I_{maks}} - R_{ya} = \frac{110}{132} - 0,10 = 0,68 \Omega.$$

6.3-masala. P-61 tipli motorning teskari ulanish rejimidagi tormozlovchi momenti $M_1 = 2M_n$ bo'lishi uchun uning yakor zanjiriga kiritiladigan qarshilik R_{tu} aniqlansin.

Yechish. Bu rejimda ham $\Phi = \text{const}$ bo'lgani uchun $M_1 = C_m I$ bo'ladi. Shunga binoan R_{tu} qarshilikni quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin:

$$2I_n = \frac{U + E_{ya}}{R_{ya} + R_{tu}},$$

unda $E_{ya} \approx U = 110 \text{ V}$

Demak,

$$R_{tu} = \frac{U + E_{ya}}{2I_n} - R_{ya} = \frac{110 + 110}{132} - 0,15 = 1,45 \Omega.$$

6.4-masala. 100 A tok bilan rekuperativ tormozlash rejimida ishlayotgan P-61 tipli motor validagi chastota aniqlansin.

Yechish. Bunda yakor zanjiriga tashqi qarshilik kiritilmagan deb chastota qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\begin{aligned} n &= n_0 + \frac{R_{ya}}{C_E C_m} M = n_0 + \frac{R_{ya}}{C_E} I_{ya} = \frac{n_n U_n}{U_n - I_n R_n} + \frac{R_{ya} \cdot n_n}{U_n - I_n R_{ya}} I_{ya} = \\ &= 1100 + 150 = 1250 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}. \text{ Bunda } C_E = \frac{U_n - I_n R_{ya}}{n_n} = 0,1 \text{ V} / \frac{\text{ayl}}{\text{min}}. \end{aligned}$$

6.12. Parallel qo'zg'atishli motor chastotasini rostlash usullari

Parallel qo'zg'atishli motorning chastotasi ham uch xil usulda rostdanadi. Yakor zanjiriga kiritiladigan tashqi qarshilik R_t ning qiymatini ko'paytirish bilan motorning chastotasini rostlashda quvvat isrofining qiymati $I_{ya}^2 (R_{ya} + R_t)$ bo'ladi. Shunga binoan, qarshilikni kiritish bilan motor chastotasini nominalga nisbatan 25÷30% past tomonga rostlash tavsiya qilinadi. Rostlash diapazoni bundan ham ko'paytirilsa, rostlashdagi tejamlilik juda ham pasayib ketadi. Bundan tashqari, R_t qiymatining ortib borishi bilan rezistorli xarakteristikalarining qattiqligi va, demak, rostlash mo'tadilligi pasayib boradi. Yakor zanjiriga ketma-ket ulangan R_k qarshilikdan tashqari, parallel ulangan R_{sh} qarshiligi ham kiritilsa, ya'ni yakor R_{sh} bilan shuntlansa, u holda n_0 qiymati ham o'zgarib, rezistorli xarakteristikalar qattiqligi birmuncha yuqorilashadi. Bunda mexanik xarakteristika tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n = n_0 \frac{R_{sh}}{R_k + R_{sh}} - \frac{n_0 I_n}{M_n U_n} \left(R_{ya} + \frac{R_k R_{sh}}{R_k + R_{sh}} \right) M, \quad (6.42)$$

bunda $n_0 \frac{R_{sh}}{R_k + R_{sh}} = n_{osh}$ — shuntlash natijasida olingan salt ish rejimidagi chastota.

Demak, motor yakorini shuntlash bilan n_0 ning qiymati ham rostlanib, natijada rostlash diapazonini $D = 4 \div 5$ gacha kengaytirish imkoni olinadi. Chastotani bunday usul bilan rostlash faqat qisqa vaqtli ish rejimlarida, masalan, motor valini aniq holatda to'xtatish uchun zarur bo'lgan past chastotani olishda qo'llaniladi.

Magnit oqimni o'zgartirish bilan parallel qo'zg'atishli motorning chastotasini rostlash. Magnit oqimni o'zgartirish, ya'ni uni nominal Φ_n ga nisbatan kamaytirish bilan motorning chastotasini 1,5÷2 marta oshirish mumkin. Bu usul bilan ba'zi tipdagi motorlar chastotasini to'rt martagacha ham ko'paytirish imkoni bo'ladi. Magnit oqim qiymati qo'zg'atuvchi zanjirdagi tok bilan o'zgartirilganligi sababli bu usul bilan chastotani rostlash juda ham tejamli bo'ladi. O'zgarma tok motorlaridagi qo'zg'atish toki yakor tokining faqat 1÷5 foiziga teng bo'lgani uchun chastotani bu usulda katta tejamlilik bilan rostlash imkoni olinadi. Magnit oqimni kamaytirish bilan olinadigan sun'iy xarakteristikalar qattiqligi tabiiyga nisbatan past bo'ladi, ammo chastotasi qiymati yuqorilashgani uchun ishlashdagi mo'tadillik, deyarli pasaymaydi. Chastotani bu usul bilan rostlashda magnit oqim qiymatini, umuman,

qutblardagi qoldiq magnitizm qiymatigacha kamaytirish mumkin. Amalda esa Φ ning qiymatini Φ_n ga nisbatan $1,5 \div 2$ martadan ortiqroq kamaytirilsa, yakorning aylanish chastotasi ham proporsional ravishda ortib, kommutatsiya sharoiti yomonlashadi. Bunda magnit oqimning kamayishi bilan $M = k_m \Phi I_n$ ning qiymati ham kamayishi sababli motorning ishlashdagi mo'tadilligi (turg'unligi) pasayadi.

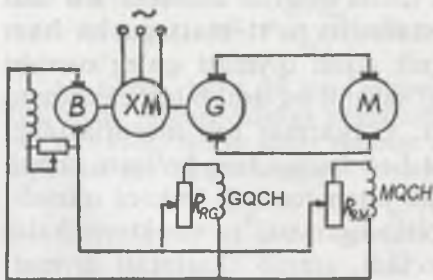
Kuchlanishni o'zgartirish bilan mustaqil qo'zg'atishli motor chastotasini rostlash. Kuchlanishni o'zgartirish yo'li bilan olinadigan sun'iy xarakteristikalarining qattiq-ligi o'zgarmaydi, ya'ni sun'iy xarakteristikalar tabiiy xarakteristikaga parallel bo'ladi. Shu sababli, yakorga beriladigan kuchlanishni o'zgar-tirish bilan mustaqil qo'zg'atishli motorning chastotasini keng miqyosda (diapazonda) rostlash mumkin. Bu usulda olinadigan rost-lash diapazoni qiymati tok manbaidagi kuchlanishning o'zgarish diapazoni bilan aniqlanadi. Mustaqil qo'zg'atishli motorning chastota-sini bu usulda rostlash uchun kuchlanishni o'zgartirib beruvchi tok manbai sifatida, ko'pincha, mustaqil qo'zg'atishli generatordan foydalaniladi. Bunda generator va motorning yakor chulg'amlari bir-biriga bevosita ulanadi, qo'zg'atuvchi chulg'amlari esa, qo'zg'atgich deb ataluvchi kichik quvvatli parallel qo'zg'atishli generatordan tok bilan ta'minlanadi. Bu qo'zg'atgich ham mustaqil qo'zg'atishli generatorni harakatga keltiruvchi motor vali bilan aylantiriladi. Motor chastotasini bunday sistema bilan rostlash amalda juda keng tarqalgan bo'lib, uni generator — motor (G—M) sistemasi deyiladi. 6.10-rasmda G—M sistemasining ulanish sxemasi ko'rsatilgan, bunda M — chastotasi rostlanadigan motor;

G — kuchlanishi o'zgartiriladigan generator;

B — qo'zg'atgich;

XM — generator va qo'zg'atgichni harakatga keltiradigan motor;

$GQCH$, $MQCH$ — tegishlicha generator va motorning qo'zg'a-tuvchi chulg'amlari;



6.10-rasm. Generator — motor sistemasining ulanish sxemasi.

R_{ig} ; R_{im} — tegishlicha generator va motorning qo'zg'atish zanjir-lariga kiritilgan rostlash reostat-larining qarshiliklari.

Generator—motor sistemasi-ni ishga tushirish uchun dastav-val XM sifatida qo'llanilgan asin-xron yoki sinxron motor ishga tu-shiriladi. Bunda G va B lar o'zgar-mas chastota bilan aylanti-riladi. Chastotasi rostlanadigan

motorni ishga tushirish uchun uning magnit oqimini $\Phi = \Phi_n$, generatornikini esa $\Phi_g = \Phi_{\min} \approx \Phi_{qol}$ ga tenglashtirish lozim. Buning uchun *MQCH* dagi R_m qarshiligi nol, *GQCH* dagi R_{rg} qarshiligi esa maksimum qiymatlarga ega bo'lishi kerak. Bunda *GQCH* ni tok manbaiga ulash bilan generator yakorida qoldiq e.yu.k. ga yaqin, ya'ni kichik qiymatga ega bo'lgan e.yu.k. $E_{qol} = E_{gmin}$ hosil bo'ladi.

Natijada, motor yakori zanjiridan quyidagi tok o'ta boshlaydi:

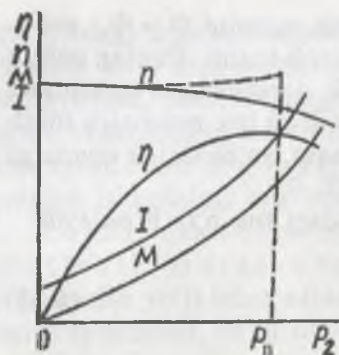
$$I_{isht} = \frac{E_{gmin}}{R_{yam} + R_{yag}}. \quad (6.43)$$

Bu tokdan motorda hosil bo'lgan aylantiruvchi moment $M = k_m \Phi I_{isht}$ qiymati M_s dan katta bo'lsa, motor aylana boshlaydi, aks holda u qo'zg'almay qolaveradi. Motorni harakatga keltirish yoki uning aylanish chastotasini ko'paytirish uchun R_{rg} ni kamaytirish bilan generator qo'zg'atish tokini ko'paytirish kifoya. Chastotaning ortib borishida yakor toki quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{ya} = \frac{E_g - E_m}{R_{yam} + R_{yag}}. \quad (6.44)$$

Motorning minimal chastotasi generatorning qoldiq magnetizmi va, demak, uning qoldiq e.yu.k. E_{qol} bilan aniqlanadi. Haqiqatan generatorning qutblarida kichik qiymatli qoldiq magnit oqim Φ_{qol} bo'lgani uchun qo'zg'atish chulg'amida tok bo'lmasa ham $E_{qol} = k_E n \Phi$ hosil bo'ladi. E_{qol} ning qiymati generator nominal kuchlanishining 3÷6 foizini tashkil qiladi. E.yu.k. ning bu qiymatida ham kichik yuklamali motor "sudralish" deb ataluvchi kichik chastotada aylanib turishi mumkin. R_{rg} qarshilikni bir tekisda kamaytirish bilan motor chastotasini nominal qiymatgacha silliq va tejamli ravishda rostlash imkoni olinadi. Bu sistema bilan olinadigan rostlash diapazoni $D = 4 \div 6$ bo'ladi.

Motor magnit oqimini o'zgartirish bilan G—M sistemadan olinadigan rostlash diapazonini $D = 8 \div 12$ gacha kengaytirish mumkin. Qo'zg'atish chulg'amlardagi tokni o'zgartirish bilan chastotaning rostanishi sababli G—M sistemasi ham tejamli hisoblanadi. Ammo bu sistemani yaratish uchun to'rtta elektr mashinadan foydalaniladi. Shu sababli G—M sistemasining narxi yuqori, foydali ish koeffitsiyenti esa past bo'ladi. Bu kamchiliklarga qaramay, chastotani keng miqyosda silliq va tejamli rostlash kabi afzalliklari uchun generator — motor sistemasidan hozirgi paytda ham foydalaniladi. Kuchlanishni keng diapazonda silliq va tejamli ravishda o'zgartirib beruvchi turli statik o'zgartgichlardan iborat sistemalar bilan ham motor chastotasini rost-



6.11-rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalar.

lovchi avtomatik sistemalar ishi bilan kitobning ikkinchi qismida tanishtiriladi.

Parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalar. Elektr motorning aylanish chastotasi n , yuklama toki I , aylantiruvchi momenti M va foydali ish ko'effitsiyenti η ning motor validagi foydali quvvat R_2 ga bog'lanishini ifodalovchi egri chiziqlarni uning ish xarakteristikalar deb ataladi. Bu xarakteristikalarni olishda elektr tarmog'idagi kuchlanish va motorning qo'zg'atish zanjiridagi tok qiymatlari o'zgarmay turishi lozim.

6.11-rasmda parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalar ko'rsatilgan. Bunda $n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_{ya}}{k_E \Phi} I_{ya}$ ifodaga ko'ra motor validagi foydali yuklamaning ortib borishi bilan I_{ya} ning qiymati ham ortib boradi. Mexanik xarakteristikaga binoan yuklamaning ko'payishi bilan chastota kamaysa, yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'sirida esa Φ ning qiymati kamayib chastota ortadi. Agar yakor reaksiyasining magnitsizlantiruvchi ta'sirida yuklamaning ortib borishi bilan chastota ham ko'payib borsa (6.11-rasm, punktir chiziq), u holda motor turg'un bo'lmagan rejimda ishlay boshlaydi. Yakor reaksiyasi ta'sirini kamaytirish yoki butunlay yo'qotish uchun, odatda, motor qutblariga bir necha o'ramdan iborat chulg'am o'rnatiladi. Bu chulg'am yakor zanjiriga ketma-ket ulanib yakor reaksiyasi ta'sirini avtomatik ravishda kamaytirib turadi. Shuning uchun buni chastotani mo'tadillashtiruvchi chulg'am deb ham ataladi. Mo'tadillashtiruvchi chulg'ami bo'lgan motor yuklamasining ortib borishi bilan uning chastotasi faqat $I_{ya} R_{ya}$ hisobiga kamayib boradi. Motor yakoridagi tok va elektromagnit moment qiymatlari yuklamaga proporsional ravishda o'zgarib boradi. Ammo yuklama ko'payishi bilan chastota qiymatining 3÷8 foizga kamayishi sababli moment qiymati yuqori tomonga bir oz qayrilgan chiziq bo'yicha o'zgaradi. Yuklamaning taxminan 50 foizida foydali ish ko'effitsiyenti maksimal qiymatiga yetadi, yuklamaning nominalgacha ortib borishida esa uning qiymati deyarli o'zgarmaydi. Nominalga yaqin va undan katta yuklamalarda foydali ish ko'effitsiyentining qiymati bir oz kamaya boshlaydi.

6.13. Mexanik xarakteristikalarini qurishda nisbiy birliklardan foydalanish

Agar bir necha motorning mexanik xarakteristikasi bir xil qiyalikka ega bo'lsa, ularni nisbiy birlikda bitta chiziq bilan ko'rsatish mumkin. Nisbiy birlikdagi mexanik xarakteristika tenglamasini tuzish uchun chastota xarakteristikasi ifodasi $n = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E} I_{ya} = n_0 \left(1 - \frac{\Sigma R}{U} I_{ya}\right)$ ning chap va o'ng qismlarini n_0 ga bo'lish lozim. Bunda

$$n' = 1 - \frac{\Sigma R}{U} I_{ya} \text{ yoki } n' = 1 - \frac{I_{ya} \frac{\Sigma R}{I_n}}{\frac{I_n}{I_n}} = 1 - I'_{ya} \Sigma R'$$

olinadi. Demak, nisbiy birlikda chastota xarakteristikasi $n' = 1 - I'_{ya} \Sigma R'$ bo'lib, agar $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ bo'lsa, u holda mexanik xarakteristikasi-ning nisbiy birlikdagi ifodasi $n' = 1 - M' \Sigma R'$ bo'ladi.

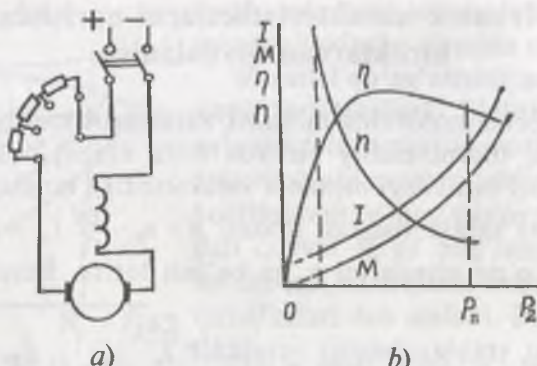
Chastota pasayishining nisbiy birlikdagi ifodasi esa $\Delta n' = I'_{ya} \Sigma R' = M' \Sigma R'$ bo'ladi. Nominal tok yoki nominal momentda $I'_n = 1$; $M' = 1$ bo'lgani uchun chastota pasayishini yana soddaroq ifodalash mumkin, ya'ni $\Delta n' = \Sigma R'$, bunda: $I'_{ya} = \frac{I_{ya}}{I_n}$ — nisbiy birlikdagi tok; $M' = \frac{M}{M_n}$ — moment; $n' = \frac{n}{n_n}$ — chastota va $\Sigma R' = \frac{R_{ya} + R_r}{R_n}$ — yakor zanjiridagi qarshilik.

6.14. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgaras tok motori

Qo'zg'atuvchi chulg'ami yakor zanjiriga ketma-ket ulangan motor ketma-ket qo'zg'atishli motor deyiladi. 6.12-rasmda: *a* — ketma-ket qo'zg'atishli motorning ulanish sxemasi va *b* — ish xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Bunda qo'zg'atish tokining qiymati yakor tokiga teng, ya'ni $i_q = I_{ya}$ bo'lgani uchun magnit oqim Φ_{ning} qiymati ham yuklama tokiga bog'liqlidir. Yuklama tokining kichik qiymatlarida qutb o'zaklari to'yinmagan holatda bo'lgani sababli magnit oqimning qiymati yuklama tokiga to'g'ri proporsional, ya'ni $\Phi = k I_{ya}$. Elektromagnit moment $M = k_m \cdot k I_{ya} I_{ya} = C I_{ya}^2$ bo'lgani uchun yuklama tokining qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$I_{ya} = \sqrt{\frac{M}{C}}. \quad (6.45)$$



6.12-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli motorning xarakteristikalar.

(6.45) ga binoan, qarshilik momentining qiymati nominalga nisbatan, masalan, ikki marta ko'paysa, yuklama tokining qiymati I_n ga nisbatan faqat 40 foizga ko'payadi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorning bu xususiyati uning asosiy afzalliklaridan hisoblanadi.

(6.45) ifodadagi tok qiymatini chastota xarakteristikasining tenglamasidagi tok o'rniga qo'yib, ketma-ket qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikasi tenglamasi olinadi, ya'ni

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{\Sigma R}{k_E \Phi} I_{ya} = \frac{U}{k_E \sqrt{\frac{M}{C}}} - \frac{\Sigma R}{k_E k} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B, \quad (6.46)$$

bunda $A = \frac{U}{k_E k \sqrt{\frac{1}{C}}}$ va $B = \frac{\Sigma R}{k_E k}$ — o'zgarmas koeffitsiyentlar. (6.46)

ifodaga binoan seriyes motor uchun qurilgan mexanik xarakteristika uning to'g'risida faqat umumiy tasavvur beradi. Amalda esa nominal rejimda ishlovchi motorlarning magnit sistemalari to'yingan holatda bo'ladi. Shunga binoan ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning mexanik xarakteristikalar grafoanalitik usulda quriladi. Bunda ma'lum tipdagi motorlar uchun ularni ishlab chiqaruvchi zavodlar tomonidan katalogda berilgan universal tabiiy xarakteristika bog'lanishlaridan, ya'ni $n' = f(I'_{ya})$ va $M' = f(I'_{ya})$ dan foydalaniladi.

6.13-rasmda MP va P tipli ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning $n' = f(I'_{ya})$ va $M' = f(I'_{ya})$ xarakteristikalar ko'rsatilgan. Mexanik xarakteristikalar grafoanalitik usul bilan qurish uchun chastota xarakteristikasi tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n = \frac{U - I_{ya} R_D}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} \left(1 - \frac{I_{ya} R_D}{U} \right), \quad (6.47)$$

bunda $R_D = R_{ya} + R_q$ — yakor zanjirning ichki qarshiligi. Yakor zanjiriga tashqi qarshilikni kiritish bilan rezistorli xarakteristikaning quyidagi ifodasi olinadi:

$$n_r = \frac{U}{k_E \Phi} \left[1 - \frac{I_{ya}(R_D + R_q)}{U} \right]. \quad (6.48)$$

(6.48) ni (6.47) ga bo'lib, undan n_r ning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$n_r = n \frac{U - I_{ya}(R_D + R_q)}{U - I_{ya}R_D}. \quad (6.49)$$

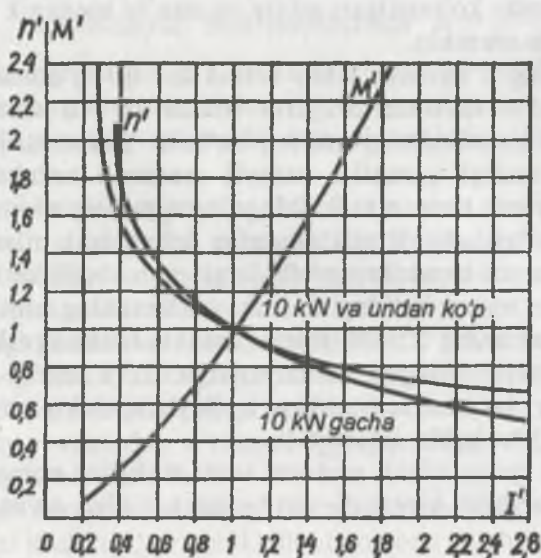
Bu tenglama nisbiy birlikda quyidagi ko'rinishga ega

$$n'_r = n' \frac{1 - I'_{ya}R'}{1 - I'_{ya}R'_D}, \quad (6.50)$$

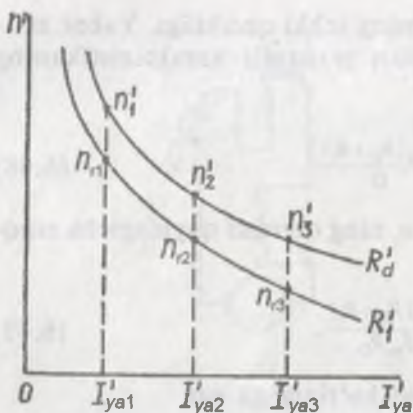
bunda

$$R' = \frac{R_D + R_q}{R_n}; R'_D = \frac{R_D}{R_n}; n' = \frac{n}{n_n}; n'_r = \frac{n_r}{n_n}; I'_{ya} = \frac{I_{ya}}{I_n}.$$

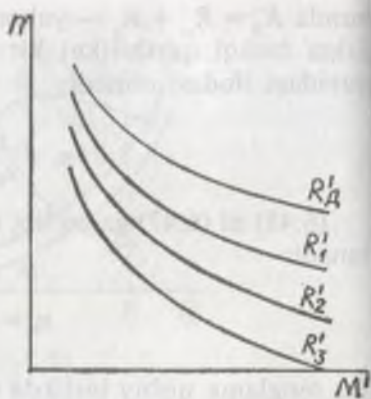
6.13-rasmda keltirilgan tabiiy chastota xarakteristikasi $n' = f(I'_{ya})$ dan foydalanib, (6.50) ifodaga binoan turli tashqi R_{q1}, R_{q2} qarshiliklar uchun sun'iy chastota xarakteristikalarini qurish mumkin.



6.13-rasm. MP va P tipli ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning tabiiy universal xarakteristikalari.



6.14-rasm. Yakor zanjiriga tashqi qarshilik kiritilgan ketma-ket qo'zg'atishli motorning chastota xarakteristikasi.



6.15-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli motorning tabiiy va sun'iy mexanik xarakteristikalar.

6.14-rasmda tashqi R_{11} qarshiligi uchun qurilgan sun'iy xarakteristika ko'rsatilgan.

Shunday qilib, 6.13-rasmdagi $M' = f(I'_{ya})$ va 6.14-rasmdagi chastota xarakteristikalaridan foydalanib ketma-ket qo'zg'atishli motorning 6.15-rasmda ko'rsatilgan tabiiy va sun'iy mexanik xarakteristikalarini qurish mumkin.

Yuklamaning o'zgarishi bilan ketma-ket qo'zg'atishli motorning chastotasi keskin ravishda o'zgarib boradi va shu sababli ularning mexanik xarakteristikalar yumshoq bo'ladi. Yakor zanjiriga ketma-ket ulangan tashqi qarshilik tufayli mexanik xarakteristikaning yumshoqligi yana ham ortadi. Magnit oqimning qiymati yuklama tokiga bog'liqligi sababli yuklamaning kamayishi bilan ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasi xavfli darajagacha ortib ketishi mumkin. Shunga binoan motor validagi doimiy yuklamaning minimal qiymati nominal yuklamaning 25÷30 foizini tashkil etishi kerak.

Yuqorida qayd qilingan xususiyatlarga ko'ra ketma-ket qo'zg'atishli motorlar, ko'pincha tramvay, trolleybus, elektr poyezdlari kabi transport mashinalarida ishlatiladi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motorni ishga tushirish uchun yakor zanjiriga tashqi qarshilik kiritiladi, aks holda, tokining qiymati juda ortib ketadi.

Motorning aylanish chastotasi ortib borishi bilan tok va aylantiruvchi moment qiymatlari kamayib boradi. Aylanish chastotasi bir tekisda ortib borishi uchun ishga tushiruvchi rezistor ayrim pog'o-

nalarining qarshiliklarini ma'lum vaqtlarda yakor zanjiridan chiqarib turish lozim.

Bu motor uchun ham ishga tushiruvchi rezistor qarshiligi grafik usulda hisoblanadi. Buning uchun faqat tabiiy chastota xarakteristikasidan foydalanib, sun'iy xarakteristikalar qurishning keragi ham bo'lmaydi.

6.16-rasmda ikki pog'onali rezistor qarshiligini grafik usulda hisoblash ko'rsatilgan. Bunda, dastavval, tabiiy chastota xarakteristikasi qurilib, unda $I_{\max} \approx 2 I_n$ va $I_{\min} \approx 1,2 I_n$ ga tegishli K va G nuqtalar belgilanadi.

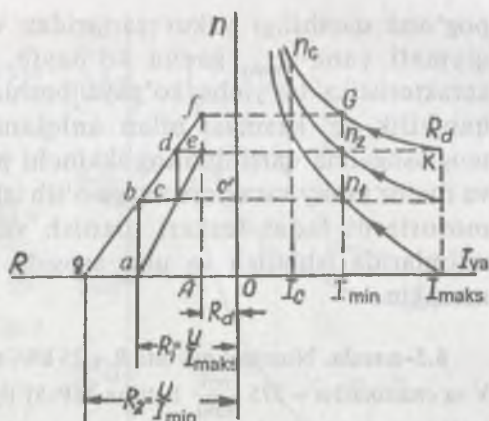
Bu nuqtalardan Af vertikal chizig'i bilan kesishguncha davom etadigan va absissa o'qiga parallel bo'lgan fG va eK chiziqlari o'tkaziladi. Af chizig'i koordinata boshining chap tomonidan OA masofada o'tkaziladi. OA masofa ma'lum bir masshtabda yakor zanjirining ichki qarshiligi R_D ni ifodalaydi. Shu masshtabda $R_1 = \frac{U}{I_{\max}}$ va $R_2 = \frac{U}{I_{\min}}$ qarshiliklarga tegishli bo'lgan oa va og kesmalari belgilanadi. Agar a bilan e va g bilan f nuqtalar birlashtirilsa, motor chastotasining yakor zanjiri qarshiligiga bog'liqligini ifodalaydigan ikki to'g'ri chiziq ae va gf hosil qilinadi.

Ishga tushiruvchi rezistor pog'onalari sonini va ular qarshiligini aniqlash uchun a nuqtadan gf gacha davom etgan vertikal ab va b nuqtadan ae gacha davom etgan gorizontaal bc chiziqlari o'tkaziladi. cd va ef lar ham xuddi shu tarzda o'tkaziladi.

Agar oxirgi gorizontaal chiziq e nuqtadan o'tsa, u holda qarshilikning oxirgi pog'onasi yakor zanjiridan chiqarilishi bilan tabiiy xarakteristika olinadi va shu bilan birga grafik hisoblash tugaydi. Agar gorizontaal chiziq e nuqtadan o'tmasa, $I_{\min}$ qiymatini o'zgartirib, grafik hisoblash qayta boshlanadi.

Demak, bc kesmasi qurilishiga ko'ra, rezistorning birinchi pog'ona qarshiligini ifodalasa, de esa ikkinchi pog'ona qarshiligini ifodalaydi.

Motorni ishga tushirishda, yakor zanjiriga to'la qarshilik R_1 kiritiladi. Chastotaning ortib borishi bilan tok qiymati kamayib boradi. Shunga ko'ra, tokning $I_{\min}$ va chastotaning n_1 qiymatida birinchi



6.16-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli motor yakoriga kiritiladigan pog'onali reostat qarshiligini grafik usulda hisoblash.

pog'ona qarshiligi yakor zanjiridan chiqariladi. Natijada tokning qiymati yana I_{maks} gacha ko'payib, chastota ikkinchi rezistorli xarakteristika bo'yicha ko'paya boshlaydi. Bunda yakor zanjiridagi qarshilik cc' kesmasi bilan aniqlanadi. Chastota qiymati n_2 ga tenglashganda qarshilikning ikkinchi pog'onasi zanjirdan chiqariladi va motor tabiiy xarakteristikaga o'tib ishlaydi. Ketma-ket qo'zg'atishli motorlarni faqat teskari ulanish va elektrodinamik tormozlash rejimlarida ishlatish va ular asosida motorni tormozlab to'xtatish mumkin.

6.5-masala. Nominal quvvati $R = 25 \text{ kW}$, toki $I_m = 134 \text{ A}$, kuchlanishi $U = 220 \text{ V}$ va chastotasi $n = 575 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lgan MP-51 tipli ketma-ket qo'zg'atishli motorning tabiiy xarakteristikasi qurilsin va chastotani minutiga 200 marta aylanishgacha kamaytirish uchun yakor zanjiriga kiritiladigan tashqi qarshilik qiymati aniqlansin, so'ngra bu qarshilikka tegishli rezistorli xarakteristika qurilsin. Bunda yuklama tokining qiymati nominalga teng, ya'ni $I_1 = I_n$ bo'lishi kerak.

Y e c h i s h. Tabiiy xarakteristika $n = f(I_n)$ ni hisoblash uchun 6.13-rasmda keltirilgan $n' = f(I'_{ya})$ egri chizig'idan foydalaniladi. Bunda $I'_{ya} = 1$, $I_n = 134 \text{ A}$, $n' = 1$, $n_n = 575 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'ladi. Demak, chastota xarakteristikasi quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$I_{ya} = I_n \cdot I'_{ya}; \quad n = n_n nF.$$

Hisoblash natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan:

№№	I'_{ya}	I_{ya}	n'	n
	—	A	—	ayl/min
1	0,4	53,6	1,9	1090
2	0,6	80,4	1,35	776
3	0,8	106,2	1,13	650
4	1	134	0,98	564
5	1,2	160	0,93	535
6	1,4	188	0,86	495
7	1,6	214	0,81	464
8	1,8	240	0,78	447
9	2	268	0,75	430

6.17-rasmda ko'rsatilgan tabiiy chastota xarakteristikasi yuqoridagi jadvalda keltirilgan miqdorlar asosida qurilgan.

Motorning nominal qarshiligi $R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{134} = 1,64 \Omega$, uning foydali ish koeffitsiyenti esa

$$\eta = \frac{1000P}{U_n I_n} = \frac{1000 \cdot 25}{220 \cdot 134} = 0,85.$$

Demak, $R_{ya} \approx 0,5(1-\eta) R_n = 0,5(1-0,85) 1,64 = 0,11 \Omega$.

Ketma-ket qo'zg'atishli chulg'am qarshiligi esa

$$R_q \approx 0,5 R_{ya} = 0,5 \cdot 0,11 = 0,055 \Omega.$$

Shunga ko'ra, $R_D = R_{ya} + R_q = 0,11 + 0,055 = 0,165 \Omega$.

Motor chastotasini $n = 200 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ ga cha kamaytirish uchun lozim bo'lgan tashqi qarshilik qiymati (6.49) ifodadagi yakor toki o'rniga uning nominal qiymatini qo'yib, quyidagicha aniqlanadi:

$$R_t = \left(1 - \frac{n_m}{n_n}\right) (R_n - R_D) =$$

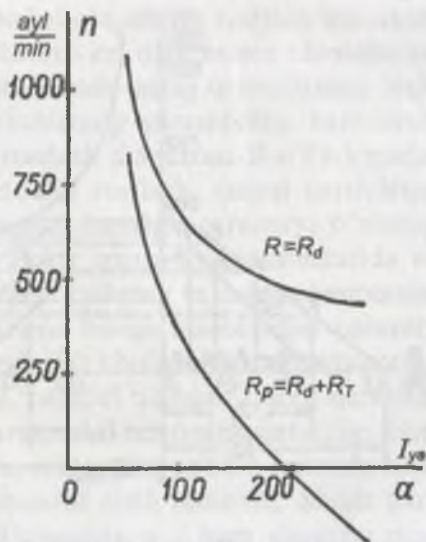
$$= \left(1 - \frac{200}{575}\right) (1,64 - 0,165) = 0,958 \Omega.$$

Motorning rezistorli xarakteristikasi quyidagi ifodaga binoan hisoblanadi:

$$n_r = n \frac{U_n - I_{ya}(R_D + R_t)}{U_n - I_{ya}R_D},$$

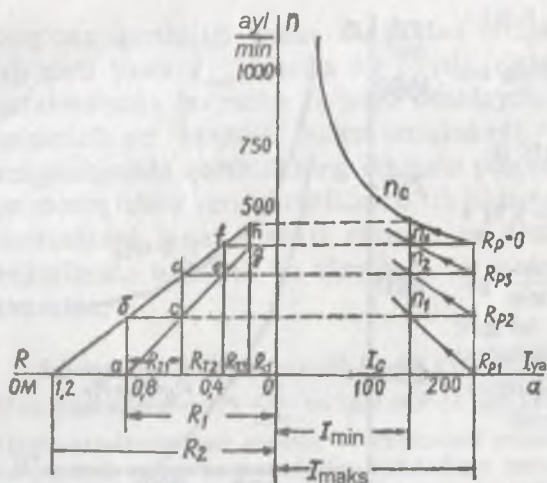
bunda n — tabiiy xarakteristikadagi turli yuklama toklariga tegishli chastotalar. Hisoblash natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan:

№№	I_{ya}	n	n_r
	A	ayl/min	ayl/min
1	53,6	1090	330
2	80,4	776	400
3	106,2	650	325
4	134	564	200
5	160	535	110
6	188	495	26
7	214	464	-50
8	240	447	-125
9	268	430	-195



6.17-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli motorning tabiiy sun'iy xarakteristikalarini qurish.

6.17-rasmda esa jadvaldagi natijalar asosida qurilgan rezistorli xarakteristika ko'rsatilgan.



6.18-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli motor yakoriga kiritiladigan uch pog'onali ishga tushirish reostati qarshiligini grafik usulda hisoblash.

6.6-masala. МП-51 tipli ketma-ket qo'zg'atishli motor uchun uch pog'ona qarshilikdan iborat ishga tushiruvchi rezistor hisoblansin.

Yechish. Bu motorning yuqorida qurilgan tabiiy xarakteristikasida $I_{\max}$ va $I_{\min}$ toklarga tegishli ikki nuqta belgilanadi va $I_{\max} = 2I_n$, $I_s = I_n = \text{const}$ deb qabul qilinadi. Bir necha qayta grafik hisoblashlardan so'ng, tokning minimum qiymati $I_{\min} = 1,2 I_s$ ga tengligi aniqlanadi, bunda

$$R_1 = \frac{220}{2 \cdot 134} = 0,82 \Omega,$$

$$R_2 = \frac{220}{1,2 \cdot 134} = 1,37 \Omega.$$

6.18-rasmda uch pog'ona qarshilikdan iborat ishga tushiruvchi rezistorni grafik usulda hisoblash ko'rsatilgan. Bu grafikdan pog'ona qarshiliklarining quyidagi qiymatlari aniqlangan:

$$R_{11} = 0,3 \Omega; R_{12} = 0,21 \Omega; R_{13} = 0,17 \Omega.$$

Demak,

$$R_{11} = R_D + R_{11} + R_{12} + R_{13}; \quad R_{12} = R_D + R_{12} + R_{13}; \quad R_{13} = R_D + R_{13}.$$

Natijada rezistorning to'la qarshiligi $R_s = R_{11} + R_{12} + R_{13} = 0,68 \Omega$ bo'ladi.

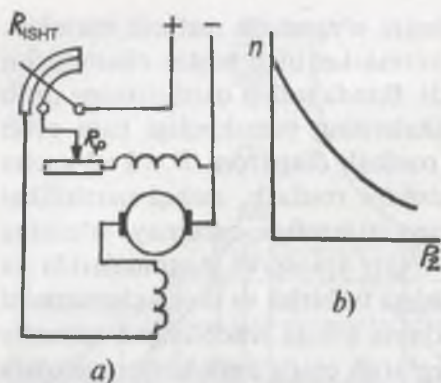
6.15. Ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasini rostdlash usullari

Ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasini ham parallel qo'zg'atishli motorni singari uch xil usul, ya'ni: 1) yakor zanjiriga kiritilgan tashqi qarshilikni o'zgartirib, 2) yakorga berilgan kuchlanishni

o'zgartirib va 3) motor magnit oqimini o'zgartirib rostlash mumkin. Tashqi qarshilikni yakor zanjiriga ketma-ket ulab motor chastotasini nominaldan past tomonga rostlanadi. Bunda tashqi qarshilikning ortib borishi bilan rezistorli xarakteristikalarining yumshoqligi ham ortib boradi. Shunga binoan chastotani rostlash diapazoni $D = 2+3$ gacha borib yetadi. Bunday usulda chastotani rostlash, tashqi qarshilikni qizdirishga sarflanadigan katta quvvat isrofiga qaramay, o'zining soddaligi tufayli, ba'zi kranlarda, elektr transport mashinalarida va shu kabilarda qo'llaniladi. Motorni ishga tushirish va uning chastotasini rostlash uchun uzoq muddatli yuklama tokiga hisoblangan umumiy rezistor ishlatiladi. Ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli motor yakoriga ketma-ket ulangan R_k dan tashqari, parallel ulangan tashqi qarshilik R_{sh} lar kiritilsa, uning rezistorli xarakteristikalarining qattiqligi ham ancha ko'tariladi. Buning natijasida, motorning salt ish rejimida ham uncha xavfli bo'lmagan n_{osh} chastotalarni olish mumkin. Shunt qarshiligi qancha kichik bo'lsa, ideal chastota n_{osh} ham shuncha past bo'ladi.

Shunday qilib, yakorni shuntlab, chastotaning rostlanish diapazonini $D = 3+5$ gacha ko'tarish mumkin. Agar motorning qo'zg'atish chulg'ami shuntlansa, u holda magnit oqim kamayib, uning chastotasi nominalga nisbatan yuqori bo'ladi. Bunda chastotani $D \leq 2$ diapazonida rostlash mumkin.

Kuchlanishni o'zgartirib ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasini rostlash usuli ko'pincha ikki motorli, ya'ni bitta valga o'rnatilgan ikkita motor orqali harakatlantiriladigan mexanizmlarda qo'llaniladi. Bitta motor o'rniga uning quvvatining yarmisiga mo'ljallangan ikkita motor ishlatish bilan chastotani rostlashdan tashqari, motorni ishga tushirish va tormozlab to'xtatish vaqtini tejash imkoni olinadi. Katta gabaritli motor o'rniga kichik gabaritli motorlarni o'rnatish ancha qulaylik tug'diradi va ularning ishlashdagi ishonchligi ancha yuqori bo'ladi (bitta motor ishdan chiqsa, ikkinchisi bilan vaqtincha ishlash imkoni bo'ladi). Bunday motorlar chastotasini rostlash uchun ularning o'zaro parallel ulangan yakor chulg'amlarini ketma-ket ulanadi yoki ketma-ket ulanganini parallel ulashga o'tkaziladi. Natijada ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning har biriga beriladigan kuchlanish qiymati elektr tarmog'idagi kuchlanishga nisbatan ikki marta o'zgartiriladi. Demak, chastotaning rostlanish diapazoni ham $D = 2$ ga teng bo'ladi. Chastotani bunday usul bilan rostlashdan katta quvvatli kran, tramvay va shu kabi transport mexanizmlarida foydalaniladi.



6.19-rasm. Aralash qo'zg'atishli motorning ulanish sxemasi.

6.16. Aralash qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori

Qutblarga o'rnatilgan ikkita qo'zg'atuvchi chulg'aming biri yakor zanjiriga parallel, ikkinchisi esa unga ketma-ket ulangan motor aralash qo'zg'atishli motor deyiladi. 6.19-rasmda aralash qo'zg'atishli motorning ulanish sxemasi va ish xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Bu motorning chastota xarakteristikasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n = \frac{U - I_{yn} \Sigma R}{k_c (\Phi_{sh} \pm \Phi_k)},$$

bunda Φ_{sh} va Φ_k — parallel va ketma-ket qo'zg'atuvchi chulg'amlardagi toklar ta'sirida mashina qutblarida hosil bo'ladigan magnit oqimlari. Agar bu chulg'amlar mos ulangan bo'lsa, umumiy magnit oqim qiymati ($\Phi_{sh} + \Phi_k$), nomos bo'lsa, ($\Phi_{sh} - \Phi_k$) bo'ladi.

Demak, mos ulanishda yuklamaning ortib borishi bilan umumiy magnit oqim qiymati ko'payib, motor chastotasi kamayib boradi. Nomos ulanishda esa yuklamaning ortib borishi bilan magnit oqimining qiymati kamayib, chastotaning qiymati ortib borishi sababli motor turg'un bo'lmagan rejimda ishlashi mumkin. Ammo kam o'ramlardan iborat ketma-ket chulg'amning nomos ulanishida yuklamaning ortib borishi bilan motorning chastotasi amalda o'zgarmas bo'lib qoladi. Aralash qo'zg'atishli motor ketma-ket qo'zg'atishli motor kamchiliklaridan (salt ish rejimida ishlay olmaslik, xarakteristika yumshoqligi) xalos bo'lsa ham, bunday motor murakkabligi va qimmatligi sababli undan nisbatan kam foydalaniladi (transport va kran mexanizmlarida qo'llaniladi).

6.7.-masala. 2П seriyali parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori quyidagi ko'rsatkichlarga ega: $R_n = 8 \text{ kW}$; $U = 110 \text{ V}$; $n_n = 1000 \text{ ayl/min}$; $I_n = 86 \text{ A}$; $R_{yn} = 0,05 \text{ }\Omega$; qo'zg'atish chulg'ami zanjiri qarshiligi $R_q = R + R_{qch} = 32 \text{ }\Omega$. Motorning nominal rejimdagi toklari, quvvat isroflari, teskari e.yu.k. E_{yn} va aylantiruvchi momenti hamda ishga tushirish reostati R_{ishl} siz ishga tushirish toki va $R_{ishl} = 0,6 \text{ }\Omega$ bo'lganda ishga tushirish toki aniqlansin.

Yechish. Motorning elektr tarmog'idan oladigan to'la quvvati $R_{in} = UI = 110 \cdot 86 = 9460 \text{ W}$. Demak, motordagi quvvat isrofi $P = P_{in} - P_{is} = 9460 - 8000 = 1460 \text{ W}$, foydali ish koeffitsiyenti esa, $\eta = P/P_{in} = 8000/9460 = 0,846$ bo'ladi.

Motorning nominal aylantiruvchi momenti $M_n = 9550 \cdot R_n / n_n = 9550 \cdot 8 / 1000 = 76,4$ Nm; Qo'zg'atish chulg'ami zanjiri toki va undagi quvvat isrofi,

$$I_{qn} = U_n / R_q = 110 / 32 = 3,44 \text{ A}; \Delta R_{qn} = I_{qn}^2 R_q = 3,44^2 \cdot 32 = 378,7 \text{ W}$$

Yakor chulg'ami zanjiri toki va chulg'am quvvat isrofi,

$$I_{yan} = I_n - I_{qn} = 86 - 3,44 = 82,56 \text{ A}; \Delta P_{yan} = I_{yan}^2 R_{ya} = 82,56^2 \cdot 0,05 = 340,8 \text{ W}$$

Demak, elektr quvvat isroflari

$\Delta P_e = \Delta P_{yan} + \Delta P_{qn} = 340,8 + 378,7 = 719,5 \text{ W}$ bo'lib, motor po'latidagi mexanik va qo'shimcha quvvat isroflari

$$\Delta P_{po'l} + \Delta P_{mex} + \Delta P_{qo'sh} = \Delta P_n - \Delta P_e = 1460 - 719,5 = 740,5 \text{ W};$$

Qo'shimcha quvvat isrofi, $\Delta R_{qo'sh} = 0,01 R_n = 0,01 \cdot 8000 = 80 \text{ W}$.

Demak, $\Delta P_{po'l} + \Delta P_{mex} = 740,5 - 80 = 660,5 \text{ W}$ bo'ladi. Motorning R_{ish} reostatisiz ishga tushirishdagi yakor toki dastlabki $n = 0$; $E_{ya} = K_E n f = 0$ paytda $I_{ish,1} = U_n - E_{ya} / R_{ya} = 110 / 0,05 = 2200 \text{ A}$. Qo'zg'atish toki $I_{qn} = I_{ish,1} + I_{qn} = 2200 + 3,44 = 2203,44 \text{ A}$ bo'ladi.

Motor momenti $M_n = 76,4 \text{ Nm}$ bo'lib, uning ishga tushirish momenti,

$$M_{ish,1} = M_n \frac{I_{ish,1}}{I_{qn}} = 76,4 \frac{2200}{2203,44} = 2056,8 \text{ Nm bo'ladi.}$$

Demak, $R_{ish,1}$ reostatisiz ishga tushirishda, motor toki va aylantiruvchi moment qiymatlari nominalga nisbatan juda ko'p marta oshib ketib, uni ishdan chiqarishi mumkin. Kommutatsiya talablariga binoan, ularning qiymatlari nominalga nisbatan 2—2,5 marta ortiq bo'lishi mumkin. Shunga binoan, yakor zanjiriga ketma-ket $R_{ish,1} = 0,6 \text{ Om}$ qarshiligi ulanadi va natijada $I_{ish,1} = U - E_{ya} / R_{ya} + R_{ish,1} = 110 / 0,05 + 0,6 = 169,2 \text{ A}$; $M_{ish,1} = 76,4 \frac{169,2}{2203,44} = 156,6 \text{ Nm}$ gacha kamaytiriladi.

Nazorat savollari

1. O'zgarmas tok mashinasining generator va motor rejimlarida ishlash prinsipini tushuntiring.
2. O'zgarmas tok mashinasi tuzilishi va ayrim qismlari vazifalarini tushuntiring.
3. O'zgarmas tok mashinasi e.yu.k. va aylantiruvchi moment formulalarini yozib ko'rsating.
4. O'zgarmas tok mashinasida yakor reaksiyasi nima?
5. O'zgarmas tok generatorining asosiy tavsiflari qanday?
6. O'zgarmas tok mashinasida qo'zg'atish chulg'aming ahamiyati nima iborat?
7. O'zgarmas tok motorining ishlash prinsipini tushuntiring.
8. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorini ulanish sxemasini va uni ishga tushirishni tushuntiring.
9. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motor tezligini rostlash usullarini tushuntiring.
10. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining mexanik tavsiflarini tushuntiring.

11. O'zgarmas tok motorlarida ishga tushirish reostatini ahamiyati va uning qarshiligini aniqlashni tushuntiring.

12. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining mexanik tavsiflari va qo'llanishini tushuntiring.

VII BOB. TRANSFORMATORLAR

7.1. Transformatorning tuzilishi, ishlash prinsipi va ishlatilishi

O'zgaruvchan tok kuchlanishini o'zgartirib beradigan elektromagnit statik apparat transformator deb ataladi. Bunda transformatorga berilgan va undan olingan o'zgaruvchan tokning quvvati va chastotasi ham o'zgarmaydi. Eng oddiy transformator qurish uchun yopiq zanjirdan iborat bo'lgan po'lat o'zakka o'ramlari soni turlicha bo'lgan ikkita chulg'am o'rnatish kifoya. Elektr tarmog'idagi yoki generator-dagi kuchlanishga hisoblangan va unga ulanadigan chulg'am birlamchi, kuchlanishni o'zgartirib beradigan ikkinchi chulg'am ikkilamchi chulg'am deyiladi. Bu chulg'amlarga tegishli miqdorlar ham tegishlicha birlamchi va ikkilamchi deb yuritiladi. 7.1-rasmda bir fazali transformatorning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Bunda U_1 — birlamchi chulg'amga beriladigan birlamchi kuchlanish; U_2 — ikkilamchi chulg'amdan olinadigan ikkilamchi kuchlanish; I_1, I_2 — birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarda hosil bo'lgan birlamchi va ikkilamchi toklar; Φ — birlamchi tokdan yopiq zanjirli po'lat o'zakda hosil bo'lib, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar bilan ilashuvchi magnit oqim; W_1, W_2 — birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning o'ramlari soni.

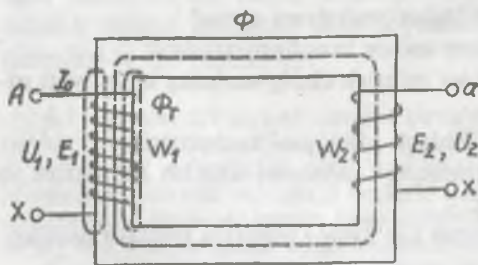
Agar birlamchi chulg'amga U_1 kuchlanishi berilsa, u holda o'zgaruvchan I_1 toki va, demak, o'zgaruvchan magnit oqim hosil bo'ladi. Bu magnit oqimning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar bilan ilashishi natijasida elektromagnit induksiya qonuniga binoan birlamchi

E_1 va ikkilamchi E_2 e.yu.k. lar hosil bo'ladi. E. yu. k. lar qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_1 \cdot \Phi_m, \quad (7.1)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_2 \cdot \Phi_m, \quad (7.2)$$

bunda f_1 — elektr tarmog'idagi kuchlanishning chasto-



7.1-rasm. Bir fazali ikki chulg'amli transformatorning prinsipial sxemasi.

tasi. Bizda, chastotasi $f_1 = 50$ gers bo'lgan elektr energiyasidan foydalaniladi;

Φ_m — po'lat o'zakda hosil bo'lgan magnit oqimning maksimal qiymati.

(7.1) va (7.2)larga binoan quyidagi nisbatni olish mumkin, ya'ni

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}. \quad (7.3)$$

Demak, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarda hosil bo'lgan e.yu.k. lar nisbatini chulg'amlardagi o'ramlar soni nisbati bilan aniqlash mumkin. Transformatorning salt ish rejimida uning birlamchi chulg'amida hosil bo'lgan magnitlantirish tokining qiymati nominal tokning faqat 3÷5 foizini tashkil qilgani uchun $\bar{U}_{1n} = -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 Z_1 \approx -\bar{E}_1$ bo'ladi.

Salt ish rejimida ikkilamchi chulg'amga yuklama ulanmasligi sababli $I_2 = 0$, $U_{2n} \approx E_2$ bo'ladi;

bunda U_{1n} — birlamchi chulg'amga beriladigan kuchlanishning nominal qiymati;

U_{2n} — salt ish rejimida hosil bo'lib, ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi deb ataluvchi kuchlanish;

Z_1 — birlamchi chulg'amning to'la qarshiligi;

R_n — yuklamaning aktiv qarshiligi.

Yuqori kuchlanishli chulg'amda hosil bo'lgan e.yu.k. ning past kuchlanishli chulg'amda hosil bo'lgan e.yu.k. ga nisbati transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti deb ataladi va k harfi bilan belgilanadi. Agar yuqori kuchlanishli chulg'am birlamchi bo'lib, past kuchlanishlisi ikkilamchi bo'lsa, u holda transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_{1n}}{U_{2n}}. \quad (7.4)$$

Demak, transformatorning transformatsiya koeffitsiyentini uning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining salt ish rejimidagi nominal kuchlanishi bilan aniqlash mumkin.

Ikkilamchi kuchlanishi birlamchi kuchlanishga nisbatan katta bo'lgan transformatorlarni kuchaytiruvchi, kichik bo'lganlarini esa pasaytiruvchi transformatorlar deyiladi. Amalda bir, uch va ko'p fazali transformatorlar ishlab chiqarilib, ular quyidagi turlarda bo'ladi:

1) katta quvvatli elektr energiyasini iste'molchilarga uzatish hamda uni taqsimlash uchun kuch transformatorlari deb ataluvchi transformatorlar;

2) berilgan kuchlanish qiymatini bir ozginaga o'zgartirishda, o'zgaruvchan tok motorlarini ishga tushirishda va laboratoriyalarda avtotransformator deb ataluvchi transformatorlar;

3) elektr o'lchash asboblari kuchlanishi va toki turlicha bo'lgan zanjirlarga ulash uchun o'lchash transformatorlari;

4) payvandlashda, simobli to'g'rilagichlarda, chastotani o'zgartirish, tibbiyot, radio va avtomatik qurilmalarda maxsus transformatorlar ishlatiladi.

Turli sohalarda qo'llaniladigan bu transformatorlarning konstruktiv shakllari hamda chulg'am sonlari har xil bo'lsa ham, ammo ishlash prinsiplari va ulardagi elektromagnit hodisalar bir-biridan juda kam farq qiladi. Shuning uchun, eng ko'p tarqalgan ikki chulg'amli, bir va uch fazali transformatorlar bilan tanishish kifoya. Transformatorlarning nihoyat darajada keng tarqalishiga va elektrotexnikaning rivojlanishida yetakchi o'rin egallashiga asosiy sabablar quyidagilardan iborat:

a) transformator yopiq po'lat o'zakli elektromagnit statik apparatdan iborat bo'lgani uchun uning foydali ish koeffitsiyenti juda ham yuqori, ya'ni $\eta \approx 0,98 \div 0,99$ bo'ladi. Shuning uchun transformatorga berilgan va undan olinadigan quvvat deyarli bir xil bo'ladi deb aytish mumkin. Masalan, quvvati $S_n = 100$ kVA, kuchlanishlari esa $\frac{U_1}{U_2} = \frac{6000V}{230V}$ bo'lgan uch fazali transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardagi toki quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 9,63 \text{ A.}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_2} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 230} = 251 \text{ A,}$$

bunda S_n — transformatorning shchitida ko'rsatilgan nominal quvvati, kVA, bu quvvat ikkilamchi chulg'amga tegishli bo'ladi; U_1 va U_2 — transformator shchitida ko'rsatilgan fazalararo kuchlanishlar;

b) $\frac{U_{1n}}{U_{2n}} \approx \frac{I_{2n}}{I_{1n}} \approx k$ bo'lgani uchun, ishlab chiqarilgan elektr energiyasi kuchlanishini transformator bilan oshirib, bu energiyani uzoq masofalarga kam quvvat isrofi bilan uzatish imkoni olinadi. Haqiqatan, uzatish liniyasining qizishiga sarflangan quvvat isrofi undan o'tayotgan tokning kvadratiga proporsional, ya'ni $\Delta R_l = I_l^2 R_l$ bo'ladi. Demak, transformator bilan kuchlanishning qiymati, masalan, 5 marta oshirilsa, uzatish liniyasidan o'tadigan tok qiymati esa 5 marta kamayadi. Qiymati kichik bo'lgan tokni uzatish uchun esa ingichka sim ishlatish mumkin. Bino-

barin, kuchlanishni oshirib, tok qiymatining kamaytirilishi sababli uzatish liniyasida sodir bo'ladigan quvvat isrofini kamaytirish bilan birga, uzatish qurilmasini ancha yengil va arzon qilish imkoni olinadi;

d) elektr tarmog'i mavjud bo'lgan har bir joyda transformator bilan bu energiyani iste'molchilarga osongina taqsimlash mumkin;

e) generatorlardan olinadigan elektr energiyasining maksimal kuchlanishi $15 \div 30$ ming volt va undan ham yuqori bo'ladi. Transformator statik (harakatsiz) apparat bo'lgani uchun u bilan generator kuchlanishini 1500000 volt va undan ham yuqoriga oshirish imkoni olinadi.

7.2. Transformator konstruksiyasining asosiy qismlari

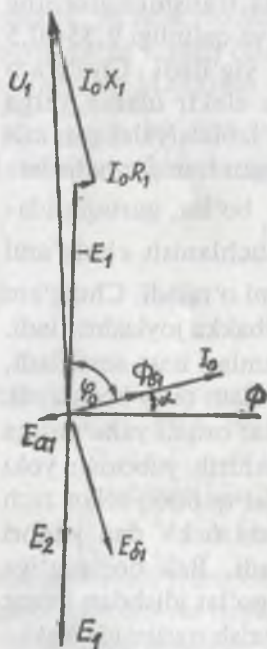
Transformator konstruksiyasining asosiy qismlari po'lat o'zak, chulg'am, bak, chinni qisqichlar, kuchlanishni almashlab ulagich va yordamchi apparatlardan iborat bo'ladi. Uyurma toklar tufayli sodir bo'luvchi quvvat isrofini kamaytirish maqsadida transformatorning magnit zanjiri ham bir-biridan izolatsiya qilingan va qalinligi $0,35 \div 0,5$ mm bo'lgan elektrotexnik po'lat tunukalardan yig'iladi. Chulg'am o'rnatiladigan po'lat o'zak transformator bakiga elektr ulanib yerga tutashtiriladi. Transformator chulg'amlari uchun izolatsiyalangan mis va aluminiy simlar ishlatiladi. Moy bilan sovitiladigan transformatorlarning chulg'am simlaridagi tok zichligi $2 \div 4,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ bo'lsa, quruqlaridagida $1 \div 2,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ bo'ladi. Po'lat o'zakka past kuchlanish chulg'ami o'rnatilib, uning ustiga yuqori kuchlanish chulg'ami o'raladi. Chulg'am o'rnatilgan po'lat o'zak mineral moy to'ldirilgan bakka joylashtiriladi. Bakdagi mineral moy bilan transformator chulg'amlari ham sovitiladi, ham izolatsiyalanadi. Chulg'am qizishi bilan moy ham qiziy boshlaydi. Qizigan moy yuqoriga ko'tariladi va sovib, trubalar orqali yana pastga tushadi. Bakning tagidagi tiqin bilan moyni tushirib yuborish yoki uni tekshirib ko'rish mumkin. Bakning usti po'lat qopqoq bilan zich qilib yopiladi. Quvvati 75 kA dan va kuchlanishi 6 kV dan yuqori bo'lgan transformatorlarda kengaytirgich bo'ladi. Bak qopqog'iga o'rnatilgan kengaytirgich silindr shaklidagi yopiq po'lat idishdan iborat bo'lib, tuba orqali bak bilan ulangan bo'ladi. Qizish natijasida bakka sig'may qolgan ortiqcha moy kengaytirgichga o'tadi. Moyning sathini kuzatib turish uchun kengaytirgichga maxsus shisha naychali ko'rsatkich o'rnatiladi va unda moyning turli sathiga tegishli temperaturalar belgilangan bo'ladi.

Quvvati 1000 kVA dan ortiq bo'lgan transformatorlardagi kengaytirgich bilan bak ulanadigan truba ichiga gaz relesi o'rnatiladi. Moy sathi juda ham pasayib ketsa yoki bak ichida xavfli bo'lgan portlovchi gazlar hosil bo'lsa, gaz relesi transformatorni o'z-o'zidan elektr tarmog'idan ajratib uni himoyalaydi.

Transformatorning yuqori kuchlanishli chulg'amdagi o'ramlar sonini maxsus almashlab ulagich vositasida o'zgartirish bilan uning transformatsiya koeffitsiyentini 5% ga rostlash mumkin. Yuklamali transformatorni elektr tarmog'idan ajratmasdan uning kuchlanishini almashlab ulagich vositasida bir oz rostlash imkoni yaratiladi. Yuqori kuchlanishli chulg'amdagi tok qiymati nisbatan kichik bo'lgani uchun bu chulg'am o'ramlari sonini almashlab ulagich bilan o'zgartirish ham nisbatan oson bo'ladi.

7.3. Transformatorning salt ish rejimi

Transformatorning birlamchi chulg'amiga nominal kuchlanish be-



rilib, ikkilamchi chulg'ami uzluq qoldirilsa, ya'ni unga yuklama ulanmasa, u holda transformatorning salt ish rejimi olinadi. Amalda salt ish rejimi bilan transformator uzoq vaqt ishlab turishi ham mumkin. Salt ish rejimidagi magnitlantirish tokidan magnit yurituvchi kuch $I_0 W_1$ hosil bo'ladi. Bu magnit yurituvchi kuch ta'sirida hosil bo'lgan magnit oqimning po'lat o'zak bo'yicha yopiluvchi va birlamchi hamda ikkilamchi chulg'amlar bilan ilashuvchi katta qismi Φ orqali belgilanib, uni asosiy magnit oqim deyiladi. Magnit oqimning havo bo'shlig'i orqali faqat birlamchi chulg'am bilan ilashuvchi kichik $\Phi_{\delta 1}$ qismi bu chulg'amda $E_{\delta 1}$ e.yu.k. ni hosil qiladi. Bu magnit oqim $\Phi_{\delta 1}$ dan ikkilamchi chulg'amda e.yu.k. hosil bo'lmaydi. Shunga o'xshash magnit oqimning yana kichik $\Phi_{\delta 1}$ qismi havo bo'shlig'i va faqat ikkilamchi chulg'am bilan ilashadi hamda bu chulg'amda e.yu.k. $E_{\delta 1}$ ni hosil qiladi. Demak, birlamchi chulg'am zanjiri uchun e.yu.k. larning quyidagi tenglamasini tuzish mumkin:

7.2-rasm. Transformatorning salt ishlash rejimidagi vektor diagrammasi.

$$\bar{U}_1 = -(\bar{E}_1 + \bar{E}_{\delta 1} + \bar{E}_{a1}). \quad (7.5)$$

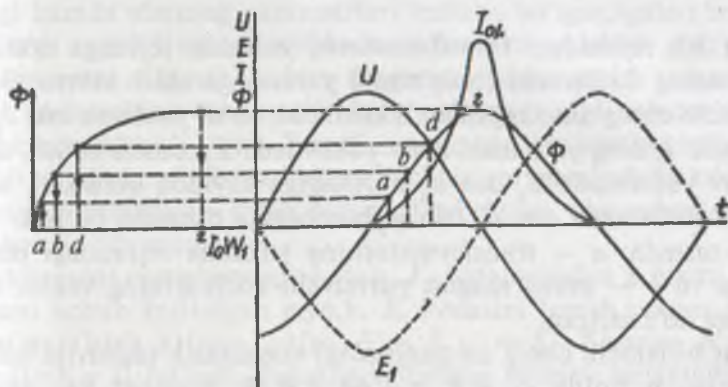
7.2-rasmda transformatorning salt ish rejimidagi (7.5) ifodaga binoan qurilgan vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

Bunda asosiy magnit oqim bilan ilashish natijasida hosil bo'lgan E_1 va E_2 e.yu.k. vektorlari Φ vektoriga nisbatan 90° burchakka keyinda qoluvchi bo'ladi. Magnitlantirish toki I_0 ning vektor Φ ga nisbatan $5 \div 7$ gradusga o'zuvchi bo'ladi. $\Phi_{\delta 1}$ vektori esa I_0 vektori tomon yo'naladi. Birlamchi chulg'amda hosil bo'lgan $E_{\delta 1}$ va E_{a1} e.yu.k. lar qiymatini chulg'amning induktiv va aktiv qarshiliklaridagi kuchlanish tushuvi $E_{b1} = I_0 X_1$ va $E_{a1} = I_0 R_1$ bilan belgilab, vektor diagrammada ko'rsatilgan U_1 qiymatini quyidagi tenglama asosida aniqlash mumkin:

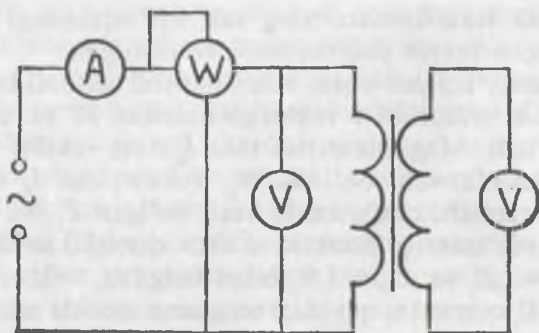
$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 X_1 + \bar{I}_0 R_1. \quad (7.6)$$

$I_0 X_1$ va $I_0 R_1$ qiymatlari salt ish rejimida juda kichikligi uchun amalda $U_1 E_1$ deb qabul qilinadi. Salt ish toki I_0 ni ikki qism, ya'ni aktiv I_{0a} va reaktiv I_{0L} dan iborat deb, uni quyidagicha ifodalanadi: $I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0L}^2}$, bunda $I_{0a} = \frac{P_0}{U_1}$. 7.3-rasmda I_0 tokining magnitlantiruvchi, ya'ni reaktiv qismi I_{0L} ning o'zgarish egri chizig'ini olish ko'rsatilgan. Kichik quvvatli transformatorlarda $I_0 \approx 0,1 I_{1n}$, katta quvvatli larda esa $I_0 (0,02 \div 0,03) I_{1n}$ bo'lib, $\frac{I_{0a}}{I_0} \leq 0,1$ bo'ladi. Birlamchi chulg'amning qizishiga sarflangan quvvat isrofmi hisobga olinmasa, salt ish rejimidagi quvvat isrofi P_0 ning qiymati transformator po'lat o'zagining qizishiga sarflangan quvvat isrofi P_p bilan aniqlanadi, ya'ni $P_0 = P_p$ bo'ladi. Bu quvvatning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lmay, magnit induksiya-ni kvadrati bilan aniqlanadi, ya'ni

$$P_0 \approx P_p = B_m^2 \approx \Phi_m^2 \approx E_1^2 \approx U_1^2. \quad (7.7)$$



7.3-rasm. Transformatorning magnitlantiruvchi tokining o'zgarish egri chizig'ini olish.



7.4-rasm. Transformatorning salt ishlash tajribasining sxemasi.

Demak, salt ish rejimida sodir bo‘luvchi quvvat isrofining qiymati birlamchi kuchlanish kvadratiga proporsional bo‘lib, nominal kuchlanishda $P_0 = P_p = (0,2 \div 0,8) \% S_n$ bo‘ladi. 7.4-rasmda transformatorning salt ish tajribasining sxemasi ko‘rsatilgan.

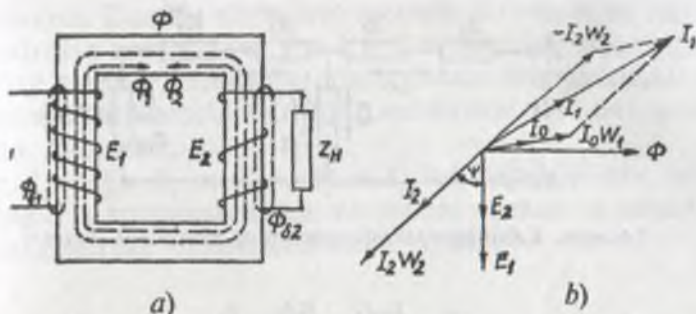
Bunda birlamchi chulg‘am zanjiriga ulangan vattmetr bilan po‘lat o‘zakdagi quvvat isrofi, ya‘ni $P_p = P_0$ aniqlansa, birlamchi chulg‘amga berilgan nominal kuchlanish va, demak, ikkilamchi chulg‘amda ham hosil bo‘luvchi nominal kuchlanishlar nisbati $\left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)$ bilan transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti aniqlanadi. Bu rejimda birlamchi chulg‘am zanjiriga ulangan ampermetr esa salt ish toki I_0 ni ko‘rsatadi.

7.4. Transformatorning yuklama rejimi

Salt ish rejimidagi transformatorni yuklama rejimiga o‘tkazish uchun uning ikkilamchi chulg‘amini yuklamaga ulash kifoya. Bunda ikkilamchi chulg‘am zanjiridan ikkilamchi, ya‘ni yuklama toki I_2 o‘ta boshlaydi. I_2 ning yo‘nalishi aktiv yuklamada E_2 tomon bo‘lsa, aktiv-induktiv yuklamada E_2 dan φ_2 burchagiga keyinda qoluvchi, aktiv-sig‘imli yuklamada esa E_2 dan φ_2 burchagiga o‘zuvchi bo‘ladi.

7.5-rasmda: *a* — transformatorning yuklama rejimidagi ulanish sxemasi va *b* — uning magnit yurituvchi kuchlarining vektor diagrammasi ko‘rsatilgan.

Agar birlamchi chulg‘am zanjiridagi kuchlanish tushuvini hisobga olinmasa, u holda $U_1 = E_1 = 4,44 f_1 W_1 \Phi_m = \text{const}$ va, demak, $\Phi_m = \frac{U_1}{4,44 f_1 W_1} = \text{const}$ bo‘ladi. Transformatorning salt ish va yuklama



7.5-rasm. Transformatorning yuklama rejimi.

rejimlaridagi magnit oqimi bir xil qiymatga ega bo'lgani uchun magnit yurituvchi kuchlar uchun quyidagi tenglamani tuzish mumkin, ya'ni

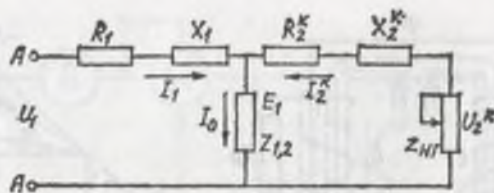
$$\bar{I}_0 W_1 = \bar{I}_1 W_1 + \bar{I}_2 W_2. \quad (7.8)$$

Shunga ko'ra, $\bar{I}_1 W_1 = \bar{I}_0 W_1 + \bar{I}_2 W_2$ bo'ladi. Bu tenglamaga binoan 7.5-rasm, b da magnit yurituvchi kuchlarning vektor diagrammasi qurilgan.

Demak, birlamchi chulg'amdagi m. yu. k. $I_1 W_1$ transformator o'zagini magnitlantirsa, ikkilamchi chulg'amdagi $I_2 W_2$ esa uni magnitsizlaydi. (7.8) ning chap va o'ng tomonlarini W_1 ga bo'lib, quyidagilarni olish mumkin, ya'ni $\frac{\bar{I}_0 W_1}{W_1} = \frac{\bar{I}_1 W_1}{W_1} + \frac{\bar{I}_2 W_2}{W_1}$ yoki $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 \frac{W_2}{W_1}$, ammo $\frac{W_2}{W_1} = \frac{1}{k}$ bo'lgani uchun $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \frac{\bar{I}_2}{k}$ bo'ladi, bunda $\frac{I_2}{k}$ — ikkilamchi tokning birlamchi chulg'amga keltirilgan qiymati.

Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'zaro elektrik bog'lanmaganligi hamda ularning parametrlari turlicha bo'lganligidan bu chulg'amlarga tegishli vektor miqdorlarni bevosita qo'shish yoki ayirish mumkin emas. Demak, vektor diagrammalarini qurish uchun, dastavval, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarga tegishli miqdorlarni bir masshtabga keltirish kerak. Transformatorning ikkilamchi chulg'amiga tegishli miqdorlarni odatda birlamchi chulg'am masshtabiga keltiriladi. Keltirilgan miqdorlarni shtrix daraja bilan belgilab, ular uchun quyidagi ifodalarni olish mumkin.

Ikkilamchi chulg'amdagi e.yu.k. E_2 birlamchidan k marta kichik bo'lgani uchun keltirilgan e.yu.k. E_2 ifodasini topish uchun E_2 ni k ga ko'paytirish kifoya, ya'ni $E_2' = E_2 \cdot k = E_1$. Shunga o'xshash $U_2' = U_2 \cdot k = U_1$ bo'ladi. Tokning keltirilgan qiymati birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardagi quvvatni o'zgartmaslik sharti asosida, ya'ni $E_2 \cdot I_2 = E_2' \cdot I_2'$ dan aniqlanadi. Demak,



7.6-rasm. Keltirilgan transformatorning ekvivalent sxemasi

$$I_2' = \frac{E_2 \cdot I_2}{E_2} = \frac{F_2 I_2}{k E_2} = \frac{I_2}{k}$$

bo'ladi. Shunga o'xshash

$$I_2^2 R_2 = (I_2')^2 R_2' \text{ dan}$$

$$R_2' = \frac{I_2^2 R_2}{(I_2')^2} = \frac{I_2^2 R_2 \cdot k^2}{I_2^2} = k^2 R_2 \text{ va } X_2' = k^2 X_2$$

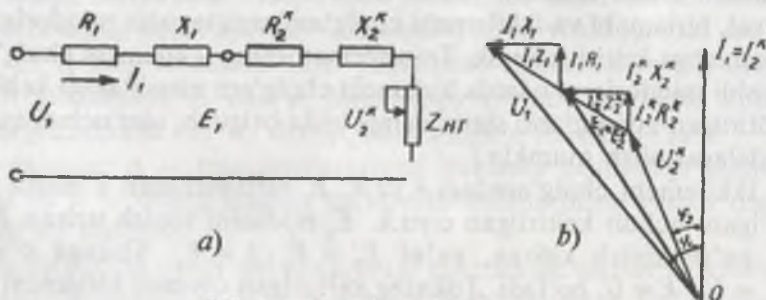
olinadi.

to'la qarshilikning keltirilgan qiymati esa

$$Z_2' = \sqrt{R_2'^2 + X_2'^2} = k^2 Z_2$$

bo'ladi. Ikkilamchi chulg'am parametrlarini birlamchiga keltirish bilan transformatorning ikkala chulg'amini elektr bog'langan deb ham tasavvur etish mumkin. 7.6-rasmda har bir chulg'ami aktiv va induktiv ekvivalent qarshiliklar bilan ifodalangan aktiv-induktiv yuklamali keltirilgan transformatorning ekvivalent sxemasi ko'rsatilgan.

7.7-rasmda, har bir chulg'ami aktiv va induktiv ekvivalent qarshiliklari bilan ifodalangan transformatorning: *a* — soddalashtirilgan ekvivalent sxemasi va *b* — soddalashtirilgan ekvivalent sxemaga tegishli vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Soddalashtirilgan sxemada magnitlan-tirish toki hisobga olinmaydi, ya'ni $I_0 = 0$ deb, bu tok zanjiri



7.7-rasm. Transformatorning:

a — soddalashtirilgan ekvivalent sxemasi; *b* — soddalashtirilgan ekvivalent sxemaga tegishli vektor diagramma.

ko'rsatilmaydi. Demak, ekvivalent sxemada birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardan umumiy tok $I = I_1 = I_2^I$ o'tadi, deb faraz qilinadi.

Bunday sxemali transformatorning vektor diagrammasini qurish uchun hamma ikkilamchi keltirilgan vektorlarni 180° burchakka burish lozim (7.7-rasm, b).

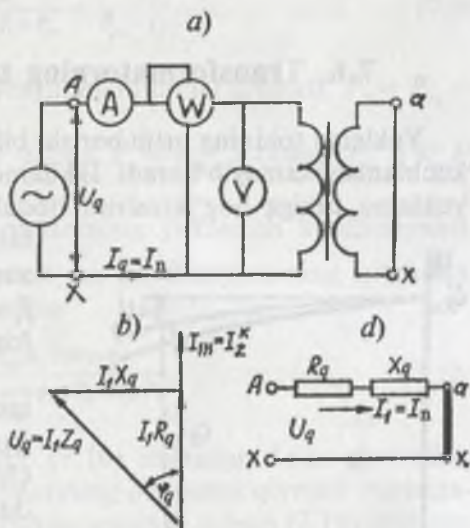
Agar $R_1 + R_2^k = R_q$ va $X_1 + X_2^k = X_q$ deb qabul qilinsa, transformatorning o'ta soddalashtirilgan ekvivalent sxemasi va unga tegishli vektor diagrammasi olinadi (7.8-rasm, d, b).

7.5. Transformatorning qisqa tutashish rejimi

Nominal yuklama bilan ishlayotgan transformatorning ikkilamchi chulg'ami tasodifan qisqa tutashib qolsa, u holda bu chulg'amdan o'tadigan tokning qiymati nominalga nisbatan 1020 marta ortib ketadi. Agar saqlagichlar transformatorni elektr tarmog'idan o'z vaqtida ajratib, uni qisqa tutashish tokidan himoyalab qolmasa, og'ir avariya sodir bo'lishi turgan gap. Transformatorning qisqa tugashish rejimidagi parametrlarini qisqa tutashish tajribasidan aniqlanadi.

7.8-rasmda qisqa tutashish tajribasining sxemasi, unga tegishli vektor diagramma va transformatorning o'ta soddalashtirilgan ekvivalent sxemasi ko'rsatilgan.

Transformatorning qisqa tutashish tajribasini o'tkazish maqsadida ikkilamchi chulg'amni qisqa tutashtirib (ko'pincha bu tutashtirish ampermetr orqali bo'ladi) birlamchi chulg'amga beriladigan kuchlanish qiymatini noldan astasekin ko'paytirib borish lozim. Bunda transformator chulg'amlaridagi tok qiymati keskin ravishda ortib boradi. Chulg'amlardagi tokning qiymati nominalga tenglashguncha birlamchi chulg'amga beriladigan kuchlanish qiymati ko'paytirilib boriladi. Bu rejimda nominal toklarni hosil qiladigan birlamchi chulg'amga beriladigan kichik qiymatli



7.8-rasm. Transformatorning:

a — qisqa tutashish tajribasining sxemasi;
 b — unga tegishli vektor diagramma; d — o'ta soddalashtirilgan sxemasi.

kuchlanishni qisqa tutashish kuchlanishi deyiladi. Qisqa tutashish kuchlanishining qiymati transformator shchitida ko'rsatilgan bo'lib, kuchlanishi 35 kV gacha bo'lgan transformatorlarda $U_q = 5,5 \div 7,5\% U_n$; 110 kV gacha bo'lganlarda esa $U_q = 10,5 \div 11,5\% U_n$ bo'ladi.

Bu tajribada transformatorga berilgan quvvat uning chulg'amidagi mis simlarning qizishiga befoyda sarflanadi. U_q qiymati past bo'lgani uchun po'lat o'zakdagi quvvat isrofi hisobga olinmasa ham bo'ladi. Bunda birlamchi chulg'amga ulangan vattmetr faqat chulg'amlarning qizishiga sarflangan quvvat isrofini ko'rsatadi, ya'ni $P_m = P_{m1} + P_{m2} = I_{ln}^2 (R_1 + R_2^k)$ bo'lib, $P_q = P_m$ — qisqa tutashish tajribasidagi va, demak, chulg'am mis simlarining qizishiga sarflangan quvvat isrofi.

Transformatorning 7.8-rasmda ko'rsatilgan vektor diagrammasini qurish uchun kerak bo'lgan parametrlarni ham qisqa tutashish tajribasida aniqlash mumkin, ya'ni

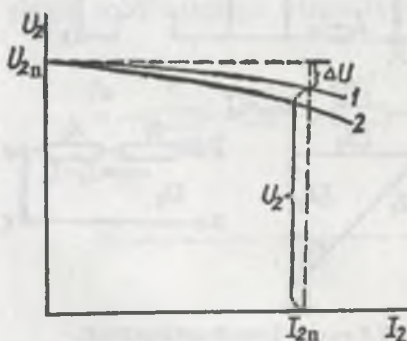
$$Z_q = \frac{U_q}{I_q}; R_q = R_1 + R_2^k = \frac{P_q}{I_q^2};$$

$$X_q = X_1 + X_2^k = \sqrt{Z_q^2 - R_q^2}; \cos \varphi_q = \frac{P_q}{I_q U_q}.$$

Elektr energiyasini uzatish va taqsimlashga mo'ljallangan transformatorlar uchun $P_q \approx (1 \div 3,7)\% S_n$ bo'ladi.

7.6. Transformatorning tashqi xarakteristikasi

Yuklama tokining ortib borishi bilan transformatorning ikkilamchi kuchlanishi kamayib boradi. Ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishning yuklama tokiga bog'lanishini ifodalovchi grafik transformatorning



7.9-rasm. Transformatorning tashqi xarakteristikasi.

tashqi xarakteristikasi deyiladi. Bu xarakteristikani olishda $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ va $\cos \varphi_2 = \text{const}$ bo'lishi lozim.

7.9-rasmda transformatorning tashqi xarakteristikasi ko'rsatilgan. Bunda 1 egri chiziq $\cos \varphi_2 = 1$ ga, 2 chiziq $\cos \varphi_2 = 0,8$, ya'ni aktiv-induktiv yuklamaga tegishli.

Yuklamaning ortib borishi bilan kuchlanishning pasayishi tashqi xarakteristikasiga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta U = (U_{2n} - U_2), \text{ V yoki } \Delta U\% = \frac{U_{2n} - U_2}{U_{2n}} 100,$$

bunda U_{2n} — salt ish rejimiga tegishli ikkilamchi nominal kuchlanish;

U_2 — nominal yuklamaga tegishli kuchlanish. Kuchlanishning pasayish qiymati analitik usul bilan ham aniqlanishi mumkin.

$\cos \varphi_2 = 0,8$ va $U = 5,5 \div 10,5\%$ bo'lgan transformatorlar uchun $\Delta U = 4 \div 8\%$ U_{2n} bo'ladi.

7.7. Transformatorning foydali ish koeffitsiyenti

Transformatordan olingan aktiv quvvatining u qabul qilayotgan aktiv quvvatga bo'lgan nisbati uning foydali ish koeffitsiyenti deb ataladi, ya'ni $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ yoki $\eta\% = \frac{P_2}{P_1} 100$. Demak, bu koeffitsiyentning qiymatini birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarga ulangan vattmetrlar bilan ham aniqlash mumkin. Ammo har bir transformatorning f.i.k. yuklama rejimi bilan aniqlansa, u holda juda ko'p elektr energiya befoyda sarflanadi. Amalda salt ish va qisqa tutashish tajribalaridan topilgan P_r va P_m lardan foydalanib f. i. k. qiymatini osongina aniqlash mumkin, ya'ni

$$\eta_n = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_r + P_m} = \frac{P_{2n}}{P_{2n} + P_r + P_m}, \quad (7.9)$$

bunda η_n — foydali ish koeffitsiyentining nominal qiymati; $P_2 = P_{2n}$ — nominal quvvat.

Turli qiymatdagi yuklamalar uchun $P_2 = k_{yu} \cdot S_n \cos \varphi_2$; $P_m = k_{yu}^2 P_q$ bo'ladi.

Bunda $k_{yu} = \frac{P_2}{P_{2n}}$ — transformatorning yuklanish koeffitsiyenti.

Demak, turli yuklamalarda foydali ish koeffitsiyentining qiymatini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$\eta = \frac{k_{yu} S_n \cos \varphi_2}{k_{yu} \cdot S_n \cos \varphi_2 + P_0 + k_{yu}^2 P_q}. \quad (7.10)$$

$k_{yu} = 0; 0,25; 0,75$ va 1 deb, (7.10) ifodadan f.i.k. qiymatlari aniqlanadi. Foydali ish koeffitsiyentining eng katta qiymati yuklamang qanday qiymatida sodir bo'lishini aniqlash uchun (7.10) ifodadan $\frac{d\eta}{dk_{yu}}$ hosilasini olib, uni nolga tenglanadi va olingan tenglamaga nisbatan yechiladi. Bundan $P_0 = k_{yu}^2 P_q$ bo'lganda $\eta = \eta_{maks}$ bo'lishi aniqlanadi.

Demak, η_{maks} ni olish shartidan yuklanish koeffitsiyentining optimal qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin, ya'ni

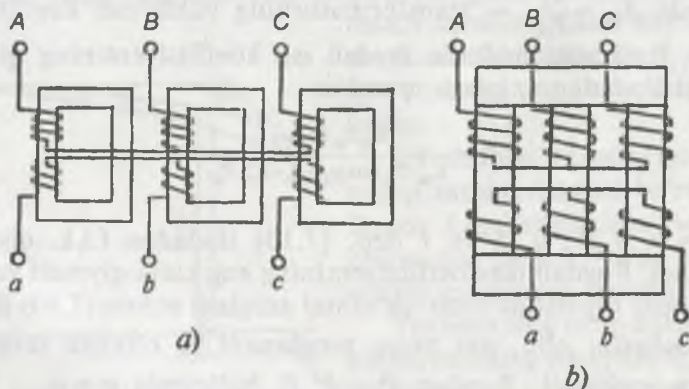
$$k_{yu} = \sqrt{\frac{P_0}{P_q}}. \quad (7.11)$$

Hozirgi zamon transformatorlarida $\frac{P_0}{P_q} \approx \frac{1}{3} + \frac{1}{4}$ va, demak, $k_{yu} = 0,5 \div 0,58$. Shunga binoan 50÷60% yuklama bilan ishlayotgan transformator eng yuksak η ga ega bo'ladi. Amalda ham transformator 60÷70% yuklama bilan ishlatiladi. Transformatorlarning foydali ish koeffitsiyentlari umuman juda yuqori, ya'ni $\eta = 0,98 \div 0,99$ bo'ladi.

7.8. Uch fazali transformatorlar

Uch fazali tok kuchlanishini o'zgartiruvchi statik elektromagnit apparat uch fazali transformator deyiladi. Bunda transformatorning uchta birlamchi va uchta ikkilamchi chulg'amlari yulduz yoki uchburchaklik sxemasi bilan ulanadi. Demak, uchta bir fazali transformator birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarini yulduz yoki uchburchaklik sxemasida ulab, uch fazali transformatorni olish mumkin. 7.10-rasm, a — uchta bir fazali transformatorlardan olingan uch fazali va b — uch fazali konstruksiyada tayyorlangan transformatorning prinsipial sxemalari ko'rsatilgan.

Uch fazali konstruksiyadan tayyorlangan transformatorning chulg'amlari uch sterjenli po'lat o'zakka o'rnatiladi. Uch sterjenli po'lat o'zakning og'irligi va gabariti uchta bir fazali transformatorlarning ikki sterjenli o'zaklaridan birmuncha yengil va kichik bo'ladi. Simobli

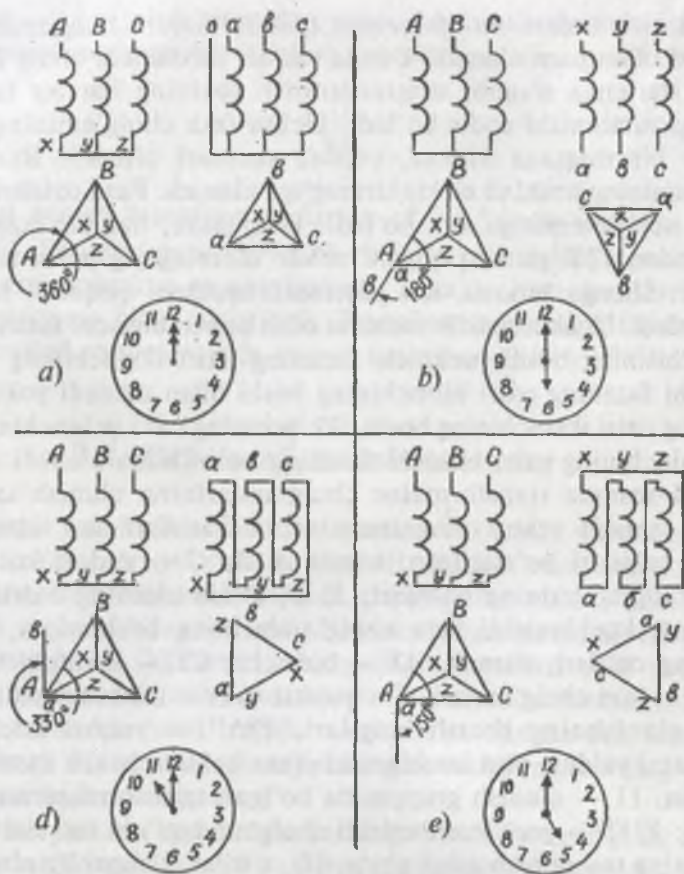


7.10-rasm. Uch fazali transformatorlarning prinsipial sxemasi.

to'g'rilagich uchun mo'ljallangan transformator chulg'amini zigzag sxemasi bilan ham ulanadi. Bunda har bir ikkilamchi chulg'am fazasi ikkita sterjenga o'ralib, magnitlantirish tokining har bir fazaga bir xilda taqsimlanishi sodir bo'ladi. Uchta faza chulg'amining oxirlari o'zaro bir nuqtaga ulansa, yulduz sxemasi olinadi. Bunda faza chulg'amining boshlari elektr tarmog'iga ulanadi. Faza oxirlari ulangan nuqta nol potensialga ega bo'ladi. Haqiqatan, har bir fazadagi tok bir-biridan 120° ga farq qilgani uchun ularning yig'indisi nolga teng bo'ladi. Shunga binoan, nol potensialli nuqtani qisqacha nol nuqta deb ataladi. Uchburchaklik sxemani olish uchun birinchi fazaning oxiri, uchinchisining boshi, uchinchi fazaning oxiri ikkinchining boshi va ikkinchi fazaning oxiri birinchining boshi bilan ulanadi yoki birinchi fazaning oxiri ikkinchining boshi, ikkinchining oxiri uchinchining boshi va uchinchining oxiri birinchi fazaning boshi bilan ulanadi.

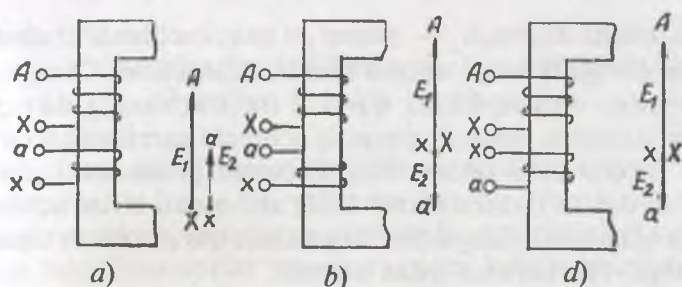
7.11-rasmda transformator chulg'amlarining ulanish sxemalari, ularga tegishli vektor diagrammalar va transformator ulanishining shartli belgilari ko'rsatilgan; bunda A, B, C — yuqori kuchlanishli faza chulg'amlarining boshlari, X, U, Z esa ularning oxirlari; a, b, c — past kuchlanishli faza chulg'amlarining boshlari, x, y, z esa ularning oxirlari, demak, AX — birinchi, CY — ikkinchi va CZ — uchinchi faza chulg'amlari; Y — yulduz va Δ — uchburchaklik sxemasi bilan ulanishning shartli belgilari; Y/Δ^{11} — yuqori kuchlanishli chulg'ami yulduz, past kuchlanishlisi esa uchburchaklik sxemasi bilan ulangan, 11 — ulanish gruppasida bo'lgan transformatorning shartli belgisi; Y/Y_0^{12} — past kuchlanishli chulg'amdagi nol nuqtasi transformatorning tashqi qismasiga chiqarilib, u bilan ulanganligining belgisi. Transformatorlarni o'zaro parallel ulab ishlatishda ularning chulg'amlari bir xil ulanish gruppasida bo'lishi zarur.

Transformator chulg'amlarining ulanish usullari ulanish gruppalari bilan aniqlanib, ular raqamlar bilan belgilanadi. Bu sonlar yuqori va past kuchlanishli chulg'amlarning fazalararo kuchlanish vektorlari orasidagi burchakni ifodalaydi. Agar yuqori kuchlanishli chulg'amga tegishli kuchlanish vektorini 12 soni tomon yo'nalgan minutlar strelkasi bilan ifodalab, past kuchlanishliga tegishlilikini esa, vektor diagrammadagi holatiga binoan soatlar strelkasi bilan ifodalansa, u holda soat strelkasining ko'rsatgan soniga binoan chulg'amlar ulanish gruppasining nomeri aniqlanadi. Masalan, 7.11-rasm, a da transformator chulg'amlarining 12-ulanish gruppasi, ya'ni Y/Y^{12} ko'rsatilgan. Agar bu ulanishdagi transformator past kuchlanishli chulg'amining boshi va oxirlarini o'zaro almashtirilsa, u holda 7.11-rasm, b da ko'rsatilgan Y/Y_6 , ya'ni 6-ulanish gruppasi olinadi. Bunda quyidagi mulohazaga asoslaniladi. Chulg'amlarining boshi va oxiri deb ataluvchi tushuncha



Chulg'amlarning ulanish sxemalari		Vektor diagrammalar		Shartli belglari
YU.K.	P.K.	YU.K.	P.K.	

7.11-rasm. Uch fazali transformatorning:
a — 12, b — 6-ulanish gruppalari.



7.12-rasm. Transformator chulg'amlarining boshi va oxiri tushunchasiga doir rasmlar:

a — birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar o'zakka nisbatan bir xil tomonga; b — turli tomonlarga o'ralgan; v — bir xil tomonga o'ralgan chulg'amlardan birining yuqorigi va pastki uchlari belgilari o'zaro almashtirilgan.

umuman shartli. Ammo bu tushunchadan chulg'amlarni to'g'ri ulash uchun foydalaniladi. Ma'lumki, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar po'lat o'zakning bir sterjeniga o'rnatilgan bo'lib, bir xildagi magnit oqim bilan kesiladi. Agar ikkala chulg'am sterjenga nisbatan bir xil tomonga o'ralib, uning yuqori tomondagi uchini chulg'amning boshi, past tomondagisini chulg'amning oxiri deb qabul qilinsa, u holda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarda hosil bo'lsa e.yu.k. vektorlari bir tomonga, ya'ni faza bo'yicha mos yo'nalgan bo'ladi (7.12-rasm, a).

Agar bu chulg'amlar sterjenga nisbatan turli tomonga o'ralgan bo'lsa, chulg'amlarda hosil bo'lgan e. yu. k. vektorlari qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi (7.12-rasm, b).

Agar chulg'amlar bir tomonga o'ralsa-yu, ammo ulardan birining yuqorigi va pastki uchlari belgilari o'zaro almashtirilsa, u holda ham chulg'amlarda hosil bo'lgan e.yu.k. vektorlari qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'ladi (7.12-rasm, d). Transformatorlarning yuqori kuchlanishli chulg'ami odatda, yulduz sxemasi bilan ulanadi. Bunda faza chulg'ami izolatsiyasi elektr tarmog'idagi kuchlanishdan $\sqrt{3}$ marta kichik bo'lgan kuchlanishga hisoblanadi. Past kuchlanishli chulg'am esa, odatda, uchburchaklik sxemasi bilan ulanadi. Bunda faza chulg'amidan o'tadigan tok qiymati liniyadagidan $\sqrt{3}$ marta kichik bo'ladi. Demak, Y/Δ sxemasi asosida ishlashga tayyorlangan transformator narxi Δ/Y dagiga nisbatan ancha arzon bo'ladi.

Transformatorning Y/Y sxemasida fazalararo kuchlanishlar nisbati k ga teng bo'lsa, Y/Δ da $\sqrt{3} k$, Δ/Y da esa $\frac{k}{\sqrt{3}}$ bo'ladi, bunda k — uch fazali transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti. Bu koeffitsiyentning qiymati ham salt ish rejimidan aniqlanadi, ya'ni $k = \frac{U_{\Delta x}}{U_{ax}}$

bo'ladi, bunda U_{ax} va U_{ax} — yuqori va past kuchlanishli chulg'amlarning bir xildagi fazasiga tegishli faza kuchlanishlari. Chulg'amlarning Y/Y sxemasi, odatda, kichik quvvatli transformatorlarda uchratiladi. Bunday ulanishda magnit oqimning uchinchi garmonikasi qo'shimcha quvvat isrofini hosil qiladi. Magnit oqimdagi uchinchi garmonikani yo'qotish uchun transformator chulg'amlaridan birini uchburchaklik sxemasi bilan ulash kifoya. Shuning uchun transformator chulg'amlari, ko'pincha, Y/Δ sxemasi bilan ulanadi.

7.9. Transformatorlarning parallel ishlashi

Transformatorning quvvati iste'molchilarga yetarli bo'lmasa yoki uzatilishi kerak bo'lgan quvvat transformatornikidan katta bo'lsa, u holda ikki va undan ko'p transformatorlarni parallel ishlashga ulanadi. Bunda transformatorlarning birlamchi chulg'amlari ularga umumiy bo'lgan birlamchi elektr tarmog'iga ulansa, ikkilamchilari esa ikkilamchi tarmoqqa ulanadi.

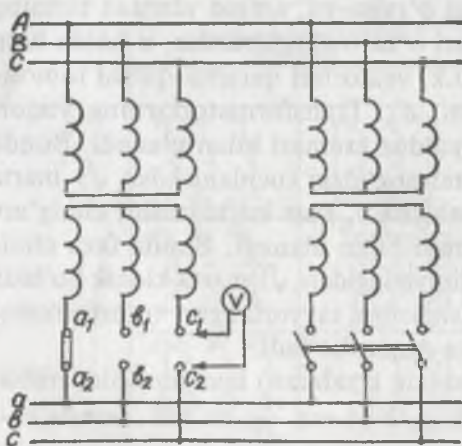
7.13-rasmda ikkita uch fazali transformatorning parallel ishlashga ulanish sxemasi ko'rsatilgan.

1) ularning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining nominal kuchlanishlari o'zaro teng, ya'ni $U_{11} = U_{1II} = \dots = U_{1n}$ va $U_{21} = U_{2II} = \dots = U_{2n}$ bo'lishi zarur. Bunda ularning transformatsiya koeffitsiyentlari ham o'zaro teng bo'ladi, ya'ni $k_1 = k_{II} = \dots = k_n$;

2) ularning chulg'amlaridagi aktiv va induktiv kuchlanish tushuvi yoki ularning qisqa tutashishdagi kuchlanishlari o'zaro teng, $U_{q1} = U_{qII} = \dots = U_{qn}$ bo'lishi kerak;

3) uch fazali transformatorlar bir xil ulanish gruppasida bo'lishi zarur. Parallel ishlashga ulanadigan transformatorlar quvvatining nisbati $\frac{S_{nI}}{S_{nII}} = \frac{S_{nII}}{S_{In}} \leq 3$ bo'lishi lozim.

Parallel ishlashga ulangan transformatorlarning ikkilamchi kuchlanish fazalari monand, ya'ni bir-biriga mos bo'lishi kerak. Agar ikkilamchi chulg'amlarning bir xil



7.13-rasm. Uch fazali transformatorning parallel ishlashga ulanish sxemalari.

nomli fazalari, masalan, a_1 va a_2 yoki c_1 va c_2 orasidagi kuchlanish nolga teng bo'lib, turli fazalaridagi fazalararo kuchlanishga teng, ya'ni $U_{a_1c_2} = U_n$ va $U_{c_1a_2} = U_n$ bo'lsa, u holda kuchlanish fazalari monand bo'ladi (7.13-rasm).

Parallel ishlash shartlariga rioya qilib ulangan transformatorlarga yuklama berilsa, u holda bu yuklama har bir transformatorning quvvatiga proporsional tarzda, taqsimlanadi. Agar parallel ishlashga ulanadigan transformatorlar transformatsiya koeffitsiyenti turlicha bo'lsa, u holda kuchlanishlar ayirmasi ΔU ta'sirida tenglashtiruvchi I_t tok hosil bo'ladi, ya'ni

$$I_t = \frac{\Delta U}{Z_{qI} + Z_{qII}},$$

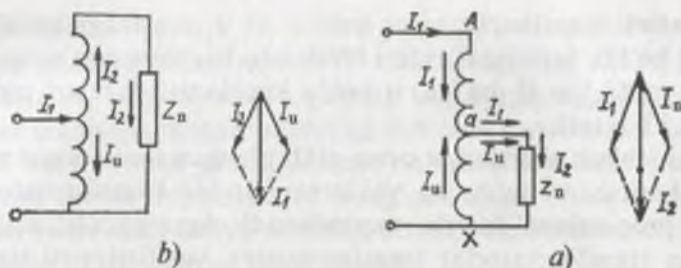
bunda ΔU — ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishlar farqi;

Z_{qI} , Z_{qII} — transformatorlar chulg'amlarining to'la qarshiligi. Bu tok bitta transformatorning yuklama tokidan ayirilib, uning yuklamasini kamaytiradi. Demak, bunda transformatorlarning quvvatidan to'la foydalanilmaydi. Parallel ishlashga ulanadigan transformatorlar transformatsiya koeffitsiyentlarining ayirmasi $\pm 0,5\%$ dan ko'p bo'lmazligi kerak. Agar parallel ishlashga ulanuvchi transformatorlarning qisqa tutashish kuchlanishi turlicha bo'lsa, u holda qisqa tutashish kuchlanishi kichik bo'lgan transformator tok bo'yicha o'ta yuklanib qoladi.

Shu sababli, qisqa tutashish kuchlanishlarining ayirmasi $\pm 10\%$ dan ko'p bo'lmazligi kerak. Agar parallel ishlashga ulanuvchi transformatorlarning ulanish gruppalarini turlicha bo'lsa, u holda kuchlanishlar ayirmasidan hosil bo'luvchi tenglashtiruvchi tok qiymati yuklama tokidan bir necha marta katta bo'lishi mumkin. Shuning uchun turli ulanish gruppalariga ega transformatorlarni parallel ishlatish mumkin emas.

7.10. Maxsus transformatorlar

Bular qatoriga avtotransformator, payvandlash, o'lchash va boshqa tipdagi transformatorlarni kiritish mumkin. Bir chulg'amdan iborat bo'lgan transformator avtotransformator deb ataladi. Buning chulg'ami ham yopiq zanjirli po'lat o'zakka o'rnatiladi. Avtotransformator kichik transformatsiya koeffitsiyenti, ya'ni $k = 1,25 \div 2$ ga hisoblanib, uning bilan berilgan kuchlanishni ko'paytirish va pasaytirish mumkin. Pasaytiruvchi avtotransformator birlamchi chulg'amning biror qismini ikkilamchi chulg'am tashkil qilsa (7.14-rasm, a), kuchay-



7.14-rasm.

a — pasaytiruvchi, b — kuchaytiruvchi avtotransformatorning sxemasi.

tiruvchida esa ikkilamchi chulg'amning biror qismini birlamchi chulg'am tashkil qiladi (7.14-rasm, b). Avtotransformatordagi quvvat isrofini hisobga olinmasa, uning uchun ham $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ bo'ladi. 7.14-rasm, a da ko'rsatilgan pasaytiruvchi avtotransformator sxemasiga binoan chulg'am qismlari va yuklamadan o'tadigan toklar uchun quyidagi ifodalarni olish mumkin:

$$I_2 = I_1 + I_u \text{ yoki } I_u = I_2 - I_1,$$

bunda I_2 — yuklama toki;

I_1 — elektr tarmog'idan chulg'amga beriladigan tok;

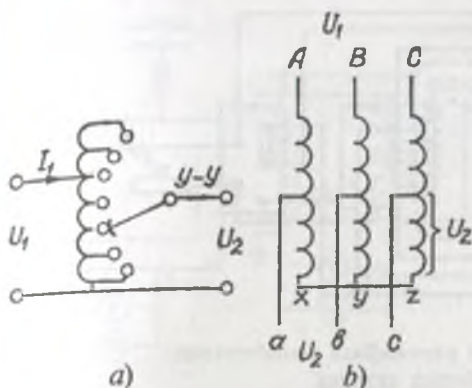
I_u — chulg'amning ax qismidan o'tuvchi tok.

Demak, avtotransformator chulg'amining ax qismini yuklama to-kiga nisbatan kichik, ya'ni $I_2 - I_1$ tokiga hisoblash mumkin. Shu sin-gari, kuchaytiruvchi avtotransformator sxemasi uchun chulg'amning ax qismidan o'tuvchi I_u tokining qiymati ham toklarning ayirmasi $I_1 - I_2$ bilan aniqlanadi (7.14-rasm, b).

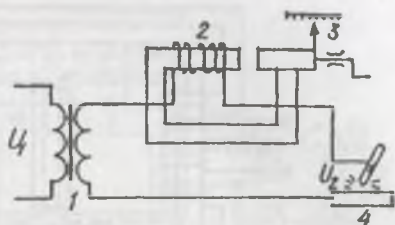
Avtotransformatordan katta quvvatli asinxron va sinxron motor-larni ishga tushirishda foydalaniladi. Laboratoriya va maishiy xizmatda, ko'pincha LATR (laboratoriya avtotransformatori) deb ataluvchi avto-transformator ishlatiladi. LATR surilmasini chulg'amning izolatsiyadan tozalangan qismi bo'yicha sirg'altirib uning transformatsiya koeffit-siyentini va, demak, ikkilamchi kuchlanishni silliq o'zgartirish imkoni olinadi (7.15-rasm, a).

Avtotransformatordan uch fazali tuzilishda ham tayyorlanadi (7.15-rasm, b). Bunda ular yulduz sxemasi bilan ulanib ishlatiladi.

Odatdagi transformatorlarga nisbatan avtotransformatordan kamroq rangli metall sarflanadi, ularning foydali ish koeffitsiyenti yuqori va gabariti kichik bo'ladi. Birlamchi va ikkilamchi kuchlanishlar bir chulg'amdan olingani uchun avtotransformator pasaytiruvchi



7.15-rasm. Laboratoriya avtotransformatori LATR ning sxemasi.

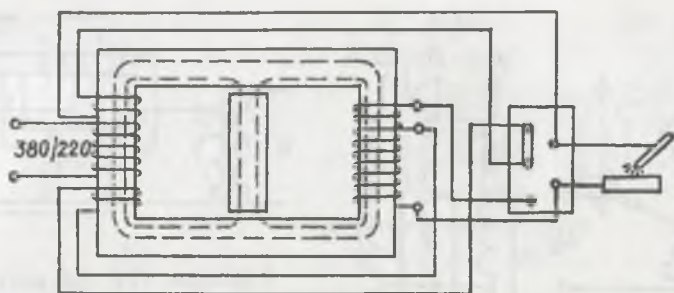


7.16-rasm. STE tipli payvandlash transformatorining prinsipial sxemasi.

nish sifatida foydalanish mumkin emas. Avtotransformatorning transformatsiya koeffitsiyenti ikkidan ortiq bo'lsa, u tejamsiz, foydalanish noqulay bo'ladi.

Payvandlash transformatorlari. Salt ish rejimida elektr tarmog'idagi kuchlanishni $60 \div 70$ voltgacha pasaytiruvchi bir fazali transformator payvandlash transformatori deb ataladi. Bu transformatorlarning tashqi xarakteristikasi keskin pasayuvchi xarakterga ega bo'ladi. Payvandlash transformatorlari turli tiplarda tayyorlanadi. CTƏ tipidagi payvandlash transformatori salt ish rejimida $60 \div 65$ V kuchlanishga ega bo'lib, yoyning turg'un yonishini ta'minlaydi. Bunda payvandlash tokining qiymatini rostlash uchun induktiv qarshiligi rostlanadigan drossel ishlatiladi (7.16-rasm).

Po'lat o'zaklar orasidagi havo bo'shlig'ini kattalashtirish bilan drossel chulg'amining induktiv qarshiligi kamayadi. Havo bo'shlig'ini kichraytirish bilan esa drossel chulg'amining qarshiligi ko'payib, payvandlash toki kamayadi. Hozirgi paytda tok qiymatini rostlovchi, drosseli transformator qoplamining ichiga o'rnatilgan CTAH-1 tipli payvandlash transformatorlari chiqarilmoqda (7.17-rasm). Bu tipdagi transformatorlarning salt ish rejimidagi kuchlanishi CTƏ ga nisbatan ancha yuqori bo'lib, tokning kichik qiymati, ya'ni $25 \div 50$ Amperda ham yoyning turg'un yonishini ta'minlaydi. CTAH-1 ning ikkilamchi chulg'ami ikki qismdan iborat bo'lib, ular o'zaro mos o'ralgan bo'ladi va, demak, ularda hosil bo'lgan kuchlanish o'zaro qo'shiladi. Asosiy ikkilamchi chulg'am birlamchi chulg'am o'rnatilgan o'zakka o'rnatiladi (birlamchi chulg'am ustidan). Ikkilamchi chulg'amning reaktiv qismi boshqa o'zakka o'rnatiladi va shunga ko'ra uning induktiv qarshiligi katta bo'ladi. O'rtadagi qo'zg'aluvchi o'zakdan magnit shunt sifatida

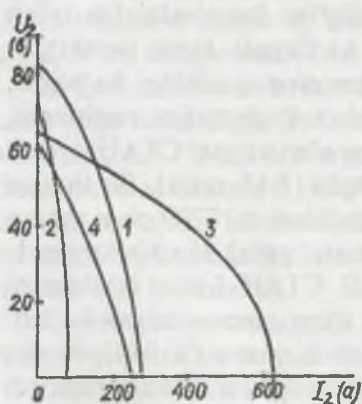


7.17-rasm. STAN-1 tipli payvandlash transformatori va uning ulanish sxemasi.

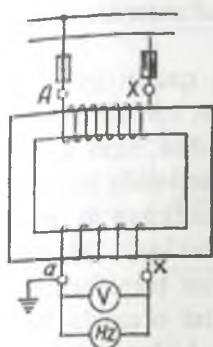
foydalaniladi. Magnit shunt holatini o'zgartirish bilan magnit oqimning tarqalish yo'lidagi qarshilik qiymatini o'zgartirib, payvandlash toki qiymatini silliqqina rostlash imkoni olinadi. Bunda shuntни ichkariga surish bilan reaktiv chulg'am qarshiligi ko'paytirilib, payvandlash toki kamaytiriladi, shuntни ichkaridan chiqarish bilan esa, qarshilik kamaytirilib, payvandlash toki ko'paytiriladi.

Payvandlash tokini ikki (I va II) pog'onada o'zgartirish uchun CTAH-1 ning ikkilamchi chulg'ami ikki xil sxemada ulanadi. 7.18-rasmda CTAH-1 ning tashqi xarakteristikalarini ko'rsatilgan, bunda 1 egri chizig'i — I pog'onada va magnit shuntning ichkaridan chiqarilgan holatida olingan xarakteristika; 2 egri chizig'i — I pog'ona va magnit shuntning ichkariga surilgan holatiga tegishli xarakteristika; 3 egri chizig'i — II pog'ona va shuntning ichkaridan chiqarilgan holatiga tegishli xarakteristika va 4 egri chizig'i — II pog'ona va magnit

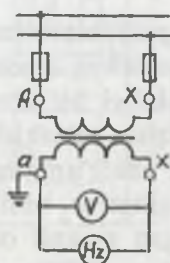
shuntning ichkariga surilgan holatiga tegishli xarakteristika. Bunda drosselning ta'siri tufayli tashqi xarakteristika keskin o'zgarishga ega bo'ladi. Haqiqatan, ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanish qiymati yoydagi va reaktiv chulg'amdagi kuchlanish tushuvlarining yig'indisidan iborat bo'lgani uchun yoy qarshiligini kamaytirish bilan payvandlash toki qiymatining ko'payishi sodir bo'ladi. Bu esa drossel chulg'amidagi kuchlanish tushuvini ko'paytirib, yoydagini kamaytiradi. Natijada payvandlash tokining qiymati kam o'zgarib payvandlash jarayoni yaxshi o'tadi (7.18-rasm).



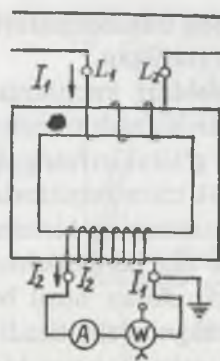
7.18-rasm. Payvandlash transformatori CTAH-1 ning tashqi xarakteristikalarini.



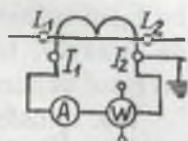
a)



b)



a)



b)

7.19-rasm. Kuchlanish transformatori.

7.20-rasm. Tok transformatori.

CTAH-1 ning texnik ko'rsatkichlari

Birlamchi kuchlanishi $20 \div 380$ V

Ikkilamchi kuchlanishi $60 \div 70$ V

Payvandlash tokini rostlash diapazoni $60 \div 480$ A

Quvvati 22 kVA

Foydali ish ko'effitsiyenti 0,83

Quvvat ko'effitsiyenti 0,52

Massasi 185 kg.

O'lchash transformatorlari. O'lchash transformatorlari yuqori kuchlanishni va katta qiymatli toklarni voltmeter va ampermetr bilan o'lchash hamda releli himoyalash va avtomatik nazorat qilish zanjirlarida ishlatiladi.

Yuqori kuchlanishli qurilmalarda o'lchash transformatorlaridan foydalanish natijasida o'lchash asboblari hamda xizmat qiluvchi xodimlarning xavfsiz ishlashi ta'minlanadi. Voltmetr, chastotomer, vattmetr, hisoblagich va relening kuchlanish g'altaklarini yuqori kuchlanish zanjiriga ulash uchun kuchlanish transformatorlari ishlatiladi (7.19-rasm).

7.19-rasmda kuchlanish transformatorlarining *a* — prinsipial sxemasi va *b* — shartli belgisi ko'rsatilgan. Bunday transformatorlar o'lchash asboblari kuchlanishni pasaytirib beradi. Kuchlanish transformatorlari bir va uch fazali konstruksiyada ishlab chiqariladi.

Elektr o'lchash asboblari bilan katta qiymatli toklarni o'lchash uchun tok transformatorlari ishlatiladi. Bunda transformatorning birlamchi chulg'ami o'lchanishi kerak bo'lgan katta tokli liniyaga ketma-ket ulanadi, ikkilamchi chulg'amiga esa o'lchash asboblari ulanadi (7.20-rasm).

7.20-rasmda tok transformatorining a — prinsipial sxemasi va b — shartli belgisi ko'rsatilgan.

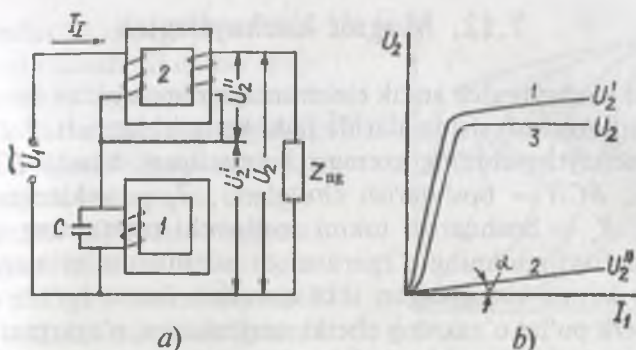
O'lchash asboblari kuchlanish g'altaklarining qarshiligi katta bo'lgani uchun kuchlanish transformatorlari, amalda, salt ish rejimida ishlaydi, tok g'altaklarining qarshiligi bir Om dan ham kichik bo'lgani uchun tok transformatorlari qisqa tutashish rejimida ishlaydi.

Tok transformatorining birlamchi chulg'amidagi tokdan Φ_1 magnit oqim hosil bo'lsa, ikkilamchisidagidan Φ_2 hosil bo'ladi. Ikkilamchi chulg'amdagi tokdan hosil bo'lgan magnit oqim transformator po'lat o'zagini magnitsizlantiradi. Shu sababli po'lat o'zakda hosil bo'lgan umumiy magnit oqim kichik bo'ladi. Agar birlamchi chulg'amdan yuklama toki o'tayotganida ikkilamchi chulg'am uzuq qolsa, u holda $I_2 = 0$ va demak, $\Phi_2 = 0$ bo'lib, transformator o'zagidagi umumiy magnit oqim faqat yuklama tokidan hosil bo'lgan Φ_1 ga bog'liq bo'ladi. Φ_1 qiymati katta bo'lgani uchun undan ikkilamchi chulg'amda hosil bo'lgan e. yu. k. qiymati xizmat qiluvchi xodimga xavfli bo'ladi. Bundan tashqari, Φ_1 oqimi po'lat o'zakda katta quvvat isrofini hosil qilib, uni haddan tashqari qizitib yuboradi. Natijada transformator ishdan chiqishi mumkin. Shuning uchun birlamchi chulg'amdan yuklama toki o'tayotganida transformator ikkilamchi chulg'amini uzuq qoldirish mumkin emas. Agar o'lchash asboblari ta'mirlash uchun yoki boshqa sababga ko'ra sxemadan ajratiladigan bo'lsa, u holda, dastavval, ikkilamchi chulg'amni o'z-o'ziga qisqa tutashtirish lozim.

Xizmat qiluvchi xodimni himoya qilish uchun kuchlanish va tok transformatorlari ikkilamchi chulg'amlarining bir uchi va transformator korpusi yerga tutashtiriladi.

7.11. Kuchlanish mo'tadillashtirgichi (stabilizatori)

Elektrotexnik qurilmalardagi kuchlanishni o'zgartirmay, ya'ni mo'tadil saqlash uchun, ko'pincha elektromagnit tipidagi (agar qurilma quvvati 5 kVA gacha bo'lsa) mo'tadillashtirgichlardan foydalaniladi. Bular ferromagnit o'zakning to'yinishi hamda kuchlanish va tokning ferrezonans hodisalariga asoslanib tuziladi. 7.21-rasmda a — ferrezonans mo'tadillashtirgichning sxemasi va b — uning xarakteristikasi ko'rsatilgan, bunda I — reaktiv g'altak. Bu g'altak o'rnatilgan o'zakning holati elektr tarmog'idagi kuchlanish U_1 ning berilgan o'zgarish diapazonida to'yingan bo'ladi; C — kondensator; 2 — o'zagi to'yinmagan holatda ishlovchi avtotransformator.



7.21-rasm. Ferrer rezonans mo'tadillashtirgichi.

Avtotransformator chulg'amining ulanish sxemasiga binoan mo'tadillashtirgichdan olinuvchi U_2 kuchlanishning qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{U}_2 = \bar{U}_2' - \bar{U}_2'',$$

bunda U_2' — avtotransformatorning ikkilamchi kuchlanishi;

U_2'' — reaktiv g'altakdan olinuvchi kuchlanish. Ferrer rezonans hodisasiga binoan reaktiv g'altakdagi kuchlanish qiymatining I_1 tokiga bog'lanishi keskin o'zgaruvchi egri chiziq shakliga ega bo'ladi (7.21- rasm, b). Avtotransformator o'zagi to'yinmagan holatga egaligi sababli $U_2'' = f(I_1)$ bog'lanishi to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi. Reaktiv g'altak va avtotransformator parametrlarini tanlash bilan $U_2' = f(I_1)$ egri chizig'ining to'yingan holatga tegishli qismining absissa o'qiga qiyaligi $U_2'' = f(I_1)$ ning ham shu o'qqa bo'lgan qiyaligi α ga teng bo'lsa, u holda $U_2' = U_2'' = \text{const}$ bo'ladi. Bunda tok I_1 ning va, demak, kuchlanish U_1 ning qiymatlari o'zgarsa ham mo'tadillashtirgichdan olinadigan kuchlanishning qiymati o'zgarmas, ya'ni $U_2 = \text{const}$ bo'ladi. U_2 qiymati o'zgarmas holda saqlanishi uchun U_1 ning qiymati nominalga nisbatan 30% dan ko'p-ga o'zgarmasligi kerak.

Ferrer rezonans mo'tadillashtirgichlarining foydali ish ko'effitsiyentlari ancha yuqori, ya'ni $\eta = 0,8 \div 0,85$ bo'ladi. Bularning kamchiligi, U_2 qiymatining elektr tarmog'idagi tok chastotasiga va yuklamaning quvvat ko'effitsiyentiga bog'liqligi hamda uchinchi garmonika sababli U_2 ning sinusoidadan farq qilishi hisoblanadi. Mo'tadillashtirgich sxemasini murakkablashtirish bilan yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklarni yo'qotish mumkin.

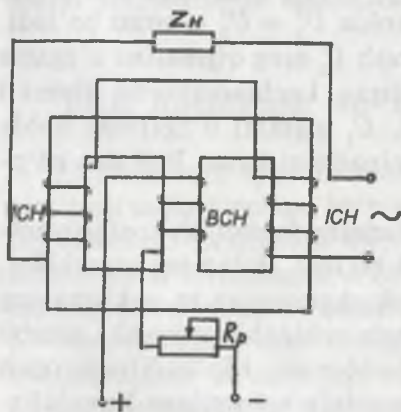
7.12. Magnit kuchaytirgich

Magnit kuchaytirgich statik elektromagnit apparatdan iborat bo'lib, u avtomatik rostlash sistemalarida juda keng ishlatiladi. 7.22-rasmda magnit kuchaytirgichining sxemasi ko'rsatilgan, bunda *ICH* — ish chulg'ami; *BCH* — boshqarish chulg'ami; Z_n — yuklamaning to'la qarshiligi; R_r — boshqarish tokini rostlovchi reostatning qarshiligi. Magnit kuchaytirgichning o'zgaruvchan tok bilan ta'minlanuvchi ish chulg'ami ketma-ket ulangan ikki qismdan iborat bo'lib, ular uch sterjenli berk po'lat o'zakning chetki sterjenlariga, o'zgaras tok bilan ta'minlanuvchi boshqarish chulg'ami esa o'rta sterjenga o'rnatiladi.

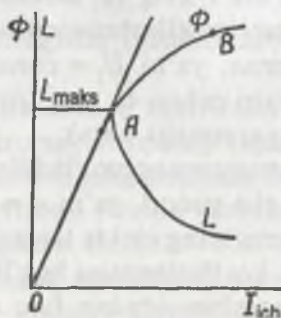
Om qonuniga binoan ish chulg'aming tiki $I_{ich} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{R_n^2 + (\omega L + X_n)^2}}$ bo'ladi, bunda R_n , X_n — tegishlicha yuklamaning aktiv va induktiv qarshiliklari; ωL — ish chulg'aming induktiv qarshiligi; $L = W_{ich} \frac{d\Phi}{dI_{ich}}$ 10–8[Gn] — ish chulg'aming induktivligi; W_{ich} — ish chulg'aming o'ramlar soni.

7.23-rasmda po'lat o'zakning magnitlanish xarakteristikasi, ya'ni magnit oqim Φ ning ish chulg'ami tiki I_{ich} ga bog'lanishini ifodalovchi egri chiziq ko'rsatilgan.

Magnitlanish xarakteristikasiga binoan po'lat o'zakning to'yinmagan holatida ish chulg'aming induktivligi va, demak, uning induktiv qarshiligi o'zgaras maksimum qiymatga ega bo'lib, to'yinishning boshlanishi bilan esa, induktivlikning qiymati kamayib boradi (7.23-rasm). Agar boshqarish chulg'amiga kichik qiymatli o'zgaras tok berilsa, po'lat o'zakning to'yinishi boshlanadi. Demak, boshqarish tokini o'zgartirish bilan o'zakning to'yinish darajasini va ish chulg'a-



7.22-rasm. Magnit kuchaytirgichning prinsipl sxemasi.



7.23-rasm. Po'lat o'zakning magnitlanish xarakteristikasi.

mining induktiv qarshiligini rostlash imkoni olinadi. Shunday qilib, magnit kuchaytirgichning ishlash prinsipi po'lat o'zakning to'yinish darajasini o'zgartirishga asoslangan bo'lib, natijada boshqarish chulg'amidagi kichik qiymatli o'zgarmas tokni o'zgartirish bilan ish chulg'amidan o'tadigan katta qiymatli yuklama tokini boshqarish imkoni olinadi. 7.24-rasmda $U_{ich} = f(I_{ich})$ egri chiziqlari ko'rsatilgan, bunda U_{ich} — yuklama toki I_{ich} ning ish chulg'amidan o'tishi bilan unda hosil bo'ladigan kuchlanish tushuvi.



7.24-rasm. Turli qiymatdagi boshqarish toklari I_b ga tegishli $U_{ich} = f(I_{ich})$ egri chiziqlari, U_{ich} — ish chulg'amida I_{ich} tokidan kuchlanish tushuvi.

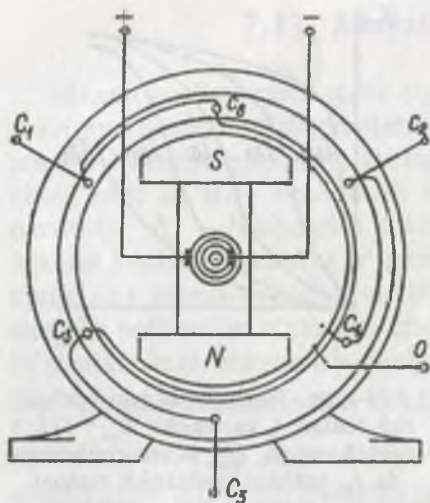
Demak, boshqarish toki I_b ning qiymati ortib borishi bilan ish chulg'ami induktiv qarshiligining kamayishi hisobiga undagi kuchlanish tushuvi ham kamayib, yuklamaga berilgan kuchlanish qiymati ortib boradi. Ish chulg'ami qismlaridagi toklardan hosil bo'lgan magnit oqimlar o'zaro mos yo'nalgan bo'lib, chetki sterjenlar orqali bekiladi. Demak, bu oqimlar o'rta sterjenda o'zaro qarshi yo'nalib, o'zgarmas tok o'tuvchi boshqarish chulg'amiga ta'sir etmaydi. Turli tipdagi magnit kuchaytirgichlar uchun quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti $K_r = \frac{P_{yuk}}{P_b} \approx 20 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^5$ bo'ladi. Magnit kuchaytirgichlarni yarim o'tkazgichli diodlar bilan birgalikda boshqariluvchi to'g'rilagich sifatida ham ishlatish mumkin.

VIII BOB. O'ZGARUVCHAN TOK MASHINALARI

8.1. Umumiy tushunchalar

O'zgaruvchan tok mashinalari asosan sinxron va asinxron deb ataluvchi elektr mashinalardan iborat bo'lib, ularni ham o'zgarmas tok mashinalari singari generator, motor va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlatish mumkin.

Elektr stansiyalarida ishlab chiqariladigan uch fazali tok sinxron generatorlarda hosil qilinadi. Sinxron mashinalar qo'zg'almas stator va aylanuvchi rotordan iborat bo'ladi. Stator o'z navbatida cho'yan korpus va unga mahkamlangan po'lat o'zakdan iborat bo'lib, bu o'zak pazlariga uch fazali o'zgaruvchan tok chulg'ami joylashtiriladi. Stator



8.1-rasm. Sinxron mashinasining statori.

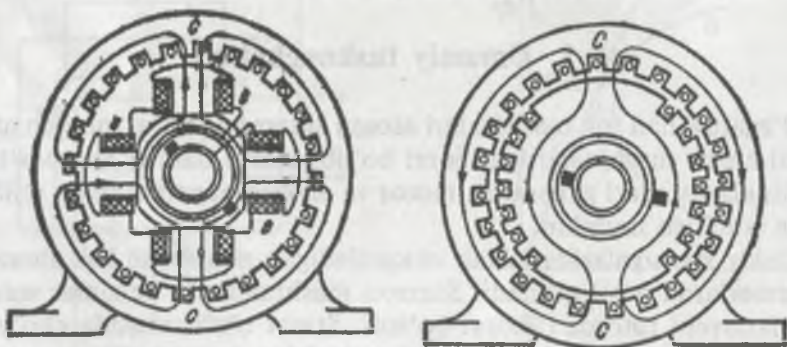
bo'lmagan qutbli rotorlari ko'rsatilgan. Rotorning o'zagi, odatda, quyma po'latdan yasaliib, unga qo'zg'atuvchi chulg'am o'rnatiladi. Aylanuvchi rotordagi bu qo'zg'atuvchi chulg'amga cho'tka va halqalar vositasida o'zgarmas tok berilib, asosiy magnit oqim hosil qilinadi. Demak, o'zgarmas tok bilan ta'minlangan rotor chulg'amini birlamchi motor (turbina) bilan aylantirilsa, u holda, elektromagnit induksiya qonuniga binoan stator chulg'amida o'zgaruvchan e. yu. k. hosil bo'ladi.

Bu e. yu. k. sinusoida qonuni bo'yicha o'zgarishi uchun qutblarda hosil bo'lgan magnit induksiya sinusoida bo'yicha taqsimlanishi kerak. Magnit induksiyaning $B = B_{\text{maks}} \sin \alpha$ bo'yicha taqsimlanishi

o'zagida uyurma toklardan hosil bo'luvchi quvvat isrofini kamaytirish maqsadida uni bir-biridan izolatsiyalangan po'lat tunukalardan yig'iladi (8.1-rasm).

Sinxron mashinasining rotorlari ikki tipda, ya'ni ayon va ayon bo'lmagan qutbli qilib tayyorlanadi. Hidroturbinalar bilan past chastotada aylantiriladigan kichik va o'rta quvvatli gidrogeneratorlar ayon, bug' turbinalari bilan yuqori tezlikda aylantiriladigan katta quvvatli turbogeneratorlar esa, ayon bo'lmagan qutbli qilib chiqariladi.

8.2-rasmda sinxron mashinaning *a* — ayon va *b* — ayon



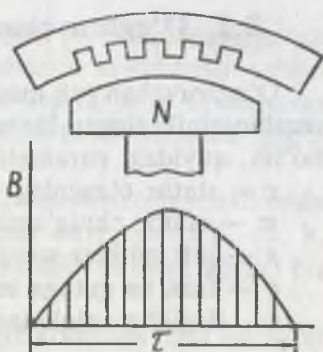
8.2-rasm. Sinxron mashinasining rotorlari.

uchun qutb o'zagi bilan stator o'zagi o'rtasidagi havo bo'shlig'ining 8.3-rasmda ko'rsatilgandek bo'lishiga erishish kifoya.

Uch fazali sinxron generatorning statoriga uchta chulg'am joylashtiriladi. Bu chulg'amlar fazoda bir-biridan 120° burchakka farq qiladi, ular yulduz yoki uch-burchaklik sxemasi bilan ulanadi. Har bir chulg'am generatorning fazasi deyilib, bu fazalarda bir-biridan 120° ga farq qiluvchi e. yu. k. lar hosil bo'ladi. Yulduz yoki uch-burchaklik sxemasi bilan ulangan chulg'amlardan olingan bu uch fazali e. yu. k. lar sistemasiga uch fazali yuklama ulansa, u holda generatorning stator chulg'amlaridan uch fazali yuklama toki o'tadi.

Sinxron mashinani qo'zg'atish uchun kerak bo'lgan o'zgarmas tokni qo'zg'atgich yoki chala o'tkazgichli to'g'rilagichlardan olinadi. Generator bilan birga aylantiriluvchi va uni qo'zg'atishga mo'ljallangan o'zgarmas tok generatori qo'zg'atgich deb ataladi. Sinxron generatorlar statori chulg'amlarining boshi va oxirlari quyidagi jadvalda ko'rsatilgandek belgilanadi.

Odatda, quvvati 400 kVA gacha bo'lgan sinxron generatorlari 400/230 V, 400 kVA dan kattalari esa 6300 V va undan ham yuqori kuchlanishli qilib tayyorlanadi.



8.3-rasm. Rotor qutblarida hosil bo'luvchi magnet induksiyaning sinusoidal taqsimlanishi.

Fzalar	Faza chulg'amlarining	
	boshi	oxiri
Birinchi	C_1	C_4
Ikkinchi	C_2	C_3
Uchinchi	C_3	C_6

Quvvati 1000 kVA gacha bo'lgan dizel motorga mo'ljallangan SGD tipli generatorlar ham chiqarilmoqda.

Katta quvvatli generatorlar, masalan, 100000 kVA li turbogeneratorlar juda yuqori foydali ish koeffitsiyenti, ya'ni $\eta = 0,98$ ga ega bo'ladi.

Asinxron mashinalarining statori sinxron mashinanikidan deyarli farq qilmaydi, ammo ularning rotoridagi chulg'amiga tashqi manbadan hech qanday tok berilmaydi.

8.2. O'zgaruvchan tok mashinasining chulg'amlari

O'zgaruvchan tok mashinasining chulg'amlari ham o'zgarmas tok mashinasiniki singari bir va ikki qatlamli, qisqartirilgan va to'la qadamli bo'lib, quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi:

z — stator o'zagidagi pazlar soni;

m — stator chulg'amidagi fazalar soni;

p — juft qutblar soni;

q — faza va qutbga to'g'ri keluvchi pazlar soni bo'lib, uni quyidagicha aniqlanadi:

$$q = \frac{z}{2pm}. \quad (8.1)$$

τ — qutb o'rtalarining orasidagi masofa (qutb bo'linmasi);

y — chulg'am qadami, seksiyaning kengligi;

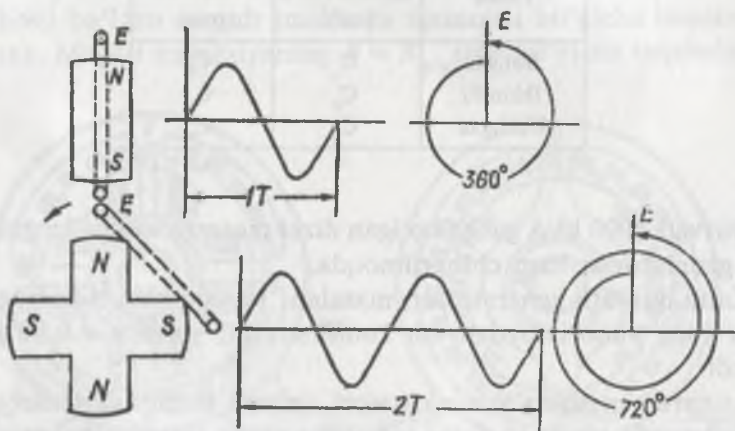
y_ϕ — faza chulg'amlarining uchlari orasidagi masofani ko'rsatuvchi faza qadami. Faza qadami quyidagicha aniqlanadi:

$$y_\phi = \frac{2}{3}\tau. \quad (8.2)$$

y va y_ϕ qadamlarni, odatda τ ning biror bo'lagi yoki pazlar soni bilan ifodalanadi;

$\alpha = \frac{\pi}{Q}$ — elektr graduslarda o'lchangan pazlar orasidagi burchak; unda Q — stator o'zagining qutb kengligi orasidagi pazlar soni.

Rotorning bir gradusga burilish burchagi fazoviy gradus, stator chulg'amida hosil bo'ladigan e. yu. k. vektorining burilish burchagi elektr gradus deyiladi.



8.4-rasm. Fazoviy va elektr graduslarning o'zaro bog'lanishiga tegishli rasmlar.

Ikki qutbli mashinada rotorning bir marta to'la aylanishiga bir davr, ya'ni e. yu. k. vektorining ham bir marta to'la aylanishi to'g'ri kelsa, to'rt qutbli mashinada rotorning bir marta to'la aylanishiga ikki davr, ya'ni e. yu. k. vektorining ikki marta to'la aylanishi to'g'ri keladi (8.4-rasm).

Demak, qutblar soni $2p$ bo'lgan ko'p qutbli sinxron mashinada rotorning bir marta to'la aylanishiga p sonli davr, ya'ni e. yu. k. vektorining p marta to'la aylanishi to'g'ri keladi. Shunga ko'ra, bir fazoviy gradus — p elektr gradus bo'ladi.

Qutb bo'linmasi τ hamma vaqt 180 elektr gradusga teng bo'lgani uchun $\gamma_\phi = \frac{2}{3}\tau = \frac{2}{3} 180 = 120$ elektr gradusga teng bo'ladi.

8.3. Sinxron generatori stator chulg'aming elektr yurituvchi kuchi

Stator chulg'aming har bir o'tkazgichida hosil bo'lgan e. yu. k. ning o'rtacha qiymati ham elektromagnit induksiya qonuniga binoan $E_{o,r} = B_{o,r}lv$ bo'ladi, bunda l — stator chulg'ami o'tkazgichi uzunligi; m ; v — magnit kuch chiziqlarining harakat tezligi, $\frac{m}{\text{sek}}$; $B_{o,r}$ — havo bo'shlig'idagi magnit induksiyaning o'rtacha qiymati, Tl.

Chiziqli tezlik v ni aylanish chastotasi n bilan ifodalab hamda $\pi D = 2p\tau$ bo'lgani uchun $v = \frac{\pi Dn}{60} = \frac{2p\tau n}{60}$ olinadi. Bundan $\frac{pn}{60} = f$ bo'lgani uchun $v = 2f\tau$ bo'ladi. Demak, $E_{o,r} = B_{o,r}lv = B_{o,r}l2f\tau$, ammo $B_{o,r}l\tau = \Phi$ bo'lgani uchun $E_{o,r} = 2f\Phi$ bo'ladi.

O'tkazgichdagi e. yu. k. ning ta'sir etuvchi qiymati $E = 1,11 E_{o,r}$ bo'ladi. Bunda 1,11 — sinusoidal e. yu. k. ning egri shaklliligi koeffitsiyenti.

Har bir o'ram ikki o'tkazgichdan iborat bo'lgani uchun o'ramdagi e.yu.k. qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$E_{o,r} = 2 \cdot 1,11 \cdot 2f\Phi = 4,44 f\Phi. \quad (8.3)$$

8.4. Statorning bir faza va bir qatlamli chulg'amlari

O'zgaruvchan tok mashinasi statoriga yig'ishtirilgan va sochilgan sxemali chulg'amlarni o'rnatish mumkin.

Yig'ishtirilgan deb ataluvchi chulg'amda $q = 1$, $y = \tau$ bo'lib, uning bir juft qutblari ostidagi hamma seksiyalari (g'altaklari) ikkita pazga joylashtiriladi. Bu pazlarning biri shimoliy, ikkinchisi esa janubiy

qutblar ostida bo'lad. 8.5-rasmda qutblar soni $2p = 4$ bo'lgan yig'ishtirilgan chulg'amning a — seksiyalari ketma-ket va b — seksiyalari parallel ulangandagi sxemalari ko'rsatilgan. Bu chulg'am uchun e.yu.k. E_y qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$E_y = E_o \cdot W = 4,44 \ W f \Phi, \quad (8.4)$$

bunda W — ketma-ket ulangan o'ramlar soni. Yig'ishtirilgan chulg'amda po'lat o'zakdan to'la foydalanish mumkin bo'lmagani uchun undan kam foydalaniladi. Odatda, stator o'zagi bo'yicha bir xilda sochilib joylashtirilgan chulg'am ishlatiladi. Shunga ko'ra, bunday chulg'amni sochilgan deb ataladi. Sochilgan chulg'am uchun $q = 2, 3, 4$ va hokazo bo'ladi. Bunday chulg'amda pazlar bir-biridan α burchakka surilgan bo'ladi. Bu pazlardagi seksiyalarda hosil bo'lgan e.yu.k. vektorlari ham o'zaro α burchakka farq qiladi. Bir grupp seksiyalarda hosil bo'lgan e.yu.k. lar yig'indisi har bir seksiyadagi e.yu.k. E larning geometrik yig'indisiga (8.6-rasm, a) teng, ya'ni $\bar{E}_{soch} = \bar{E}_1 + \bar{E}_2 + \bar{E}_3 + \bar{E}_4$ bo'ladi.

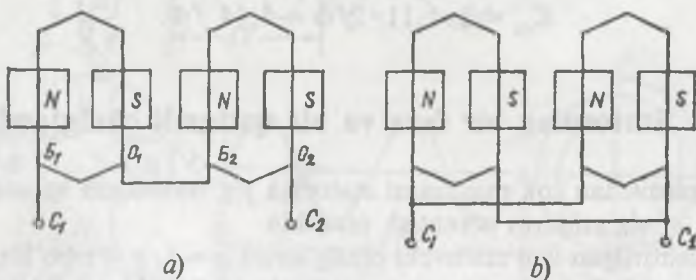
Yig'ishtirilgan chulg'amda esa to'rtta seksiya bir pazga joylashtirilishi sababli, bu seksiyalardagi e.yu.k. qiymati har bir seksiyadagi e. yu. k. larning algebraik yig'indisiga (8.6-rasm, b) teng, ya'ni $E_y = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = q \cdot E$ bo'ladi.

Sochilgan chulg'amdagi e. yu. k. ning, yig'ishtirilgandagiga nisbati chulg'amning sochilish koeffitsiyenti deyiladi va k_{soch} deb belgilanadi:

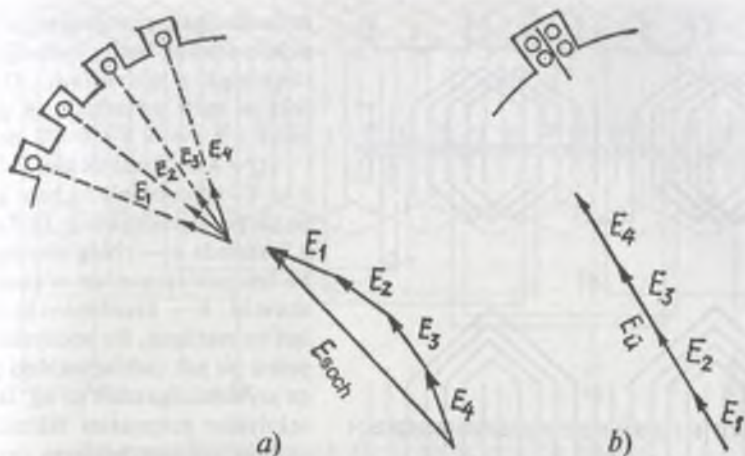
$$k_{soch} = \frac{\bar{E}_{soch}}{E_y} = \frac{\bar{E}_{soch}}{qE}, \quad (8.5)$$

bunda $\bar{E}_{soch}$ — seksiya e.yu.k. lari samarali qiymatlarining geometrik yig'indisi;

E_y — seksiya e.yu.k. lari samarali qiymatlarining algebraik yig'indisi.



8.5-rasm. Statorning bir faza va bir qatlamli chulg'amlari.



8.6-rasm. Bir fazali chulg'amning:

a — sochilgan; *b* — yig'ishtirilgan chulg'am seksiyalaridagi e. yu. k. lar qiymati.

Amalda k_{soch} ning qiymatini birinchi garmonika uchun e.yu.k. formulasidan topiladi, ya'ni

$$k_{soch} = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (8.6)$$

bunda α va q — chulg'am uchun aniq bo'lgan, ya'ni berilgan parametrlar.

Chulg'am sochilish koeffitsiyenti, odatda, birdan kichik bo'lgani uchun sochilgan chulg'am fazasida yig'ishtirilgan chulg'amnikiga nisbatan kichikroq e.yu.k. hosil bo'ladi.

Shunga ko'ra:

$$E_{soch} = 4,44 k_{soch} \cdot W f \Phi, V \quad (8.7)$$

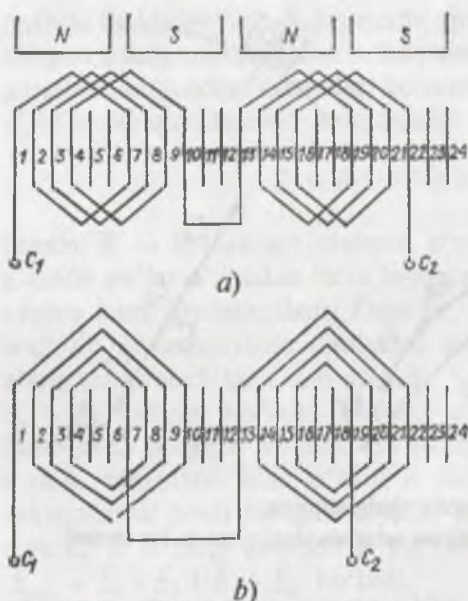
8.1-masala. Parametrlari $q = 4$, $\alpha = 15^\circ$ bo'lgan chulg'amning k_{soch} qiymatini toping.

$$k_{soch} = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \cdot \frac{15^\circ}{2}}{4 \sin \frac{15^\circ}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{4 \sin 7,5^\circ} \approx 0,96$$

8.2-masala. Quyidagi parametrlarga binoan sochilgan chulg'am sxemasini tuzing.

$$Q = 4; 2p = 4; Z = 24; y = \tau$$

Yechish. Chulg'am qadami $y = \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6$ bo'ladi. Chulg'am tuzishni birinchi pazdan boshlaymiz. Birinchi pazga seksiya boshini joylashtirib uning oxiri



8.7-rasm. Sochilgan bir fazali chulg'amning sxemasi.

joylashtiriladi. Ikkinchi seksiyalar gruppasining sxemasi ham yuqoridagi singari tuziladi.

joylashadigan paz raqamini topish uchun seksiya boshi joylashgan paz raqamiga y qo'shiladi. Demak, seksiya oxiri joylashadigan paz raqami $1 + y = 1 + 6 = 7$ bo'ladi.

$Q = 4$ bo'lgani uchun 2—8, 3—9 va 4—10-seksiyalarni ham qo'shni pazlarga joylashtiriladi (8.7-rasm). 8.7-rasmda a — chulg'amning aktiv bo'lmagan tomonlari o'zaro kesishuvchi, b — kesishmovchi sxemalari ko'rsatilgan. Bu seksiyalar gruppasini bir juft qutblar ostidagi pazlarga joylashtirilgandan so'ng, ikkinchi seksiyalar gruppasini ikkinchi juft qutblar ostidagi pazlarga joylashtiriladi.

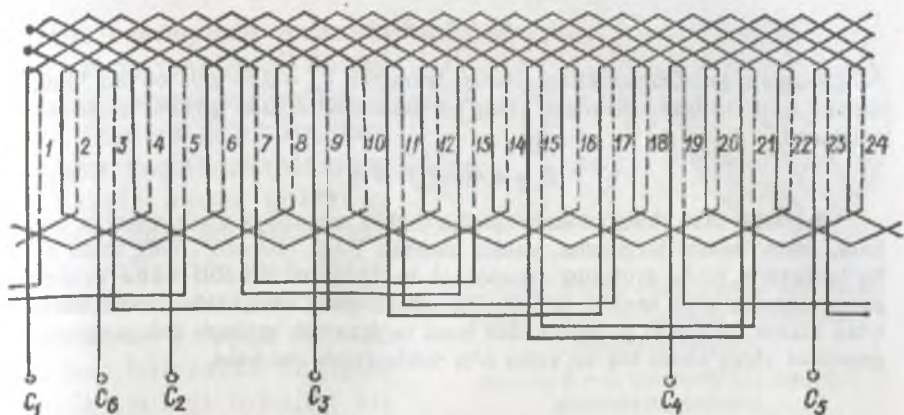
Bunda ikkinchi seksiya gruppasining boshi joylashtiriladigan paz raqamini topish uchun birinchining boshi joylashgan paz raqamiga 2τ ni qo'shish kifoya. Demak, ikkinchi seksiya gruppasining boshi $1 + 2\tau = 1 + 2 \cdot 6 = 13$ ga, ya'ni 13-pazga

8.5. Statorning uch fazali chulg'ami

Stator pazlariga boshlari bir-biridan $\frac{2}{3}\tau$ ga yoki 120 elektr gradusga farq qiluvchi uchta bir fazali chulg'amni joylashtirib, ularni yulduz yoki uchburchaklik sxemasida ulansa, uch fazali chulg'am hosil qilinadi. Bir juft qutbli mashinaning uch fazali chulg'ami eng oddiy sxemada uchta g'altakdan iborat bo'ladi. Sinxron generatorlar uchun, amalda, ikki qatlamli, qadami qisqartirilgan sochilgan chulg'am sxemasi qo'llaniladi. Chulg'am qadamini qisqartirish bilan e.yu.k. egri chizig'ining shakli yaxshilanadi (sinusoidaga yaqinlashadi) va seksiyaning pazdan tashqi qismiga sarflanadigan mis simlar tejaladi.

8.3-masala. Qadami $\frac{1}{6}\tau$ ga qisqartirilgan, ya'ni $y = \frac{5}{6}\tau$ hamda $Z = 24$; $2p = 4$; $m = 3$ bo'lgan ikki qatlamli, sochilgan uch fazali chulg'am sxemasini tuzing.

Yechish.
$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2,$$



8.8-rasm. Sochilgan uch fazali chulg'amning sxemasi.

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6; \quad y = \frac{5}{6}\tau = 5,$$

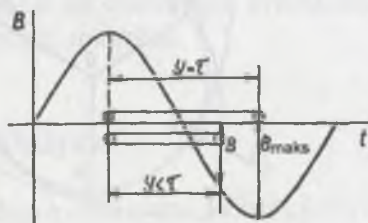
$$y_\phi = \frac{2}{3}\tau = 4.$$

Birinchi faza chulg'amini 1-pazdan boshlaymiz. Seksiya oxiri $1 + y = 1 + 5$, ya'ni 6-pazga joylashtiriladi. $q = 2$ bo'lgani uchun bu juft qutblar ostiga yana bir seksiya, ya'ni (2.7) ni joylashtiramiz. Kelgusi seksiyalar gruppasining boshi joylashadigan paz raqami $1 + 2\tau$, ya'ni 13 bo'ladi. Agar birinchi seksiyalar gruppasi soat strelkasi harakati tomon o'ralgan bo'lsa, u holda ikkinchi seksiyalar gruppasi soat strelkasi harakatining teskari tomoni bo'yicha o'raladi. Agar hisobga binoan ikkinchi seksiyalar gruppasining boshi 13-pazda bo'lsa, uning oxiri joylashadigan paz raqami $13 - y$, ya'ni $13 - 5 = 8$ bo'ladi.

$q = 2$ bo'lgan uchun, ikkinchi juft qutblar ostiga ham yana bir seksiya, ya'ni (12-7) joylashtiriladi. Demak, ikki qatlamli va qadami qisqartirilgan chulg'amda seksiyalar soni ikkilanadi. Birinchi faza uchinchi seksiyalar gruppasining boshi joylashadigan paz raqamini topish uchun ikkinchi seksiyalar gruppasi oxiriga τ qo'shiladi. Demak, uchinchi seksiyalar gruppasi $7 + \tau = 7 + 6 = 13$, ya'ni 13-pazdan boshlanadi va hokazo. Ikkinchi faza boshi joylashadigan paz raqamini topish uchun birinchi faza boshiga y_ϕ qo'shiladi. Demak, ikkinchi fazani $1 + y_\phi = 1 + 4$, ya'ni 5-pazdan boshlab, birinchi faza chulg'ami singari tuziladi (8.8-rasm).

Chulg'am qadamini qisqartirish sababli unda hosil bo'luvchi e.yu.k. qiymati kamayadi. 8.9-rasmda chulg'am qadamini qisqartirish bilan unda hosil bo'ladigan e.yu.k. qiymatining kamayishi ko'rsatilgan.

Qadami qisqartirilgan chulg'amda e.yu.k. ning bunday kamayishi qisqartirish koefitsiyenti deb ataluvchi k bilan ifodalanadi. Sochilish koefitsiyenti bilan qisqartirish koefitsiyentining ko'paytmasi chulg'am koefitsiyenti deyiladi va k_{ch} bilan belgilanadi:



8.9-rasm. Qadami qisqartirilgan chulg'amdagi e. yu. k. ning kamayishi.

$$k_{ch} = k_{soch} k_q. \quad (8.8)$$

Chulg'am ko'effitsiyentining qiymati taxminan $k_{ch} = 0,9 \div 0,95$ bo'ladi. Bunda qadami qisqartirilgan, sochilgan chulg'am fazasidagi e.yu.k. qiymati quyidagicha aniqlanadi:

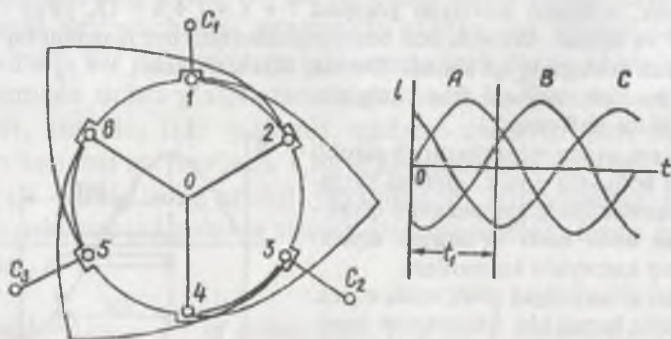
$$E_\phi = 4,44 \cdot k_{ch} f \cdot W \Phi. \quad (8.9)$$

Generator faza chulg'amlarini uchburchaklik sxemasida ulash mumkin bo'lsa ham, ammo ularni ko'pincha, yulduz sxemasi bilan ulanadi. Chulg'amda hosil bo'ladigan e.yu.k. mutlaqo sinusoidal bo'lmagani sababli unda uchinchi garmonikaning ta'siri sezilarli bo'ladi. Shu sababli chulg'amni uchburchaklik sxemasi bilan ulansa, uchinchi garmonikadan hosil bo'lgan tok yuklama tokiga qo'shilib, generator chulg'amini tok bo'yicha o'ta yuklantirishi mumkin.

8.6. Statorning magnit maydoni

Simmetrik yuklamaga ulangan uch fazali sinxron generatorining fazaviy simmetrik chulg'amlaridan bir xil qiymatli, fazasi esa bir-biridan 120 elektr gradusga farq qiluvchi toklar o'tadi. Bu toklardan stator o'zagining gardishi bo'yicha aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi va u rotor bilan bir tomonga va bir xil tezlikda aylanadi. Buni har bir fazasi bir o'ramdan iborat bo'lgan oddiy uch fazali chulg'am sxemasida ko'rsatish mumkin. 8.10-rasmda statorning yulduz sxemasi bilan ulangan chulg'ami va bu chulg'amdagi uch fazali toklarning grafigi ko'rsatilgan.

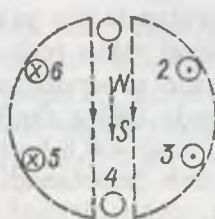
Tokning bir marta to'la o'zgarish davrini 8.10-rasmda ko'rsatilgan $t = 0$, $t = t_1$ va hokazo momentlarida uch fazali tokdan hosil bo'lgan bir juft qutbli magnit maydonlar aylanuvchi xarakterga ega bo'ladi (8.11-rasm).



8.10-rasm.

a — stator chulg'amini yulduz sxemasi bilan ulash; b — stator chulg'amidagi uch fazali tokning grafigi.

$t = 0$ bo'lganda A fazada nol, B da manfiy, C da esa musbat qiymatli tok bo'ladi. V va C fazalardagi tokdan hosil bo'lgan magnit maydonning yo'nalishi parma qoidasiga binoan aniqlanadi. Shu singari $t = t_1$ bo'lganda uch fazali tokdan hosil bo'lgan magnit maydon $t = 0$ dagiga nisbatan ma'lum burchakka burilgan. Chulg'amdagi tokning bir marta to'la o'zgarish davrida



8.11-rasm. Stator chulg'amida uch fazali tokdan hosil bo'ladigan aylanuvchi magnit maydon:

$a - t_0$, $b - t_1$ momentlarida magnit maydonning holatlari.

uch fazali tokdan hosil bo'lgan magnit maydon 360 elektr gradusiga aylangani sababli bu magnit maydonning aylanish chastotasi tok chastotasiga teng bo'ladi. Demak, uch fazali tokning chastotasi $f = 50$ H bo'lsa, u holda bu tokdan hosil bo'lgan magnit maydon bir sekundda 50 marta aylanadi. Stator chulg'amdagi tokdan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonning aylanish chastotasi sinxron chastota deb ataladi, uni umumiy holda quyidagicha aniqlanadi:

$$n = \frac{60}{p} f, \quad (8.10)$$

bunda p — rotordagi juft qutblar soni.

f — juft magnit qutblar soni p bo'lgan rotorni n chastota bilan aylantirish natijasida statorning faza chulg'amida hosil bo'lgan tokning chastotasi.

Demak, sinxron generatori statorida hosil bo'lgan magnit maydonning aylanish chastotasi bilan rotorning aylanish chastotasi bir-biriga teng, ya'ni sinxron bo'ladi. Sinxron so'zi umuman turli hodisalarning bir xil chastotada va bir vaqtda sodir bo'lishini anglatadi. Sinxron generatorning stator va rotor chulg'amlaridagi toklardan hosil bo'lgan magnit oqimlar bir tomonga va bir xil chastotada aylanishlari sababli ularni o'zaro qo'shish yoki ayirish mumkin.

8.7. Yakor reaksiyasi

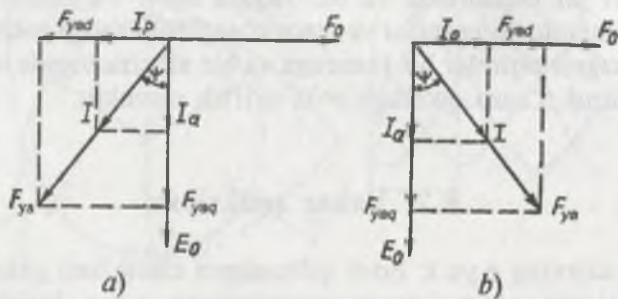
Generatorning e.yu.k. hosil qilinadigan chulg'ami yakor chulg'ami deb atalgani uchun sinxron generatorning stator chulg'amini ham yakor chulg'ami deb ataladi. Shu sababli, statoridagi tokdan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonning rotor qutblaridagi asosiy

magnit maydonga bo'lgan ta'siri yakor reaksiyasi deyiladi. O'zgar-
mas tok mashinalaridagi yakor reaksiyasi yuklama tokining qiymati
bilan aniqlansa, sinxron generatorlardagi yakor reaksiyasi yuklama
tokining qiymati hamda uning xarakteri bilan aniqlanadi. Sinxron
generatorlar, odatda, $\cos\varphi = 0,8$ bo'lgan aktiv-induktiv xarakterdagi
yuklamaga ishlaydi deb hisoblanadi. Yuklamaning induktiv qismi
qancha katta bo'lsa, $\cos\varphi$ qiymati shuncha kichik bo'lib, yakor
reaksiyasining magnitsizlantirish ta'siri shuncha katta bo'ladi. Natijada
umumiy magnit oqimning qiymati kamayib, sinxron generatorning
kuchlanishi pasayadi.

Yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'sirini yo'qotish uchun
rotor chulg'amidagi qo'zg'atish tokini ko'paytirish kifoya. Ammo
qo'zg'atish tokini nominalga nisbatan ko'paytirish bilan qo'zg'atuv-
chi chulg'amni xavfli darajagacha qizitib yuborish mumkin. Yuklama
tokining induktiv qismidan hosil bo'lgan bo'ylama magnit oqim
rotordagi asosiy magnit oqimga teskari yo'nalib, uni kamaytiradi. Aktiv
qismidan hosil bo'lgan ko'ndalang magnit oqim asosiy magnit oqimni
qiyshaytirib qutbning bir tomonida umumiy magnit oqimni zo'raytira,
uning ikkinchi tomondagisini sustlashtiradi. 8.12-rasmda sinxron
generator magnit yurituvchi kuchlarining a — aktiv-induktiv va b —
aktiv-sig'im yuklamalardagi vektor diagrammalari ko'rsatilgan.

Rotor chulg'amidagi tokdan uning qutblarida magnit yurituvchi
kuch F_0 hosil bo'ladi. F_0 vektorining aylantirilishi natijasida statorning
chulg'amlarida e.yu.k. E_0 va, demak, yuklama toki I hosil bo'ladi.
Aktiv-induktiv yuklamada I vektori E_0 ga nisbatan ψ burchagiga
keyinda qoluvchi, aktiv sig'im yuklamada esa ψ burchagiga o'zuvchi
bo'lib, uning qiymati $0^\circ < \psi < 90^\circ$ bo'ladi.

Yuklama tokidan hosil bo'lgan yakor magnit yurituvchi kuchi F_{ya}
ning vektori tok vektori tomon yo'nalgan bo'ladi. Magnit yurituvchi
kuchning bo'ylama F_{yad} qismi yuklama toki vektorining induktiv I_r ,



8.12-rasm. Sinxron generatoridagi magnit yurituvchi
kuchlarning vektor diagrammalari.

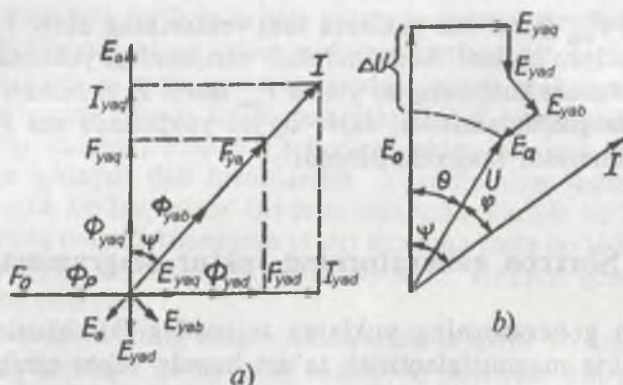
ko'ndalang F_{yaq} qismi esa yuklama toki vektorining aktiv I qismlari tomon yo'nalgan bo'ladi. Aktiv-induktiv xarakterdagi yuklamada yakor magnit yurituvchi kuchining bo'ylama F_{yad} qismi F_0 ga teskari yo'nalib, generator magnitsizlantirilsa, aktiv-sig'im yuklamada esa F_0 ga mos yo'nalib, generator magnitlantiriladi.

8.8. Sinxron generatorning vektor diagrammalari

Sinxron generatorning yuklama rejimidagi kuchlanishi yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'siri hamda yakor chulg'amidagi kuchlanishning pasayuvi hisobiga uning salt ish rejimidagi e.yu.k. E_0 dan farq qiladi. Nominal yuklamada kuchlanish pasayishi $\Delta U_n = \frac{E_0 - U_n}{U_n} \cdot 100 \leq 30 \div 50\%$ bo'lishi lozim. Elektr yurituvchi kuchlar tenglamasini tuzish va uning asosida sinxron generatorning vektor diagrammasini qurish, undan esa ΔU ning qiymatini topish uchun har bir m. yu. k. o'ziga tegishli Φ ni, har bir Φ esa o'ziga tegishli e.yu.k. ni hosil qiladi deb faraz qilinadi (haqiqatda esa, turli F lar ta'sirida umumiy Φ hosil bo'ladi). Demak, rotor chulg'amidagi tokdan asosiy m. yu. k. F_0 , undan asosiy magnit oqim Φ_0 , asosiy magnit oqimdan esa E_0 , ya'ni generatorning salt ish rejimiga tegishli e.yu.k. hosil bo'ladi. Generatorning yuklama toki I dan esa yakorning magnit yurituvchi kuchi F_{ya} , undan yakor va rotor o'zagi orqali bekiluvchi yakorning asosiy Φ_{yaq} magnit oqimlar hosil bo'ladi. Agar F_{ya} ni bo'ylama va ko'ndalang qismlardan iborat deyilsa, ulardan tegishli Φ_{yaq} — bo'ylama va Φ_{yab} — ko'ndalang magnit oqimlar, bu magnit oqimlardan esa tegishli E_{yaq} va E_{yab} e.yu.k. lar hosil bo'ladi. Shu singari, yakorning Φ_{yab} magnit oqimidan e.yu.k. E_{yab} hosil bo'ladi deb, bu sun'iy e.yu.k. lar qiymatini quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

- 1) $E_{yaq} = I_q \cdot x_{yaq}$ — yakorning ko'ndalang magnit oqimidan hosil bo'lgan e.yu.k., bunda $I_q = I \cos \psi$ — yakor tokining aktiv qismi; x_{yaq} — yakor reaksiyasining ko'ndalang induktiv qarshiligi;
- 2) $E_{yad} = I_d \cdot x_{yad}$ — yakorning bo'ylama magnit oqimidan hosil bo'lgan e.yu.k., bunda $I_d = I \sin \psi$ — yakor tokining reaktiv qismi; x_{yad} — yakor reaksiyasining bo'ylama induktiv qarshiligi;
- 3) $E_{yab} = I x_{yab}$ — yakorning Φ_{yab} magnit oqimidan hosil bo'lgan e.yu.k., bunda x_{yab} — yakor chulg'amining induktiv qarshiligi;
- 4) $E_{ya} = I R_{ya}$ — yakor chulg'amining aktiv qarshiligida kuchlanishning tushuvi, bunda R_{ya} — yakor chulg'amining aktiv qarshiligi.

Demak, magnit qutblari ayon bo'lgan sinxron generatori uchun e.yu.k. lar tenglamasini quyidagicha tuzish mumkin:



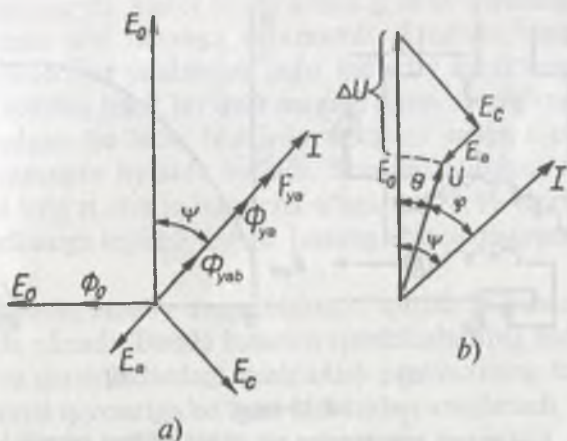
8.13-rasm. Ayon qutbli sinxron generatorning vektor diagrammalari.

$$\bar{U} = \bar{E}_0 + \bar{E}_{yaq} + \bar{E}_{yad} + \bar{E}_{yab} + \bar{E}_{ya}. \quad (8.11)$$

8.13-rasmda aktiv-induktiv yuklamali magnit qutblari ayon bo'lgan sinxron generatorning, *a* — magnit yurituvchi va *b* — elektr yurituvchi kuchlarining vektor diagrammalari ko'rsatilgan.

(8.11) tenglamasi asosida qurilgan e.yu.k. lar vektor diagrammasi (8.13-rasm, *b*) ni Blondel diagrammasi deb ham ataladi. Blondel diagrammasidan foydalanib ΔU qiymatini aniqlash 8.13-rasm, *b* da ko'rsatilgan. Simmetrik yuklamada generator vektor diagrammasini bir faza uchun qurish kifoya. Bunda yuklama toki bilan E_0 orasidagi φ burchagi berilgan. Chulg'amdagi tokdan hosil bo'lgan m.yu.k. va magnit oqim vektorlari tok vektori tomon yo'nalgan bo'ladi. Magnit oqimdan hosil bo'lgan e.yu.k. vektori esa magnit oqim vektoridan 90° keyindan qoluvchi bo'ladi. Magnit qutblari ayon bo'lmagan sinxron generatorning rotor va stator o'rtasidagi havo bo'shlig'i ko'ndalang va bo'yлама o'qlar bo'yicha bir xil qiymatga ega bo'lgani uchun $x_{yaq} = x_{yad}$ bo'ladi. Demak, bunday generatorlar uchun yakor reaksiyasi umumiy ta'sirini hisobga olish, ya'ni F_{ya} ta'sirida Φ_{ya} undan esa $E_{yax} = Ix_{yax}$ hosil bo'ladi deb e'tirof etish kifoya, bunda E_{yax} — yakor magnit oqimining asosiy qismidan hosil bo'lgan e.yu.k.; x_{yax} — yakor reaksiyasining induktiv qarshiligi. Φ_{ya} va Φ_{yab} — magnit oqimlar yakor chulg'amidagi umumiy tokdan hosil bo'lgani uchun x_{yax} va x_{yab} qarshiliklarini qo'shish mumkin, ya'ni $x_c = x_{yax} + x_{yab}$, bunda x_c — magnit qutblari ayon bo'lmagan sinxron mashinasining sinxron qarshiligi.

Demak, magnit qutblari ayon bo'lmagan sinxron generatori uchun e.yu.k. lar tenglamasini quyidagicha tuzish mumkin:



8.14-rasm. Magnit qutblari ayon bo'lmagan sinxron generatorning vektor diagrammalari.

$$\bar{U} = \bar{E}_0 + \bar{E}_c + E_{ya}, \quad (8.12)$$

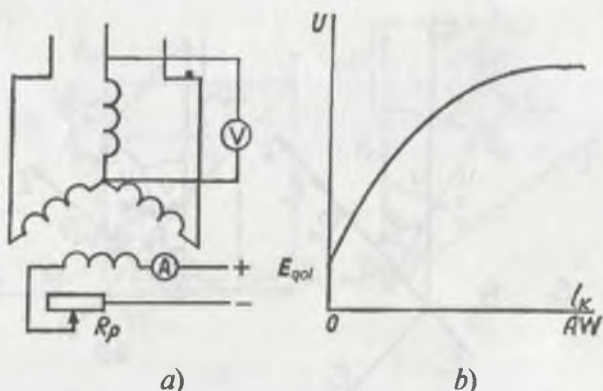
bunda $E_c = I x_c$ — yakorning umumiy magnit oqimidan hosil bo'lgan e.yu.k.

8.14-rasmda aktiv-induktiv yuklamali magnit qutblari ayon bo'lmagan sinxron generatorining *a* — magnit yurituvchi va *b* — elektr yurituvchi kuchlarning vektor diagrammalari ko'rsatilgan.

8.13 va 8.14-rasm, *b* larda ko'rsatilgan e.yu.k. vektor diagrammalarini qurish va undan ΔU qiymatini aniqlashda sinxron mashina qutblaridagi po'lat o'zakning to'yinishi hisobga olinmagan. To'yinishni hisobga olib ΔU qiymati, odatda e.yu.k. larning amaliy deb ataluvchi diagrammasidan grafik usulda topiladi. Amaliy diagrammani qurish uchun salt ish va qisqa tutashish xarakteristikalaridan foydalaniladi.

Sinxron generatorining salt ish xarakteristikasi $U_0 = E_0 = f(i_q)$ ni 8.15-rasm, *a* da ko'rsatilgan sxema asosida tajriba usuli bilan olinadi. 8.15-rasm, *b* da salt ish xarakteristikasi ko'rsatilgan. Bunda ham yuklama toki $I = 0$ bo'lib, $n_g = \text{const}$ yoki $f = \text{const}$ bo'lishi kerak. Rotorning qo'zg'atuvchi chulg'amiga o'zgarmas tok i_q berilmagan taqdirda ham qutblardagi qoldiq magnetizmga binoan stator chulg'amida qoldiq e.yu.k. E_{qol} hosil bo'ladi. Qo'zg'atish tokining ortib borishi bilan e.yu.k. qiymati ham dastavval proporsional ravishda, so'ngra to'yinish sababli egri chiziq bo'yicha ortib boradi.

Sinxron generatori qisqa tutashtirilgan yakor chulg'amidagi tokning qo'zg'atish tokiga bog'lanishini ifodalovchi grafik, ya'ni $I_{yaq} = f(i_q)$ uning qisqa tutashish xarakteristikasi deb ataladi. Bunda generator

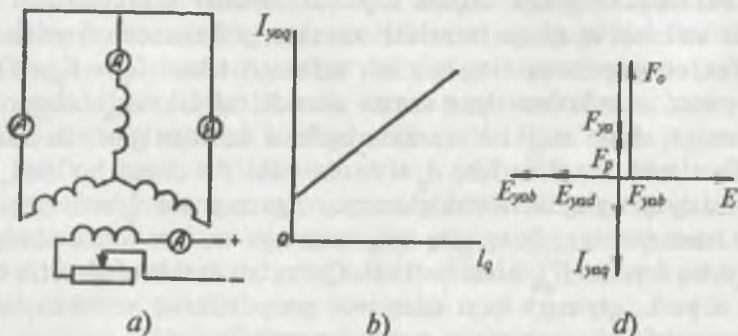


8.15-rasm.

a — sinxron generatorning salt ishlash tajribasi sxemasi;
b — sinxron generatorning salt ishlash xarakteristikasi.

tezligi o'zgarmas, kuchlanishi esa nol, ya'ni $n_g = \text{const}$, $U_g = 0$ bo'lishi kerak.

Qisqa tutashish xarakteristikasi qisqa tutashish tajribasi asosida 8.16-rasm, *a* da ko'rsatilgan sxemaga binoan olinadi. Buning uchun stator chulg'ami ampermetrlar bilan qisqa tutashtirilgan generatorni nominal tezlikda aylantirib, uning qo'zg'atuvchi zanjiridagi tok qiymatini noldan asta-sekin ko'paytiriladi. Qo'zg'atish zanjiridagi tok qiymatining asta-sekin ko'paytirilishida yakor tokining keskin ko'payishi kuzatiladi. Bu tajriba, yakor tokini o'zining nominal qiymatiga erishgunga qadar qo'zg'atish tokini ko'paytirish yo'li bilan olib boriladi. 8.16-rasm, *b* da sinxron generatorning qisqa tutashish xarakteristikasi ko'rsatilgan. Qutblardagi qoldiq magnetizm sababli bu xarakteristika ham



8.16-rasm. Sinxron generatorning po'lat o'zagi to'yingandagi:

a — qisqa tutashish tajribasining sxemasi; *b* — qisqa tutashish xarakteristikasi va
d — vektor diagrammasi.

noldan boshlanmaydi. Stator chulg'aming aktiv qarshiligi juda kichik bo'lgani uchun uni hisobga olinmaydi. Demak, qisqa tutashish tajribasida, generator yuklamasi faqat induktiv xarakterga ega bo'lib, bu induktiv tokdan hosil bo'lgan magnit oqim asosiy magnit oqimga teskari yo'nalgan bo'ladi. Natijada umumiy magnit oqim pasayib qutblar to'yinmagan holatda bo'ladi. Shu sababli qisqa tutashish xarakteristikasi to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi. 8.16-rasm, d da qisqa tutashish tajribasiga tegishli e.yu.k. larning vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

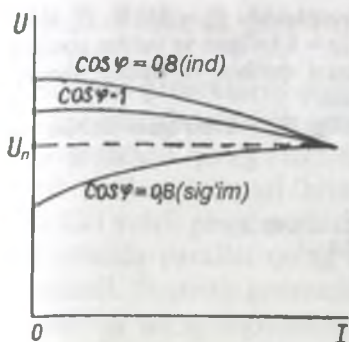
E.yu.k. larning amaliy diagrammasini qurishda hamma miqdorlar nisbiy birlikda olinadi. Bunda induktiv qarshiliklarning nisbiy birlikdagi qiymatlari, bu qarshiliklardagi kuchlanish pasayuvining faza kuchlanishining nominal qiymatiga bo'lgan nisbatidan aniqlanadi, ya'ni, masalan, $X'_{ya\delta} = \frac{I_n X_{ya\delta}}{U_n}$ yakor chulg'aming nisbiy birlikdagi induktiv qarshiligi, Ω ;

U_n — faza chulg'amidagi nominal kuchlanish.

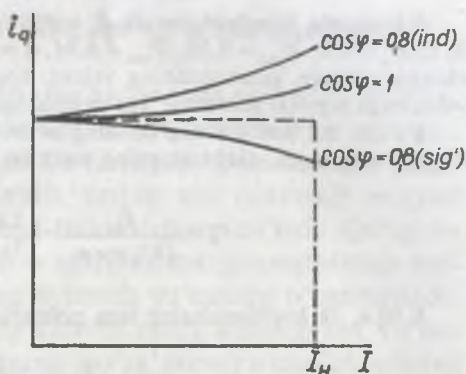
Generatorning nisbiy birlikda qurilgan salt ish xarakteristikasini uning normal salt ish xarakteristikasi deyiladi. Bu xarakteristikani quyidagi jadvalda keltirilgan miqdorlarga binoan quriladi.

№№	I_q	U'_0
1	0,5	053 ÷ 058
2	1	1
3	1,5	1,21 ÷ 1,23
4	2	1,3 ÷ 1,33
5	2,5	1,4
6	3	1,46
7	3,5	1,51

E.yu.k. larning amaliy diagrammasini qurishda qutblari ayon bo'lgan generatorning ayon bo'lmaganidan farqi hisobga olinmaydi, ya'ni F_{ya} ko'ndalang va bo'ylama tashkil etuvchilarga ajratilmaydi. Bu esa qutb o'zagining to'yinishini hisobga olish imkonini beradi. Amaliy diagramma bilan generatorning yuklamasi olingandagi kuchlanish o'zgarishi ΔU ni aniqlashda generator nominal rejimda ishlaydi deb qabul qilinadi. Bunda stator chulg'aming aktiv qarshiligi juda kichik bo'lganligi uchun uni hisobga olinmaydi. Amaliy diagrammani qurish uchun, dastavval, generatorning salt ish va qisqa tutashish xarakteristikalari quriladi. Bu xarakteristikalar qurilgan koordinata sistemasining ordinata o'qi bo'yicha $U_n = OA$ va unga nisbatan φ_n



8.18-rasm. Sinxron generatori-
ning tashqi xarakteristikalar.



8.19-rasm. Sinxron generatorning
rostlash xarakteristikalar.

teristikasidan $E_0 = ON$ vektorini aniqlash mumkin. Demak, yuklama olinishi bilan kuchlanishning o'zgarish qiymati $\Delta U = E_0 - U_n = AN$ bo'ladi. E.yu.k. larning vektor yoki amaliy diagrammasini qurishda kerak bo'lgan sinxron generatorining induktiv qarshiliklari, odatda, berilgan bo'ladi. Bu qarshiliklar qiymatini hisoblash ham mumkin. Buning uchun generatorning salt ish, qisqa tutashish va yuklama xarakteristikalar bo'lishi kerak.

Yuklama olinishi bilan sinxron generator kuchlanishining o'zgarishini uning tashqi xarakteristikasidan ham aniqlash mumkin.

Sinxron generatori kuchlanishini yuklama tokiga bog'lanishini ifodalovchi grafik, ya'ni $U = f(I)$ — uning tashqi xarakteristikasi deb ataladi. Bu xarakteristikani tajriba usuli bilan olishda i_q , f va $\cos \varphi$ qiymatlari o'zgarimas bo'lishi lozim. 8.18-rasmda turli xarakterdagi yuklamalarda sinxron generatorining kuchlanish ko'payishi va kuchlanish pasayishi bo'yicha olingan tashqi xarakteristikalar ko'rsatilgan.

Bu xarakteristikalariga binoan $\Delta U = U_n - U$ yoki $\Delta U\% = \frac{U_n - U}{U_n} 100$ bo'ladi. ΔU qiymatini tashqi xarakteristika tajribasidan aniqlash tejamsiz bo'lgani uchun uni, odatda yuqoridagi diagrammalardan foydalanib aniqlanadi. Turli qiymatdagi yuklamalarda generator kuchlanishini o'zgartirmay saqlash uchun uning qo'zg'atuvchi chulg'amidagi tok qiymatini ma'lum qonun bo'yicha o'zgartirish kerak bo'ladi. Yuklama tokining o'zgarishi bilan $U = U_n = \text{const}$ bo'lishini ta'minlovchi $i_q = f(I)$ bog'lanish generatorning rostlash xarakteristikasi deyiladi. Bu xarakteristikani olishda $\cos \varphi$ va $f = \text{const}$ bo'lishi lozim. 8.19-rasmda turli xarakterdagi yuklamalar uchun rostlash xarakteristikalar ko'rsatilgan.

8.1-masala. Nominal quvvati $R_n = 1500$ kW, kuchlanishi $U_n = 525$ B, $E_{lo} = 700$ B, $\cos \varphi_n = 0,8$, $X_{yad} = 0,16$, $X'_{yad} = 0,84$, $\psi = 42^\circ$, $2p = 8$ bo'lgan va yulduz sxemada ulangan sinxron generatorining vektor diagrammasi qurilsin va undan sxemal yuklamaga tegishli generator kuchlanishi aniqlansin.

Yechish. Stator chulg'aming aktiv qarshiligi $R_{ya} \approx 0$ bo'lgani uchun uni hisobga olinmaydi. Generatorning nominal toki

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_n} = \frac{1500 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 525 \cdot 0,8} = 690 \text{ A.}$$

E.yu.k. va kuchlanishning faza qiymatlari

$$E_{10} = \frac{E_{10}}{\sqrt{3}} = \frac{700}{1,73} = 405 \text{ В},$$

$$U_r = \frac{U_{nl}}{\sqrt{3}} = \frac{525}{1,73} = 304 \text{ V.}$$

Fazaga tegishli induktiv qarshiliklar

$$X_{ya\delta} = \frac{X'_{ya\delta} U_f}{I_n} = \frac{0,16 \cdot 304}{690} \approx 0,07 \, \Omega,$$

$$X_{\text{yaq}} = \frac{X'_{\text{yaq}} \cdot U_{\Phi}}{I_D} = \frac{0,45 \cdot 304}{690} = 0,198 \, \Omega,$$

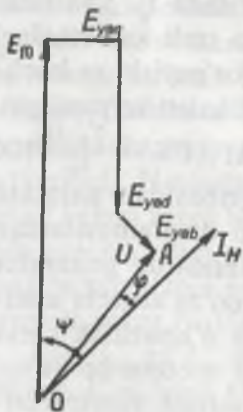
$$X_{\text{yad}} = \frac{X'_{\text{yad}} \cdot U_f}{I_n} = \frac{0,84 \cdot 304}{690} = 0,37 \, \Omega.$$

Stator tokining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$I_9 = I_n \cdot \cos \psi = I_n \cdot \cos 42^\circ = 690 \cdot 0,74 = 510 \text{ A};$$

$$I_d = I_n \sin \psi = I_n \sin 42^\circ = 690 \cdot 0,67 = 460 \text{ A. Statordagi}$$

e.yu.k. lar



$$E_{\text{yad}} = I_{\text{q}} X_{\text{yad}} = 690 \cdot 0,07 \approx 48 \text{ V},$$

$$E_{\text{yaq}} = I X_{\text{yaq}} = 510 \cdot 0,198 \approx 101 \text{ V},$$

$$E_{\text{yad}} = I_{\text{d}} X_{\text{yad}} = 460 \cdot 0,37 \approx 170 \text{ V.}$$

8.20-rasm. Sinxron
generatorning vektor
diagrammasi.

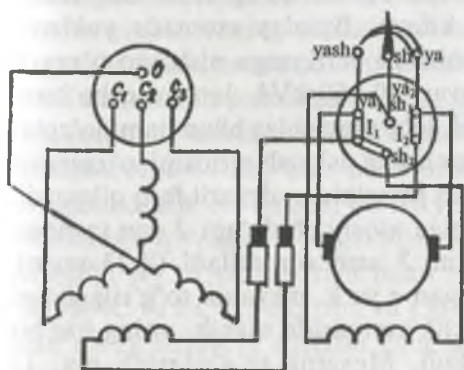
8.20-rasmda hisobga binoan topilgan parametrlar asosida generator uchun qurilgan vektor diagramma ko'rsatilgan. Bu diagrammani qurish uchun dastavval E_0 va unga nisbatan ψ burchak farqida I_n vektorlari o'tkaziladi. E_0 dan E_{yad} , E_{yad} va E_{yad} vektorlarini ayirish natijasida yuklama rejimiga tegishli kuchlanish vektori $U_i = OA$ topiladi. Qabul qilingan masshtabga binoan $U_i = OA = 245$ V bo'lib, $U_1 = \sqrt{3} U_i \approx 423$ V bo'ladi.

8.9. Sinxron generatorlarning qo'zg'atish sxemalari

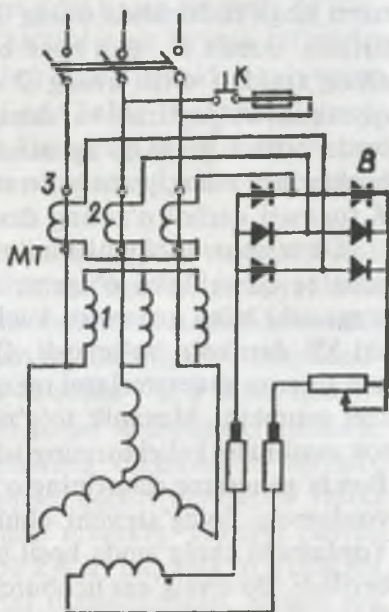
Sinxron generatorni qo'zg'atishning bir qancha sxemalari mavjud.

8.21-rasmda sinxron generatorning elektr mashina qo'zg'atgich bilan mustaqil qo'zg'atish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda stator chulg'ami yulduz sxemasi bilan ulanib, uning nol (neytral) nuqtasi $400 \div 230$ voltli generatorlarda yerga tutashtirilgan bo'ladi. Qo'zg'atgich sifatida parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatoridan foydalaniladi. Sinxron generatorning aylanish yo'nalishi o'zgartiriladigan bo'lsa, qo'zg'atgichning qo'zg'atuvchi chulg'amidagi tok yo'nalishini o'zgartirmaslik uchun uning qo'zg'atuvchi chulg'amining qismalari o'zaro almashtiriladi (8.21-rasm).

Generator kuchlanishini rostlash uchun qo'zg'atgichning qo'zg'atuvchi chulg'amidagi rezistor qarshiligini o'zgartirish kifoya. Elektr mashina qo'zg'atgich sinxron generatorning valiga o'rnatilib, uning konstruksiyasini murakkablashtiradi. Bu qo'zg'atgichda kollektor va cho'tkalar bo'lganligi sababli sinxron generatorning ishlashdagi ishonchligini pasaytirib yuboradi. Bu kamchiliklarni yo'qotish maqsadida S. B. Yudiskiy sinxron generatorning yangi konstruksiyasini ishlab chiqardi. Bunda elektr mashina qo'zg'atgich chala o'tkazgichli to'g'rilagich bilan almashtirilib, sinxron generator o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipida ishlatiladi. 8.22-rasmda o'z-o'zini qo'zg'atuvchi sinxron generatorning sxemasi ko'rsatilgan, bunda 1 — mo'tadillashtiruv-



8.21-rasm. Sinxron generatorning elektr mashina qo'zg'atgich bilan qo'zg'atilish sxemasi.

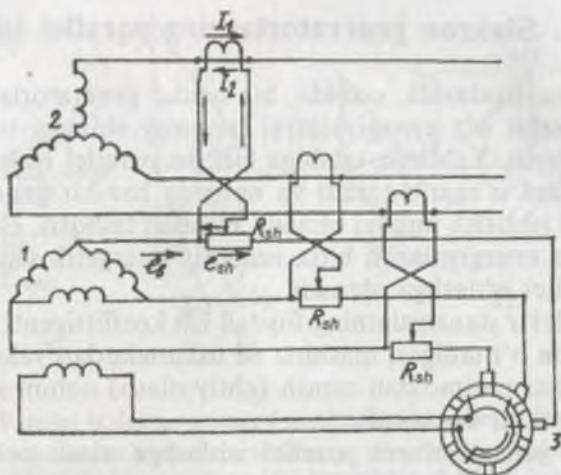


8.22-rasm. O'z-o'zini qo'zg'atuvchi sinxron generatorning ulanish sxemasi.

chi uch chulg'amli transformator MT ning stator chulg'amiga parallel ulangan birlamchi chulg'ami; 3 — MT ning stator chulg'amiga ketma-ket ulangan birlamchi chulg'amlari va 2 — MT ning ikkilamchi (kuchlanishni pasaytirib beruvchi) chulg'ami; generatorning o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipi salt ish rejimida o'tkazilib, bunda qoldiq magnetizmdan stator chulg'amida hosil bo'lgan E_{qol} ta'sirida mo'tadillashtiruvchi transformatorning 1 chulg'amidan tok o'tadi. Bu tokdan hosil bo'lgan magnit oqim ikkilamchi chulg'amda e.yu.k. hosil qiladi. Bu e.yu.k. ventil (to'g'rilagich) B ga berilib, undan olingan o'zgarma tokni sinxron generatorning qo'zg'atuvchi chulg'amiga beriladi va natijada uning kuchlanishi o'z-o'zidan nominalgacha ortib boradi. Generatorga yuklama berilishi bilan mo'tadillashtiruvchi transformatorning chulg'ami 3 dan ham tok o'ta boshlaydi. Bu chulg'amdan yuklama tokining o'tishi bilan hosil bo'lgan magnit oqimdan foydalanib generator chulg'amidagi kuchlanishning pasayuvi hamda yakor reaksiyasi magnitsizlantirish ta'sirini mutlaqo yo'qotish imkoni olinadi. Shunday qilib, mo'tadillashtiruvchi transformator bilan generator kuchlanishining berilgan qiymati avtomatik ravishda o'zgartirilmay saqlanib turiladi.

O'z-o'zini qo'zg'atish jarayonini tezlatish uchun sinxron generatorni ishga tushirishda uning ikki fazasi tugma K bilan qisqa tutashtiriladi. Bunda E_{qol} dan hosil bo'lgan qisqa tutashish toki MT ning 3 chulg'amidan o'tib uning 2 chulg'amida hosil bo'ladigan e.yu.k. qiymatini ko'paytiradi va, demak, generatorning qo'zg'atish toki ham tezda ortib u jadal qo'zg'atiladi. O'z-o'zini qo'zg'atish jarayonining boshlanishi bilan, ya'ni generator kuchlanishining ortib borishi bilan, K tugmasi darhol o'zining dastlabki holatiga qaytariladi.

Generator kuchlanishini rostlash uchun qo'zg'atish zanjiridagi rezistor qarshiligini o'zgartirish kifoya. Bunday sxemada yuklama o'zgarishi bilan generator kuchlanishini berilganga nisbatan o'zgariishi 5% dan ko'p bo'lmaydi. Quvvati 30÷50 kVA dan ortiq bo'lgan sinxron generatorlarni mexanik to'g'rilagichlar bilan ham qo'zg'atish mumkin. Mexanik to'g'rilagichning ishlash prinsipi o'zgarma tok mashinasi kollektorining ishlash prinsipidan deyarli farq qilmaydi. Bunda generator statorining o'zagiga asosiy chulg'am 1 dan tashqari yordamchi qo'zg'atuvchi chulg'am 2 ham o'rnatiladi (8.23-rasm). Yordamchi chulg'amda hosil bo'lgan e.yu.k. mexanik to'g'rilagichga beriladi. Bu chulg'am uchburchaklik sxemasida ulanib, uning har bir fazasi 5÷8 o'ramdan iborat bo'ladi. Mexanik to'g'rilagich esa, 12 qismaga bo'lingan kontaktli mis halqadan iborat bo'lib, rotor valiga o'rnatilgan bu halqa qismlarining oltitasi ish, qolgani yordamchi qism hisoblanadi. Juft tartib nomerli ish qismlarni o'zaro biriktirib ularni



8.23-rasm. Mexanik to'g'rilagich bilan qo'zg'atiluvchi CTT tipli sinxron generatorning ulanish sxemasi.

rotordagi qo'zg'atish chulg'aming bir uchiga ulansa, tok nomerliklari esa uning ikkinchi uchiga ulanadi (8.23-rasm).

Yordamchi chulg'amda hosil bo'lgan e.yu.k. lar mexanik to'g'rilagichga cho'tkalar vositasida beriladi. Cho'tkalar bir-biridan 120 elektr gradusiga surilgan bo'lib, ularning soni juft qutblar sonidan uch marta ko'p bo'ladi. Mexanik to'g'rilagichdagi mis halqa yordamchi qismi-ning kengligi cho'tka kengligidan bir oz katta qilinadi. Bunda cho'tka halqaning bir ish qismidan ikkinchisiga o'tishida ularni o'zaro qisqa tutashtirmaydi.

8.23-rasmda mexanik to'g'rilagich bilan qo'zg'atiluvchi CTT tipli sinxron generatorning ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda yuklama o'zgarishi bilan generator kuchlanishini avtomatik ravishda rostlab turish uchun kompaundlash qurilmasidan foydalanilgan. Kompaundlash qurilmasi uchta tok transformatori va uchta 1 Ω li shunt qarshiligidan iborat bo'lib, ular boshqaruvchi panel shchitiga o'rnatiladi. Kompaundlash darajasini, ya'ni yuklamaning o'zgarishida berilgan kuchlanish qiymatini o'zgartirmay saqlab qolish darajasini shunt qarshiligi R_{sh} ni o'zgartirish bilan rostlash mumkin. Hozirgi paytda EC-91-4C va EC-83-6C tipli va (50 va 30 kW li) mexanik to'g'rilagich bilan qo'zg'atiluvchi sinxron generatorlar o'zlashtirilgan. Bunda tok transformatorining ikkilamchi chulg'ami zigzag sxemasida ulanadi. Buning natijasida esa, simmetrik bo'lmagan yuklama bilan ishlashda generator kuchlanishini mo'tadillashtirish sharoiti yaxshilanadi.

8.10. Sinxron generatorlarning parallel ishlashi

Elektr stansiyalarida, odatda, bir necha generatorlar o'rnatiladi. Bu generatorlar o'z energiyalarini umumiy shinaga uzatib, o'zaro parallel ishlaydi. Yuklama talabiga binoan parallel ishlovchi generatorlarning soni o'zgarib turadi va natijada har bir generatorni to'la quvvat bilan ishlatish imkoni olinadi. Bundan tashqari, elektr stansiyalari ham o'z energiyalarini bitta umumiy energetik sistemaga berib, o'zaro parallel ishlashga ulanadi.

Bunda elektr stansiyalarning foydali ish koeffitsiyenti ancha yuqori bo'lib, ularda o'rnatilgan mashina va uskunalardan yaxshiroq foydalaniladi va har ehtimoldan asrash (ehtiyotlash) uchun kerak bo'lgan generatorlar soni kamayadi.

Sinxron generatorlarni parallel ishlashga ulash uchun quyidagi shartlarga rioya qilish kerak:

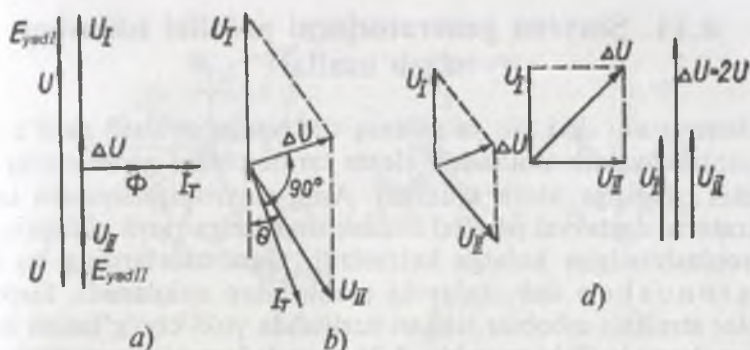
1) ishlab turgan va parallel ishga ulanuvchi generator kuchlanishlarining qiymati o'zaro teng, ya'ni $U_1 = U_{II}$, fazalari esa 180° ga farq qilishi lozim;

2) generatorlar chastotasi o'zaro teng, ya'ni $f_1 = f_{II}$ va ularning fazalari bir xil ketma-ketlikka ega, ya'ni $A_1 B_1 C_1$ va $A_2 B_2 C_2$ bo'lishi lozim.

Agar $U_1 > U_{II}$ bo'lib, boshqa shartlar bajarilgan bo'lsa, u holda generator chulg'amlarida potensial farqi ΔU paydo bo'lganligi sababli tenglashtiruvchi I_1 toki hosil bo'ladi (8.24-rasm, a). Bunda chulg'amning aktiv qarshiligi juda kichik qiymatga egaligi uchun uni hisobga olinmaydi. Shu sababli I_1 tokini ΔU vektoridan 90° ga keyinda qoluvchi deb qabul qilinadi. Bunda tenglashtiruvchi tok ikkala generator uchun ham reaktiv tok bo'lib, kuchlanishi katta generatorda I_1 — induktiv, kuchlanishi kichikda esa, I_1 — sig'im xarakterida bo'ladi. Tenglashtiruvchi tokdan Φ_{yad} , undan esa E_{yadI} hosil bo'lib, kuchlanishi ortiq bo'lgan birinchi generatorning U_1 kuchlanishi U gacha kamayadi. Ikkinchi generatorda esa, I_1 sig'im toki bo'lib, undan generatorni magnitlantiruvchi yakor reaksiyasi, so'ngra E_{yadII} hosil bo'ladi va natijada generatorning U_2 kuchlanishi U gacha ko'payadi. Tenglashtiruvchi tok I_1 tufayli generator chulg'amlaridan nominal yuklama tokini o'tkazish imkoni bo'lmay, natijada ular quvvatidan to'la foydalanilmaydi. Ammo, tenglashtiruvchi tok reaktiv bo'lgani uchun undan generatorlarni aylantiruvchi birlamchi motor momentiga teskari bo'lgan moment hosil bo'lmaydi.

8.24-rasm, a da kuchlanishlari o'zaro teng bo'lmagan, ya'ni $U_1 > U_{II}$ bo'lgan generatorlarning parallel ishlashidagi vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

Agar generator kuchlanishlari faza bo'yicha 180° dan kichikroq burchakka farq qilsa, u holda ham ΔU sababli generator chulg'amlarida



8.24-rasm. Parallel ishlashga ulangan generatorning vektor diagrammalari:

- a* — kuchlanishlari o'zaro teng bo'lmagan, ya'ni $U_I > U_{II}$ bo'lgandagi;
b — kuchlanishlari bir-biriga nisbatan 180° burchakdan kichikroq burchakka farq qilgandagi; *d* — chastotalari o'zaro teng bo'lmagan, ya'ni $f_I + f_{II}$ bo'lgandagi vektor diagrammalar.

ridan tenglashtiruvchi I_I toki o'tadi (8.24-rasm, *b*). Bu tok ham ΔU fazasiga nisbatan 90° ga keyinda qoluvchi bo'ladi. Agar tenglashtiruvchi tok vektori deyarli U_{II} vektori tomon yo'nalgan bo'lsa, I_I toki ikkinchi generatorga aktiv tok hisoblanadi. Ikkinchi generator chulg'amida I_I toki paydo bo'lishi bilan u shu onda yuklama oladi va natijada generator rotorini aylantiruvchi birlamchi motor valida uning momentiga teskari bo'lgan moment hosil bo'ladi. Tenglashtiruvchi tok birinchi generator chulg'amidan o'tishi bilan generator rotorining aylanishi tomon yo'nalgan elektromagnit momenti hosil bo'ladi. Birinchi generator rotori o'zining aylanishi tomon, ikkinchisining esa, o'zining aylanishiga teskari tomon bo'yicha ma'lum burchaklarga buriladi va natijada θ burchagi nolga, U_I va U_{II} kuchlanish fazalarining farqi esa 180° ga teng bo'lib qoladi.

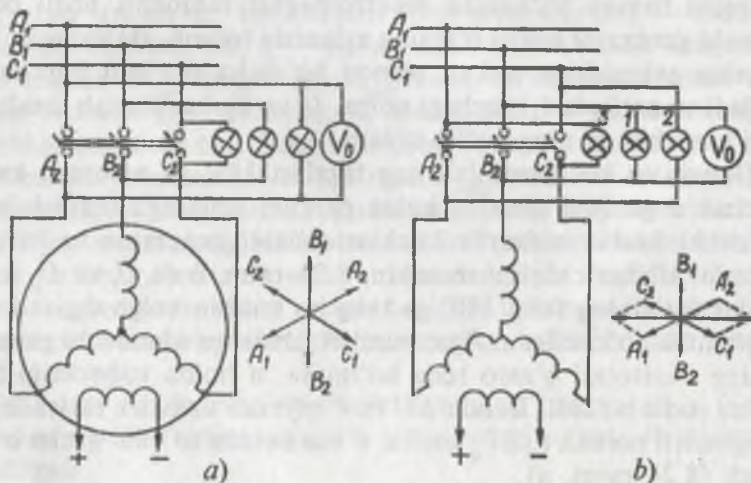
Generator kuchlanishlarining fazalari 180° ga nisbatan kattaroq burchak θ ga farq qilsa, u holda parallel ishlashga ulanishda hosil bo'luvchi keskin mexanik kuchlar sababli generator va birlamchi motorlar ishdan chiqishi mumkin. 8.24-rasm, *b* da U_I va U_{II} kuchlanishlar fazasining farqi 180° ga teng bo'lmagan holga tegishli vektor diagramma ko'rsatilgan. Agar parallel ishlashga ulanuvchi generatorlarning chastotasi o'zaro teng bo'lmasa, u holda yuqoridagi singari hodisa sodir bo'ladi. Bunda ΔU va θ qiymati uzluksiz ravishda, ya'ni ΔU qiymati noldan to $2U_\phi$ gacha, θ esa noldan to 180° gacha o'zgarib turadi (8.24-rasm, *d*).

8.24-rasm, *d* da f_I va f_{II} chastotalari teng bo'lmagan holga tegishli kuchlanishlarning vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

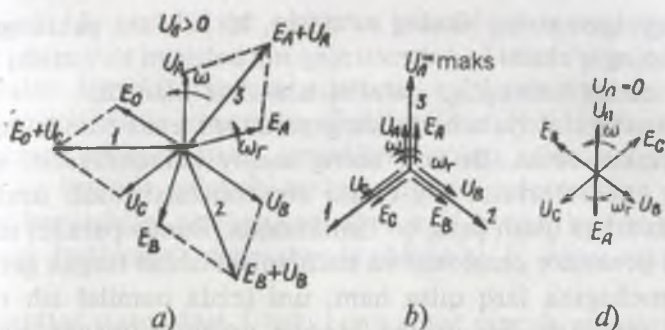
8.11. Sinxron generatorlarni parallel ishlashga ulash usullari

Generatorni ikki xil, ya'ni aniq sinxronizatsiyalash va o'z-o'zini sinxronizatsiyalash usullarida elektr tarmog'idagi generatorlar bilan parallel ishlashga ulash mumkin. Aniq sinxronizatsiyalash usulida generatorni dastavval parallel ishlash shartlariga rioya qilingan, ya'ni sinxronlashtirilgan holatga keltiriladi. Generatorlarning bu holati sinxronoskop deb ataluvchi asbob bilan aniqlanadi. Sinxronoskoplar strelkali asboblarning singari tuzilishda yoki cho'g'lanish lampalaridan iborat bo'lishi mumkin. 8.25-rasmda lampali sinxronoskopning a — yorug'likning o'chishi va b — yorug'likning aylanishiga asoslangan ulanish sxemalari ko'rsatilgan.

Agar generatordagi e.y.u.k. E_A , E_B va E_C vektorlarining aylanish chastotasi ω_G elektr tarmog'idagi kuchlanish U_A , U_B va U_C vektorlarining aylanish chastotasi ω dan farq qilsa, masalan, $\omega_g > \omega$ bo'lsa, u holda umumiy vektorning qiymati, ma'lum bir momentda $\bar{E}_A + \bar{U}_A > 0$ bo'lib, bu kuchlanishning ta'sirida sinxronoskopning lampalari yonadi (8.26-rasm, a). Boshqa bir daqiqada esa bu vektorlar bir tomonga mos ravishda aylanib umumiy vektorning qiymati $\bar{U}_A + \bar{E}_A = 2\bar{U}_A = 2\bar{E}_A$ bo'ladi. Bunda cho'g'lanish lampalariga $2 \cdot U_\phi$ kuchlanishi beriladi (8.26-rasm, b). Demak, har bir lampa $2U_\phi$ kuchlanishiga hisoblangan bo'lishi kerak. Yana bir daqiqada $\bar{E}_A + \bar{U}_A = 0$, $\bar{E}_B + \bar{U}_B = 0$ va $\bar{E}_C + \bar{U}_C = 0$ bo'ladi (8.26-rasm, d). Bunda uchta lampa bir vaqtda o'chadi. Agar uchala lampa bir vaqtda



8.25-rasm. Lampali sinxronoskopning ulanish sxemalari.

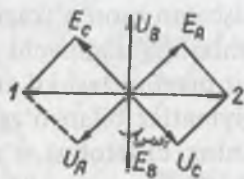


8.26-rasm. Yorug'likning o'chishiga asoslangan sinxronizatsiyalashdagi kuchlanishlarning vektor diagrammalari.

o'chmasa, u holda fazalar ketma-ketligi turlicha bo'ladi. Bunda bir xil ketma-ketlikka ega bo'lish uchun elektr tarmog'idan keluvchi ikki faza uchlarini o'zaro almashtirish kifoya, ω_g bilan ω ning farqi katta bo'lsa, u holda lampalar tez yonib-o'chib turadi. Generatorni aylantiruvchi motor chastotasini o'zgartirish bilan $\omega_g = \omega$ va, demak, $f_g = f$ qilib, lampalarning uzoq vaqtgacha o'chib turishi ta'minlanadi va bu sinxronlashtirilgan daqiqada generatorni elektr tarmog'i bilan parallel ishlashga ulanadi.

Aniq sinxronizatsiyalash usuli bilan generatorni parallel ishlashga ulash, odatda, yorug'likning aylanish sxemasi asosida o'tkaziladi. 8.27-rasmda yorug'likning aylanishiga asoslangan sinxronizatsiyalashdagi kuchlanishlarning vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

Bunda lampalardan biri generator va elektr tarmog'ining bir xil faza uchlariga ulanib, qolgan ikkitasi turli fazalarga ulanadi. Agar $\omega_g \neq \omega$, ya'ni $f_g \neq f$ bo'lsa, lampalar navbatma-navbat o'chib-yonib turadi. Lampalar bu sxemada teng tomonli uchburchaklikning uchlariga o'rnatilgani sababli yorug'likning aylanishi sodir bo'ladi. Bunda agar ulanuvchi generator ishlab turganga nisbatan ko'proq chastota bilan aylanayogan bo'lsa, u holda yorug'lik soat strelkasi tomon, pastroq tezlikda esa, yorug'lik soat strelkasining teskari tomoniga aylanadi. Demak, yorug'likning aylanish prinsipiga asoslanib tuzilgan sinxronizatsiya sxemasida ulanuvchi generator chastotasini ko'paytirish yoki kamaytirish zaruriyati aniq belgilanadi. Bu esa sxemaning asosiy afzalligidir.



8.27-rasm. Yorug'likning aylanishiga asoslangan sinxronizatsiyalashdagi kuchlanishlarning vektor diagrammasi.

Aylanayotgan yorug'likning to'xtashi, bir xil faza uchlariga ulangan lampaning o'chishi va voltmetrning nol belgisini ko'rsatishi bilan oq generator elektr tarmog'iga parallel ishlashga ulanadi.

Aniq sinxronizatsiyalash usulida generatorni tezda parallel ishlashga ulash mumkin emas. Bu esa uning asosiy kamchiligidir. Keyingi paytlarda generatorlarni o'z-o'zini sinxronizatsiyalash usuli bilan parallel ishlashga ulash keng qo'llanilmoqda. Bunda parallel ishlashga ulanuvchi generator chastotasi va kuchlanishi ishlab turgan generatornikidan anchagina farq qilsa ham, uni tezda parallel ish rejimiga o'tkazish mumkin. Bu usulga binoan qo'zg'atilmagan holatdagi generatorni birlamchi motor bilan nominalga nisbatan $2 \div 5\%$ ga farqlanuvchi chastota bilan aylantirilib, ishlab turgan birinchi generatorga parallel ulanadi. Generatorni parallel ishlashga ulashdan so'ng, shu onning o'zida uning qo'zg'atuvchi chulg'amiga tok beriladi va natijada bir, ikki sekund o'tishi bilan generator o'z-o'zidan sinxronizmga tortiladi. Generatorni parallel ishlashga ulash paytida uning qo'zg'atish chulg'ami razryad qarshiligi yoki salt ish rejimida aylanayotgan qo'zg'atgich yakoriga tutashtirilishi lozim. Parallel ishlashga ulash paytida generator toki nominalga nisbatan bir necha marta ortib ketadi, ammo qisqa vaqt ichida bu hodisaning tugashi sababli uning generatorga xavfi aytarlik bo'lmaydi. Parallel ishlashga ulanuvchi generator chastotasi taxometr yoki stroboskopik usuli bilan aniqlanadi. Qo'zg'atilgan va qo'zg'atilmagan generatorlar chastotasi ko'pincha chastota rele si bilan aniqlanadi.

O'z-o'zini sinxronizatsiyalashda generatorni parallel ishlashga ulashdan oldin uning fazalar ketma-ketligini ishlab turgannikiga moslash lozim. Buning uchun faza ko'rsatkich asbobdan foydalaniladi. O'z-o'zini sinxronizatsiyalash usuli noaniq bo'lsa ham, ammo generatorlarni parallel ishlashga ulash tez-tez qaytarilib turiladigan stansiya va sistemalarda undan foydalanish juda ham qulaylik tug'diradi. Bu usulda sinxronlashtirish jarayonini avtomatik boshqarishga nisbatan oson o'tkazish mumkin. Odatda, elektr tarmog'i bilan parallel ishlashga ulanuvchi generator quvvati tarmoqdagi quvvatning kichik bir qismini tashkil etadi. Shu sababli generator parametrlarining turli qiymatlar bilan o'zgarishida ham elektr tarmog'idagi kuchlanish va uning chastotasi o'zgar mas qiymatda qolaveradi. Sinxronlashtirish shartlariga rioya qilinib, parallel ishlashga ulangan generator dagi e.yu.k. E_0 ning qiymati elektr tarmog'idagi kuchlanish U_1 ga teng, uning yo'nalishi esa kuchlanishga teskari bo'ladi. Bunda generator chulg'amidan tok o'tmay, u yuklamasiz ishlaydi. Birlamchi motorning aylantiruvchi momenti ko'paytirilsa, generator rotorining dastlabkiga

va, demak, E_0 ning U_1 ga nisbatan holatlari θ burchagiga o'zgarib qoladi.

E_0 bilan U_1 vektorlarining geometrik yig'indisidan hosil bo'lgan ΔE vektori ta'sirida generator chulg'amidan I_1 toki o'ta boshlaydi. Stator chulg'amining aktiv qarshiligi hisobga olinmasa, I_1 toki ΔE dan 90° ga keyinda qoluvchi bo'ladi. Bunda generatordan elektr tarmog'iga beriladigan aktiv quvvat $P_2 = m_1 U_g I_1 \cos \varphi_g$ bo'lib, elektr tarmog'idagi kuchlanish generator kuchlanishi U_g bilan muvozanatda bo'ladi.

Generator statoridagi I_1 toki bilan rotor magnit oqimining o'zaro ta'siri natijasida elektromagnit moment hosil bo'ladi. Bu elektromagnit moment generatorning aylantiruvchi momentiga teskari yo'naladi. Shu sababli stator chulg'amidan I_1 toki o'tishi bilan elektr tarmog'iga ulangan yuklamaning bir qismi generatorga o'tadi. Bunda generatorga elektr yuklamasi berilsa, uni aylantiruvchi birlamchi motorga esa, mexanik yuklama beriladi.

Shunga binoan birlamchi motorning mexanik quvvati quyidagicha bo'ladi:

$$P_1 = P_0 + P_{cm},$$

bunda $P_0 = P_{mex} + P_p + P_{qo'z}$ — generatorning salt ish rejimidagi quvvat isrofi;

P_{mex} — generatordagi mexanik ishqalanishlarga sarflanadigan quvvat isrofi;

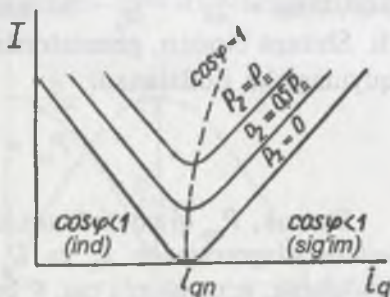
$P_{qo'z}$ — generatorni qo'zg'atishga sarflanadigan quvvat isrofi;

P_{cm} — generatorning elektromagnit quvvati.

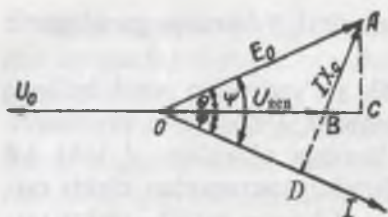
Demak, parallel ishlashga ulangan generatordan olinuvchi aktiv quvvat $P_g = P_{cm} - m_1 I_1^2 P_1$ ni roslash uchun birlamchi motor quvvati P_1 ni o'zgartirish kifoya.

Kuchlanish va chastotasi o'zgar-mas bo'lgan elektr tarmog'i bilan parallel ishlashga ulangan genera-torning tarmoqqa beradigan aktiv quvvati o'zgar-mas bo'lsa, u holda statordagi tokning rotor qo'zg'atish chulg'amidagi tokka bog'lanishi U -simon egri chiziq bilan ifodalanadi (8.28-rasm).

8.28-rasmda sinxron generato-rining $P_2 = 0$; $P_2 = 0,5 P_n$ va $P_2 = P_n$ ga tegishli U -simon egri chiziqlari



8.28-rasm. Sinxron generatorning U -simon diagrammasi.



8.29-rasm. Sinxron generatordan olinadigan elektromagnit quvvatni aniqlashga doir diagramma.

saqlash uchun uning qo'zg'atish tokini punktir chiziq bo'yicha ko'paytirish dardkor. Agar generatorning qo'zg'atish toki $i_q > i_{qn}$ bo'lsa, u holda statordagi tok elektr tarmog'idagi kuchlanishga nisbatan uzuvchi bo'ladi, $i_q < i_{qn}$ da esa keyinda qoluvchi bo'ladi. Shunday qilib, qo'zg'atish tokining o'zgarishida generator quvvatining faqat reaktiv qismigina o'zgaradi. Elektr tarmog'i bilan parallel ishlashga ulangan generatordan olinadigan aktiv quvvat R_2 ning ifodasini aniqlash uchun 8.29-rasmdan foydalaniladi. Bunda sinxron generatori ayon bo'lmagan qutbli deb qabul qilinadi. Elektrotexnika kursidan ma'lumki, uch fazali sinxron generatoridan olinadigan elektromagnit quvvat quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{cm} = 3 U_g I \cos \varphi \text{ [W]}, \quad (8.13)$$

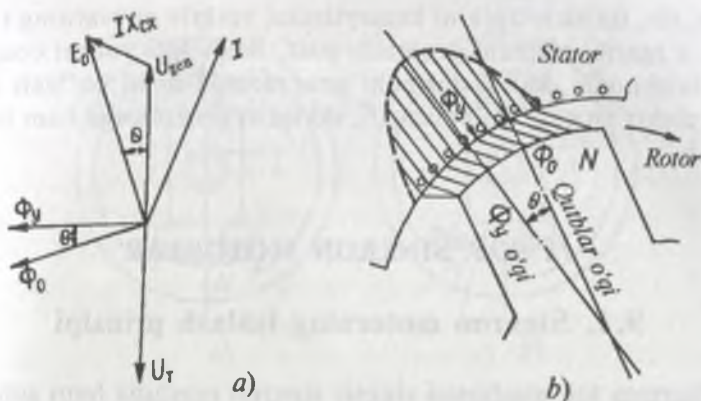
8.29-rasmdagi diagrammaga binoan esa:

$$P_{cm} = 3 E_0 I \cos \psi \text{ [W]}. \quad (8.14)$$

$U_g \cos \varphi = E_0 \cos \psi$ bo'lgani uchun $AC = AB \cos \varphi = IX_c \cos \varphi = E_0 \sin \theta$, $\cos \varphi = \frac{AC}{AB} = \frac{E_0 \sin \theta}{IX_c}$ bo'lgani uchun esa, $P_{cm} = 3 U_g I \frac{E_0 \sin \theta}{IX_c}$ bo'ladi. Shunga binoan, generatordan elektr tarmog'iga beriluvchi quvvat quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{cm} = 3 U_g E_0 \frac{\sin \theta}{X_c}. \quad (8.15)$$

Demak, P_{cm} qiymati θ burchagining sinusiga proporsionaldir. Agar vektor diagrammada E_0 va U_g vektorlari orasidagi burchak θ bilan ifodalansa, generatorda esa, θ burchagi orqali qutb o'qi bilan mashinada hosil bo'lgan umumiy magnit oqimning o'qi orasidagi burchak ifodalanadi (8.30-rasm, a, b). θ burchagini kattalashtirish uchun bir-

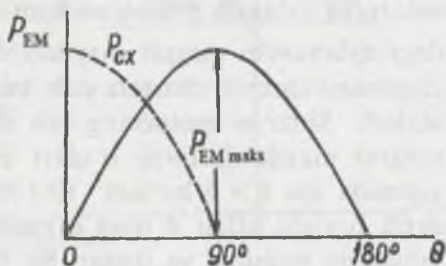


8.30-rasm. θ burchagi tushunchasiga tegishli rasmlar.

lamchi motor bilan rotorning tezlanishini o'zgartirish kifoya. Buning uchun birlamchi motorga beriladigan yoqilg'i yoxud turbinaga beriladigan bug' yoki suvni ko'paytirish zarur.

Sinxron generatorning elektromagnit P_{em} yoki elektr tarmog'iga beriladigan P_g quvvatining θ burchagiga bog'lanishini ifodalovchi grafik uning burchak xarakteristikasi deb ataladi. 8.31-rasmda sinxron mashinaning burchak xarakteristikasi ko'rsatilgan.

(8.15) ifodaga binoan generatorning elektr tarmog'iga beradigan aktiv quvvati θ ning 90° gacha ortib borishida ortadi, $\theta > 90^\circ$ bo'lishi bilan esa kamaya boshlaydi. θ burchagining 90° ga yaqinlashishi bilan generatorning parallel ishlashdagi turg'unligi kamayib boradi va $\theta = 90^\circ$ bo'lganda generator sinxronizmdan tushib qoladi. Shunga ko'ra, sinxron generatorlarni nominal quvvat bilan ishlatishda ulardagi θ burchagi $15 \div 25^\circ$ ga teng bo'ladi. Qishloq elektr stansiyalarida parallel ishlashga ulanadigan generator quvvati elektr tarmog'idagi quvvatga yaqin bo'lishi mumkin. Bunda bir generator-dagi quvvatni ikkinchisiga o'tkazish uchun birinchi generatorni aylantiruvchi motor quvvatini kamaytirish, ikkinchisikini esa ko'paytirish lozim. Bunda ularning kuchlanishlari o'zgarماسligi uchun qo'zg'atish toklari o'zgartiriladi. Agar birinchi generator qo'zg'atish tokini



8.31-rasm. Sinxron mashinasining burchak xarakteristikasi.

ko'paytirib, ikkinchisinikini kamaytirilsa, reaktiv quvvatning taqsimlanishi o'zgarib, birinchi generator past, ikkinchisi yuqori $\cos\varphi$ bilan ishlay boshlaydi. Bunda birinchi generatorda hosil bo'lgan reaktiv quvvat elektr tarmog'idan tashqari, ikkinchi generatorga ham berilishi mumkin.

IX BOB. SINXRON MOTORLAR

9.1. Sinxron motorning ishlash prinsipi

O'zgarmas tok mashinasi singari sinxron mashina ham generator, ham motor rejimida ishlaydi. Sinxron motorning konstruksiyasi generatorkidan farq qilmaydi.

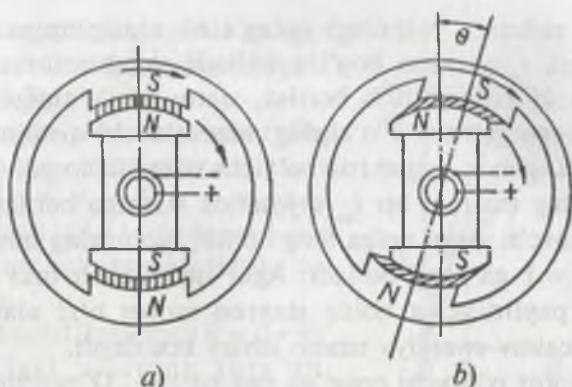
Sinxron mashinani motor rejimida ishlatish uchun uning stator chulg'amiga uch fazali, rotor chulg'amiga esa o'zgarmas tok beriladi. Stator chulg'amiga berilgan uch fazali tokdan aylanuvchi magnit maydon hosil bo'lib, uning tezligi quyidagicha bo'ladi:

$$n = \frac{60f}{p}, \frac{\text{ayl}}{\text{min}};$$

bunda f — o'zgaruvchan tokning chastotasi;

p — stator chulg'amiga berilgan tokdan hosil bo'lgan magnit maydonning juft qutblar soni.

Statordagi aylanuvchi magnit maydon bilan rotordagi tokning o'zaro ta'siri natijasida elektromagnit moment hosil bo'ladi. Elektromagnit momentning ta'sirida motor rotor statordagi aylanuvchi magnit maydon yo'nalishida aylana boshlaydi. Statordagi aylanuvchi magnit maydon N yoki S qutbi rotor magnit maydonidagi ularga teskari bo'lgan qutblari bilan elastik zanjir singari bog'lanishga egaligi sababli rotorning aylanish chastotasi ham $n = \frac{60f}{p}$ bo'ladi. Rotorning statordagi aylanuvchi magnit maydon chastotasiga teng bo'lgan aylanish chastotasi sinxron chastota deb, bunday motor esa sinxron motor deb ataladi. Sinxron motorning salt ish rejimida uning stator va rotor magnit maydonlarining o'qlari orasidagi burchak $\theta = 0$, yuklama rejimida esa $\theta > 0$ bo'ladi (9.1-rasm, a , b). Motor yuklamasining ortib borishi bilan θ ning qiymati ham ortib boradi. Ammo yuklamaning nominal va undan bir oz katta qiymatgacha o'zgarishida ham motorning chastotasi o'zgarmas sinxron qiymatga ega bo'lib qolaveradi.

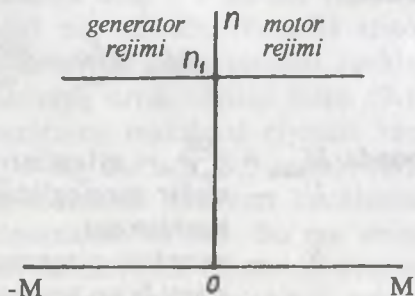


9.1-rasm. Sinxron motorning ishlash prinsipi:
a — salt ish; b — yuklama rejimlari.

Agar yuklama haddan tashqari katta bo'lsa, u holda $\theta > 90^\circ$ bo'lib, elastik bog'lanish go'yo uziladi va motor sinxronlashtirilgan rejimda ishlay olmay, uning chastotasi sinxron qiymatdan pasaya boshlaydi. Bunday rejimda motorni ishlatish mumkin emas.

9.2. Sinxron motorning mexanik va burchak xarakteristikalar

Aylantiruvchi momentning o'zgarishi bilan $n = \frac{60f}{p} = \text{const}$ bo'lgani tufayli sinxron motorning mexanik xarakteristikasi abssissa o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi, ya'ni uning chastotasi yuklamaga bog'liq bo'lmaydi (9.2-rasm). Sinxron motorlarining rotori bilan statori orasidagi havo bo'shlig'i asinxron motorlarnikiga nisbatan kattaroq bo'lishi sababli sinxron motorlar ancha ishonchliroq tuzilishda bo'ladi. Sinxron motorlarning yana bir afzalligi shundaki, ular nominal rejimda $\cos\varphi = 1$ yoki o'zuvchi $\cos\varphi = 0,8$ bilan ishlay oladi. Natijada, sinxron motor ulangan elektr tarmog'idagi quvvat koeffitsiyentining qiymati yuqorilashadi. Haqiqatan, sinxron motori quvvat koeffitsiyentining qiymati



9.2-rasm. Sinxron motorning mexanik xarakteristikasi.

yuklamadan tashqari, rotordagi qo'zg'atish chulg'amiga beriladigan o'zgarmas tok i_q ga ham bog'liq bo'ladi. Agar rotor chulg'amiga qo'zg'atish toki ko'paytirilib borilsa, stator chulg'amiga elektr tarmog'idan o'tayotgan tok I o'zining magnitlovchi qismining kamayishi hisobiga U -simon egri chiziq bo'yicha o'zgarib boradi (8.29-rasm). Demak, i_q ning ma'lum bir i_{qn} qiymatida statorga berilayotgan tokning magnitlovchi qismi nolga teng bo'lib, motorning quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi = 1$ ga teng bo'ladi. Agar qo'zg'atish toki i_q ni i_{qn} ga nisbatan ko'paytirilsa, u holda sinxron motor o'zi ulangan elektr tarmog'iga reaktiv energiya uzatib ishlay boshlaydi.

Bunda motor o'zuvchi $\cos\varphi$ ga ega bo'ladi. O'zuvchi $\cos\varphi = 0,8$ ga hisoblangan sinxron motorlar $\cos\varphi = 1$ dagiga nisbatan ancha og'ir, bahosi qimmat, foydali ish koeffitsiyenti esa pastroq bo'ladi. Sinxron motorlar asinxron motorlarga nisbatan ishonchliroq bo'lgani hamda ularning $\cos\varphi$ va η lari nisbatan yuqori bo'lganligi uchun, katta quvvatli va uzoq vaqt davom etadigan ish rejimiga ega bo'lgan mexanizmlarda, masalan, kompressor, nasos va shu kabilarda sinxron motorlardan foydalanish qulayroq bo'ladi.

Sinxron motorning burchak xarakteristikasi. 9.2-rasmda keltirilgan xarakteristika noaniq bo'lganligi uchun undan kam foydalaniladi. Haqiqatan, $n = f(M)$ xarakteristikasiga binoan yuklamaning o'zgarishi bilan aylantiruvchi momentning o'zgarish chegarasi noma'lumdur. Shu sababli, ko'pincha burchak xarakteristikadan foydalaniladi. Motorning aylantiruvchi momentining θ burchakka bog'lanishini ifodlovchi $M = f(\theta)$ egri chiziq sinxron motorning burchak xarakteristikasi deb ataladi. Bu xarakteristika tenglamasini topish uchun sinxron mashinaning (8.15) ifodada ko'rsatilgan elektromagnit quvvatdan foydalaniladi. Buning uchun (8.15)ni ω_0 ga bo'lish kifoya, ya'ni

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_0} = \frac{3UE \sin \theta}{\omega_0 X_c} = M_{maks} \sin \theta, \quad (9.1)$$

bunda $M_{maks} = \frac{3UE}{\omega_0 X_c}$ — aylantiruvchi momentning maksimal qiymati;
 U — elektr tarmog'idan stator chulg'amiga berilgan faza kuchlanishi;

E — rotordagi o'zgarmas magnit maydonning stator chulg'ami bilan kesilishidan hosil bo'lgan e.yu.k. Bu e.yu.k. qiymati taxminan $\bar{U} = (-\bar{E})$ bo'ladi;

$\omega_0 = \frac{\pi n}{30}$ — rotorning aylanish burchak chastotasi;

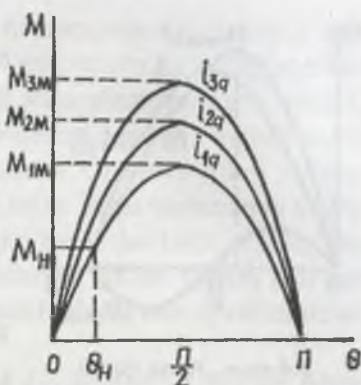
X_s — qutblari ayon bo'lmagan sinxron mashinaning sinxron qarshiligi.

9.3-rasmda sinxron motorning turli $i_{q1} < i_{q2} < i_{q3}$ qo'zg'atish toklari va ularga tegishli $E_1 < E_2 < E_3$ e.yu.k. lariga binoan (9.1) ifoda asosida qurilgan burchak xarakteristikalari ko'rsatilgan.

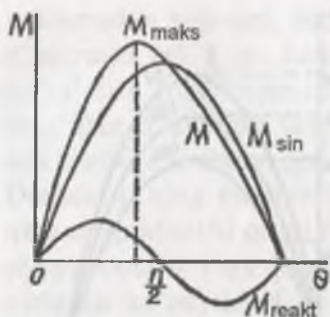
Bu xarakteristikalarining $\theta = 0 \div 90^\circ$ gacha bo'lagi ularning turg'un, $\theta = 90 \div 180^\circ$ gacha bo'lagi esa ularning beqaror qismi deyiladi. Xarakteristikaning turg'un qismida motorning yuklamasi ko'payishi bilan

θ burchagining qiymati ortib boradi. Bunda motorning aylantiruvchi momenti ham, yangi qarshilik momentiga tenglashgunga qadar o'z-o'zidan ortib boradi. Qarshilik momenti aylantiruvchi momentning maksimal qiymatidan bir oz ortishi bilan $\theta > 90^\circ$ bo'lib, sinxron motorning aylantiruvchi momenti kamayib boradi va momentlar muvozanati tiklana olmay motor o'z-o'zidan to'xtab qoladi. Sinxron motor yuklamasining tasodifan keskin o'zgarishini hisobga olib, θ burchakning nominal qiymatini $25 \div 30^\circ$ ga teng qilib olinadi.

Demak, sinxron motorning o'ta yuklanish qobiliyati $\frac{M_{\text{maks}}}{M_n} = 2 \div 2,5$ bo'ladi. U va $f = \text{const}$ bo'lsa, motordagi magnit oqimning umumiy qiymati ham o'zgarmas bo'ladi. Demak, rotor qo'zg'atish chulg'amidagi tok ko'paytirilsa, stator chulg'amidagi tokning magnitlantiruvchi qismi kamayadi. Shunga binoan, qo'zg'atuvchi tok qiymatini ko'paytirish bilan elektr tarmog'idan statorga beriluvchi tokning reaktiv qismini nolga tenglash mumkin. Bunda $\cos \varphi = 1$ bo'lib, induktiv qarshilikdagi kuchlanishning tushuvi nol bo'ladi. Natijada stator chulg'amida hosil bo'lgan e.yu.k. E ko'payib, uning qiymati kuchlanishga yaqinlashadi. E.yu.k. qiymatining ortib borishi bilan (9.1) ifodaga binoan aylantiruvchi momentning maksimal qiymati ham birmuncha ortadi, ya'ni $M_{1m} < M_{2m} < M_{3m}$ bo'ladi (9.3-rasm). (9.1) ifodaga binoan, sinxron motorning maksimal momenti kuchlanish qiymatining birinchi darajasiga proporsional bo'ladi. Bu esa uning yana bir afzalligidir. Ayon qutbli va, demak, past chastotali sinxron motorlarning statori bilan rotori orasidagi havo bo'shlig'i aylana bo'yicha turli qiymatga ega bo'lgani uchun ularning X_{yad} va X_{yaq} qarshiliklari o'zaro teng bo'lmaydi. Shu sababli yakor reaksiyasining



9.3-rasm. Sinxron motorning burchak xarakteristikalari.



9.4-rasm. Ayon qutbli
sinxron motorning burchak
xarakteristikasi.

ta'siri bo'ylama va ko'ndalang o'qlar bo'yicha alohida hisobga olinadi. Bunda elektromagnit moment ham ikki momentning yig'indisidan iborat, ya'ni

$$M = \frac{3}{\omega_0} \left[\frac{UE \sin \theta}{X_{yad}} + \frac{U^2 \sin 2\theta}{2} \left(\frac{1}{X_{yaq}} - \frac{1}{X_{yad}} \right) \right] =$$

$$= M_{sin} + M_{reakt}$$

deb qabul qilinadi,

bunda X_{yaq} va X_{yad} — tegishli bo'ylama va ko'ndalang induktiv qarshiliklar;

M_{sin} — motorning sinxronlashtiruvchi

momenti;

M_{reakt} — motorda hosil bo'lgan reaktiv moment.

Demak, bunday motorlarda sinxronlashtiruvchi momentdan tashqari, reaktiv moment ham hosil bo'ladi. 9.4-rasmda ayon qutbli sinxron motorning burchak xarakteristikasi ko'rsatilgan.

9.4-rasmga binoan ayon qutbli sinxron motor elektromagnit momentning maksimumi 90° dan kichik bo'lgan θ burchagida hosil bo'ladi. Ayonmas qutbli sinxron motorlarda $X_{yad} = X_{yaq}$ bo'lgani sababli, reaktiv moment hosil bo'lmaydi.

9.3. Sinxron motorni ishga tushirish

Sinxron motorlarni ishga tushirishda, asosan, asinxron usul qo'llaniladi. Buning uchun sinxron motorlarning rotori o'zagiga asosiy qo'zg'atish chulg'amidan tashqari, kataksimon qisqa tutashgan chulg'am ham joylashtiriladi. Bu chulg'am ishga tushirish chulg'ami deb ataladi va uning yordamida sinxron motor asinxron motor singari ishga tushiriladi. Buning uchun, dastavval, uning qo'zg'atuvchi chulg'ami razryad qarshiligiga tutashtirilib, so'ngra stator chulg'ami elektr tarmog'iga ulanadi. Bunda stator chulg'amidan uch fazali tok o'tib, natijada $n = \frac{60f}{p}$ chastota bilan aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Statorning aylanuvchi magnit maydonning rotordagi qisqa tutashgan chulg'am bilan kesilishi natijasida bu chulg'amda e.yu.k. va, demak, tok hosil bo'ladi. Rotordagi tok bilan aylanuvchi magnit maydonining o'zaro ta'siri natijasida rotorni $n_p = 0,95 n$ chastota bilan aylantiruvchi elektromagnit moment hosil bo'ladi. Sinxron motori

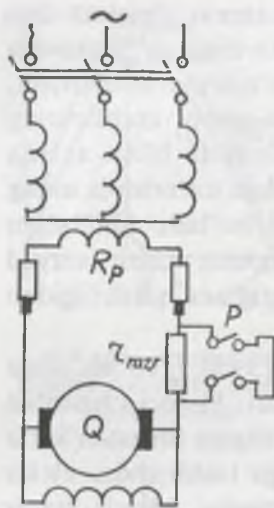
rotorining n_r chastotasini asinxron, ya'ni sinxronmas chastota deb ataladi. Asinxron chastota bilan aylanayotgan rotorning qo'zg'atuvchi chulg'amini razryad qarshiligidan ajratib, unga o'zgarmas tok berilsa, u holda stator va rotor magnit maydon qarama-qarshi qutblarining o'zaro tortishish kuchi ortib, rotor sinxron chastota bilan aylana boshlaydi. Sinxron motorni asinxron usul bilan ishga tushirishda uning qo'zg'atuvchi chulg'amida katta e.yu.k. hosil bo'ladi. Chulg'am izolatsiyasiga bu e.yu.k. dan bo'lgan xavfni yo'qotish uchun razryad qarshiligi R_{razr} ning qiymati qo'zg'atuvchi chulg'am qarshiligidan taxminan 10 marta katta qilib olinadi.

Sinxron motorning ishga tushirish toki $I_{\text{isht}} = (3 \div 8) I_n$ bo'lib, ishga tushirish momenti esa $M_{\text{isht}} = (0,5 \div 2) M_n$ bo'ladi. Yuqori chastotali motorda I_{isht} ning qiymati past chastotali motordagiga nisbatan katta bo'ladi. Katta quvvatli sinxron motorlarni ishga tushirishda, elektr tarmog'idagi kuchlanish ortiqcha pasayib ketmasligi hamda stator chulg'amiga ta'sir etadigan dinamik kuchlarni kamaytirish uchun, odatda, ularni reaktor yoki avtotransformator orqali ulanadi. Natijada, stator chulg'amiga beriladigan kuchlanish nominalga nisbatan pasayib, ishga tushirish tokining qiymati ham birmuncha pasaytiriladi. Elektr mashina tayyorlaydigan zavodlarning ko'rsatmasi bo'yicha 3000 V kuchlanishli sinxron motorlarni elektr tarmog'iga bevosita ulab ishga tushirish uchun, ularning rotoridagi har bir magnit qutbga to'g'ri keladigan motor quvvati quyidagidan katta bo'lmasligi lozim ya'ni

$$\frac{P}{p} \leq 250 \div 300 \text{ kW},$$

bunda p — qutblar soni.

6000 voltli motorni bevosita ishga tushirishda esa $\frac{P}{p} \leq 250 \div 300 \text{ kW}$ bo'lishi lozim. Elektr tarmog'iga bevosita ulab ishga tushirish mumkin bo'lmagan motorlar uchun, katalogda, ularning statoriga berilishi mumkin bo'lgan maksimal kuchlanish qiymati U_{maks} ko'rsatiladi. Bunda $U_{\text{maks}} \leq 60 \div 90\% U_n$ bo'lishi kerak. Hozirgi paytda har qanday katta quvvatli sinxron motorlarni ham elektr tarmog'iga bevosita ulab ishga tushirish bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ilgarilari qo'zg'atuvchi chulg'amga beriluvchi o'zgarmas tokni sinxron motorning vali bilan aylantiriladigan parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatoridan olinar edi. Hozirgi vaqtda esa rotor chulg'amiga beriladigan o'zgarmas tok ko'pincha alohida o'rnatilgan statik yarim o'tkazgichli qo'zg'atgichlardan olinmoqda. Keyingi paytlarda rotor chulg'amiga o'zgarmas tokni kontaktsiz, ya'ni halqa va cho'tkalarsiz



9.5-rasm. Sinxron motorni ishga tushirish sxemasi.

berish imkoniga erishildi. Bunday kontaktless sinxron motorda rotor o'zagi yaxlit po'latdan quyilgan qutblarga ega bo'lib, bu qutblar rotorga o'rnatiladigan ishga tushirish chulg'ami vazifasini ham o'taydi. Natijada sinxron motorning konstruksiyasi soddalashmoqda, uning ishlashdagi ishonchliligi ancha ko'tarilmoqda. Hozirgi paytda kichik qiymatli qarshilik momentlari, ya'ni $M_s = (0.3 \div 0.4) M_n$ bilan yoki salt ish rejimida ishga tushiriladigan sinxron motorlar rotoridagi qo'zg'atuvchi chulg'amga qo'zg'atgichni bevosita ulab qo'yish sxemasi keng qo'llanilmoqda. Bunda qo'zg'atgich yakori razryad qarshiligi orqali yoki bevosita rotor chulg'amiga ulanadi (9.5-rasm). Motor chastotasining taxminan, $0.95n$ qiymatida qo'zg'atish zanjiridagi razryad qarshiligi rubilnik R bilan zanjirdan chiqariladi. Bunda qo'zg'atish zanjiri uzilmaganligi sababli

sinxron motorni ishga tushirish sxemasi ancha soddalashadi.

Quvvati 2000 kW gacha bo'lgan sinxron motorlarni salt ish rejimida, hatto razryad qarshilgisiz ham ishga tushirish mumkin. Bunda sinxron motorni ishga tushirish uchun stator chulg'amini elektr tarmog'iga ulash kifoya. Sinxron motorlarni bunday ishga tushirish sxemalari amalda keng qo'llanilmoqda.

9.4. Kontaktsiz sinxron motorlar

Ma'lumki, kichik va o'rta quvvatli asinxron motorlar juda keng tarqalgan, lekin ularning ko'pchiligi texnologik sabablarga binoan to'la bo'lmagan yuklamada ishlatiladi. Bunda ularning asosiy energetik ko'rsatkichi bo'lmish quvvat koeffitsiyenti ayniqsa pastdir. Elektr tarmog'i quvvat koeffitsiyentini oshirish maqsadida katta quvvatli elektr yuritmalar uchun yuqori kuchlanishli sinxron motorlar qo'llanilmoqda.

Latviya Fanlar akademiyasining institutida yaxlit po'lat qutbli kontaktsiz CO seriyali sinxron motorning yaratilishi bilan hatto kichik va o'rta quvvatli asinxron motorlarni ham sinxron motoriga almashirish imkoni yaratildi.

Oddiy sinxron motorning qo'zg'atuvchi chulg'amiga o'zgarmas tokni cho'tka va kontakt halqalari orqali beriladi. CO seriyali motorda esa qo'zg'almas holatdagi podshipnik qalqonlariga joylashtirilgan qo'zg'atuvchi chulg'amga bu tokni bevosita, ya'ni kontaktsiz uzatish imkoni olindi.

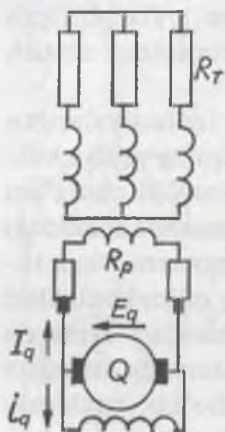
Oddiy sinxron motori rotorining o'zagi o'zaro izolatsiyalangan yupqa po'lat tunukalaridan yig'ilgan bo'lib, unga qo'zg'atish chulg'amidan tashqari, qisqa tutashtirilgan ishga tushiruvchi chulg'am ham o'rnatiladi. CO seriyali motorning rotori esa maxsus shakldagi yaxlit po'lat qutblardan iborat bo'lib, bu qutblar motorni ishga tushiruvchi chulg'am vazifasini ham o'taydi. Shunday qilib, kontaktsiz sinxron motorlar konstruksiyasining oddiyligi jihatidan asinxron motorlardan kam farq qiladi. Ammo nominal yuklamada asinxron motorlarning quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_{0,8\div 0,85}$ bo'lib, yuklamaning kamayishi bilan u pasayib borsa, CO seriyali motorning nominal yuklamadagi quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi = 1$ ga hisoblanib, yuklamaning kamayishi bilan $\cos\varphi$ ning qiymati o'zuvchi xarakterga ega bo'ladi.

Demak, kichik va o'rta quvvatli asinxron motorlarning kontaktsiz sinxron motorlari bilan almashtirilishi quvvat koeffitsiyentini keskin oshirish imkonini beradi.

Quyidagi jadvalda tajriba tariqasida chiqarilgan CO seriyali sinxron motorlarning asosiy ko'rsatkichlari keltirilgan:

Motor tipi	Nomi- nal quvvati, kW	Nominal yuklamada			cos φ	M_{maks}	I_{isht}	M_{isht}	M_{sin}	G kg	GD^2_{rot} kgm ²
		stator toki, A		f.i.k.		M_n	I_n	M_n	M_n		
		220 V	380 V								
Aylanish chastotasi $n = 1500$											
CO41-4	2,2	7,05	4,05	0,82	1,0	1,4	2,5	0,7	0,12	55	0,04
CO 51-4	4	12,20	7,05	0,86						90	0,13
CO 61-4	7,5	22,40	12,90	0,88						130	0,29
Aylanish chastotasi $n = 1000$											
CO 41-6	1,5	4,85	2,8	0,81	1,0	1,4	2	0,8	0,25	55	0,05
CO 51-6	3	9,25	5,35	0,85						90	0,17
CO 61-6	5,5	16,75	9,7	0,86						130	0,38

9.5. Sinxron motorni tormozlab to'xtatish usullari



9.6-rasm. Sinxron motorni elektro-dinamik usulda tormozlash sxemasi.

Bunday motorlarni tezda to'xtatish uchun umuman teskari ulanish va elektrodinamik usullarni qo'llash mumkin. Ammo teskari ulanishda statordan katta tok o'tishi hamda chastota nol bo'lishi bilan uni elektr tarmoqdan darhol ajratadigan qimmatbaho asboblarning kerak bo'lgani tufayli teskari ulanish bilan tormozlash usuli amalda deyarli qo'llanilmaydi. Elektrodinamik usul bilan tormozlash uchun ishlab turgan motor statorini elektr tarmoqdan ajratib, uni tashqi aktiv qarshilikka ulash kerak. Bunda rotor chulg'amini o'zgarmas tok bilan ta'minlab turishni davom ettirish lozim (9.6-rasm). Natijada, sinxron motor o'zgaruvchan chastotali sinxron generator rejimiga o'tib, tormozlovchi moment ta'sirida tezda to'xtaydi.

Motorning bu rejimida hosil bo'luvchi tormozlash momentining qiymati stator chulg'amiga kiritilgan R_t va qo'zg'atish zanjiridagi tok qiymatiga bog'liq bo'ladi.

Agar dinamik tormozlash jarayonida rotor chulg'amiga beriladigan o'zgarmas tok alohida o'rnatilgan qo'zg'atgichdan olinsa, u holda, motor tez to'xtaydi, motor valida aylanadigan qo'zg'atgichdan olingan taqdirda esa chastota kamayishi bilan E va, demak, I qiymatlari ham kamayib boradi. Bu esa tormozlovchi moment qiymatini kamaytirib, to'xtatish vaqtini uzaytirib yuboradi.

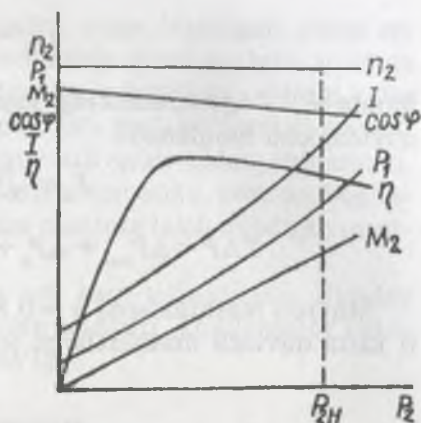
9.6. Sinxron motorning ish xarakteristikalari

n , P_1 , $\cos\varphi$, I , η va M_2 qiymatlarining motor validagi foydali quvvat P_2 ga bog'lanishini ifodalovchi grafiklar sinxron motorning ish xarakteristikalari deb ataladi.

Bunda n — motor validagi chastota. Uning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lmay, o'zgarmas, ya'ni $n = \text{const}$ bo'ladi; $P_1 = P_2 + \Delta P$ — motorga berilgan quvvat bo'lib, quvvat isrofi ΔP ning chulg'amning qizishi uchun sarflangan qismi yuklama tokining kvadratiga proportionalligi uchun $P_1 = f(P_2)$ bog'lanishi egri chiziq bilan ifodalanadi; $\cos\varphi$ — quvvat koeffitsiyentining qiymati bo'lib, yuklamaning ko'payishi bilan bir ozgina kamayadi; I — stator chulg'amidagi tok bo'lib,

yuklama ko'payishi bilan $\cos \varphi$ bir oz kamaygani uchun uning qiymati P_1 ga nisbatan tezroq o'zgaradi; η — foydali ish ko'effitsiyenti, uning eng yuqori qiymati nominal yuklamaning $(0.5 + 0.75)P_n$ qiymatida sodir bo'ladi; $M_2 = \frac{P_2}{\omega}$ — motor validagi aylantiruvchi foydali moment bo'lib, uning qiymati $\omega = \text{const}$ bo'lgani uchun P_2 ga proporsional ravishda o'zgaradi.

9.7-rasmda sinxron motorning ish xarakteristikalarini ko'rsatilgan.



9.7-rasm. Sinxron motorning ish xarakteristikalarini.

9.7. Sinxron mashinaning foydali ish ko'effitsiyenti

Sinxron mashinaning generator yoki motor bo'lib ishlashida yuklamaga bog'liq bo'lmagan, ya'ni o'zgarmas qiymatli va yuklamaga bog'liq bo'lgan va, demak, o'zgaruvchi qiymatli quvvat isroflari sodir bo'ladi.

Mashina podshipnigidagi ishqalanish, rotorning havoga ishqalanishi, cho'tkaning kontakt halqalariga ishqalanishi va sovituvchi kanallardagi ishqalanishlardan sodir bo'luvchi mexanik isroflar, stator po'latidagi gisterezis va uyurma toklardan hosil bo'luvchi magnit isroflar hamda qo'zg'atish uchun sarflangan quvvatlarning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lmay, o'zgarmas bo'lgan quvvat isrofiga tegishli, ya'ni $P_0 = P_{\text{mex}} + P_p + P_q = \text{const}$ bo'ladi. Qiymati o'zgaruvchan bo'lgan quvvat isrofi stator chulg'amining qizishiga sarflangan quvvat bilan aniqlanadi, ya'ni

$$P_{\text{mis}} = m P R_{ya} 75^\circ \text{C}$$

bo'ladi.

Bunda P_{mis} — stator chulg'amining qizishiga sarflangan quvvat isrofi, W;

m — fazalar soni;

$R_{ya} 75^\circ \text{C}$ — 75°C dagi faza chulg'amining aktiv qarshiligi, Ω ;

I — faza toki, A.

Sinxron mashinaning foydali ish ko'effitsiyenti $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ bo'lib, uning qiymati, odatda, quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma \Delta P},$$

bunda P_2 — generatorning foydali quvvati bo'lib, uning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$P_2 = \sqrt{3} I_1 U_1 \cos \varphi, \quad (9.2)$$

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{\text{mex}} + \Delta P_p + \Delta P_q + \Delta P_{\text{mis}} = R_0 + P_{\text{mis}}.$$

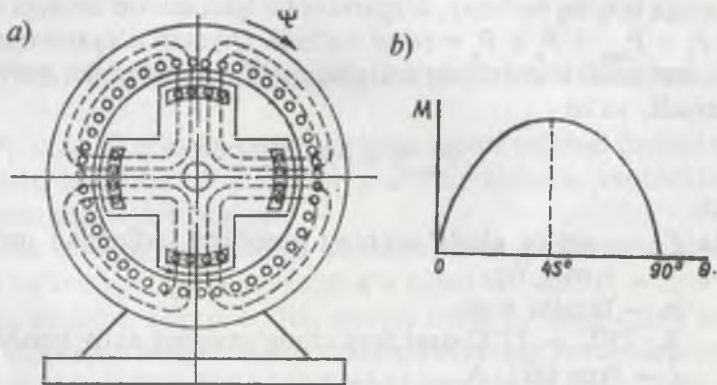
Sinxron mashinalarda $\eta = 0,85 \div 0,99$ bo'lib, uning yuqori qiymati katta quvvatli mashinalarga tegishli bo'ladi.

9.8. Sinxron reaktiv motori

Reaktiv deb ataluvchi sinxron motorining statori oddiy sinxron motornikidan farq qilmaydi, uning ayon qutbli rotorida esa qo'zg'atish chulg'ami bo'lmaydi.

9.8-rasmda reaktiv sinxron motorning tuzilishi va burchak xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Bunday motor quyidagi prinsipda ishlaydi. Stator chulg'amini elektr tarmoqqa ulash bilan aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi va bu magnit maydon ta'sirida rotor magnitlanadi. Statordagi magnit maydonga nisbatan magnitlangan rotor eng kam magnit qarshilikka ega holat tomon burilishga intiladi va natijada motor rotori aylanuvchi magnit maydoni bilan sinxron ravishda aylana boshlaydi. Aylantiruvchi momentning eng yuqori qiymati $\theta = 45^\circ$ da sodir bo'ladi (9.8-rasm, b). Reaktiv motorlar asinxron usul bilan ishga tushiriladi. Buning



9.8-rasm. Reaktiv sinxron motorning:
a — tuzilishi; b — burchak xarakteristikasi.

uchun rotor qutblarining boshmoqlariga qisqa tutashgan chulg'am o'rnatilgan yoki qutbning po'lat qismlarida hosil bo'lgan uyurma toklardan foydalaniladi. Bunday motorning gabariti va og'irligi katta bo'lib, $\cos\varphi$, η va o'ta yuklanish qobiliyati past bo'lganligi sababli reaktiv motorlarni bir necha 10 W quvvatli qilib ishlab chiqariladi. Sinxron reaktiv motorlaridan, ko'pincha avtomatika, sinxron bog'lanish, signalizatsiya va boshqa o'zgarmas chastota talab qiladigan qurilmalarda foydalaniladi.

Bir fazali sinxron reaktiv motorlari kam uchratiladi. Bunday motorlarning statorida ish chulg'amidan tashqari, kondensator ulangan ishga tushirish chulg'ami ham bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Sinxron mashinaning generator va motor rejimlarida ishlash prinsipi tushuntiring.

2. Sinxron mashinaning tuzilishi, ayrim qismlarining vazifalari va rotorining turlari haqida gapirib bering.

3. Sinxron generatorida hosil bo'ladigan EYUK ni tushuntiring.

4. Sinxron generatorining chastotasi va EYUK qiymati qanday rostlanadi?

5. Sinxron generatoridagi yakor reaksiyasini tushuntiring.

6. Sinxron generatorlarini parallel ishlashga ulash shartlarini tushuntiring.

7. Sinxron generatorining aktiv va reaktiv quvvatlari qanday rostlanadi?

8. Sinxron motorining ishlash prinsipini tushuntiring.

9. Sinxron motorining ishga tushurish usullarini tushuntiring.

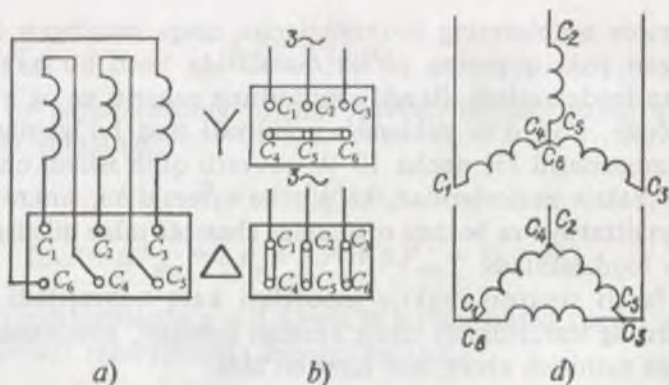
10. Sinxron motorining mexanik va burchak tavsiflarini tushuntiring.

11. Sinxron motorining elektromagnit quvvati va momenti formulalarini yozib tushuntiring.

X BOB. ASINXRON MASHINALAR

10.1. Umumiy tushunchalar

Asinxron mashinalar ham sinxron mashinalar kabi stator va rotordan iborat bo'ladi. Asinxron mashinaning statori sinxron mashinadan farq qilmaydi, ammo uning rotoriga joylashtirilgan qisqa tutashtirilgan yoki faza chulg'amga tashqi manbadan hech qanday tok berilmaydi. Shu sababli asinxron mashinaning rotori sinxron bo'lmagan, ya'ni asinxron chastota bilan aylanadi. Asinxron mashinalar ham boshqa elektr mashinalari singari motor, generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlay oladi, ammo ular amalda asosan



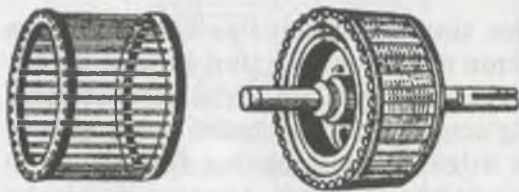
10.1-rasm. Asinxron motorning chulg'ami va uning ulanishi.

motor sifatida keng tarqalgan. Konstruksiyasining soddaligi, narxining arzonligi, ishlashda ishonchliligi va shu kabi afzalliklari bilan o'zgarmas tok va sinxron motorlardan farq qiluvchi asinxron motorlar sanoat, qishloq xo'jaligi va qurilishda foydalaniladigan elektr motorlarining taxminan 95% ini tashkil etadi.

10.2. Uch fazali asinxron motor

Asinxron motorlarning uch fazali tuzilishdagilari juda keng tarqalgani sababli, ularni qisqacha asinxron motorlar deyiladi, ya'ni uch fazali so'zi qo'shilmaydi. Rotorning tuzilishiga ko'ra asinxron motorlar:

1) qisqa tutashtirilgan va 2) faza (kontakt halqali) rotorli motorlarga bo'linadi. Asinxron motorlarning statoriga joylashtiriladigan uch fazali chulg'amning tuzilishi sinxron mashinaning chulg'amidan farq qilmaydi. Stator chulg'ami, ko'pincha, qisqartirilgan qadamli, ikki qatlamli tuzilishda bo'ladi. Bu chulg'amning uchlari motor shchitidagi qismalarga ulanadi (10.1-rasm, a). Bunda birinchi faza chulg'ami C_1 —



10.2-rasm. Asinxron motori rotorining qisqa tutashtirilgan chulg'ami.

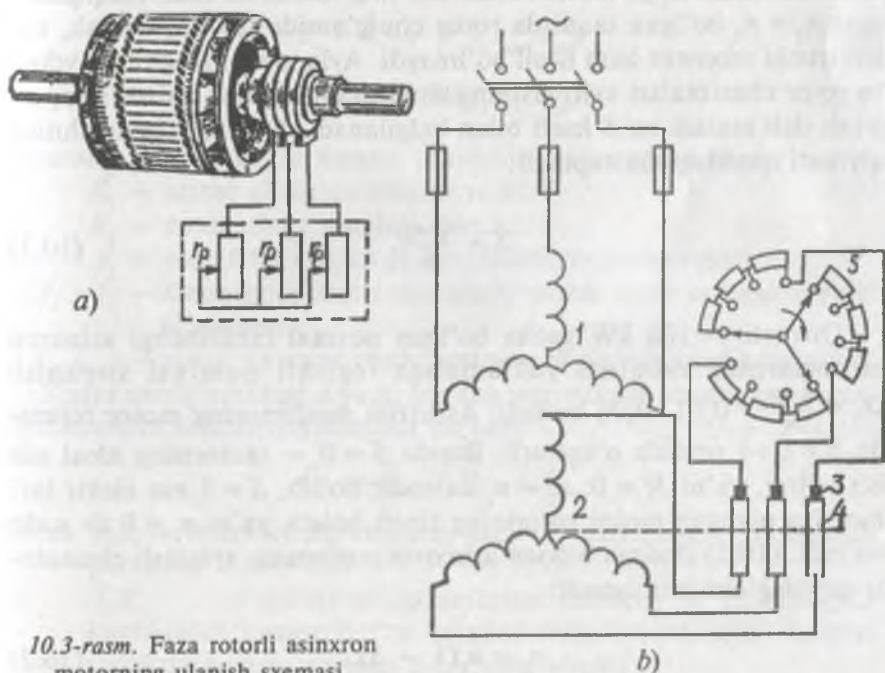
C_4 , ikkinchisi C_2 — C_5 , uchinchi esa C_3 — C_6 bilan belgilanadi. Chulg'amni yulduz yoki uchburchaklik sxemasi bilan qulaygina ulash uchun uning uchlari motor shchitining qismalariga 10.1-rasm, a da ko'rsatilgandek qilib

biriktiriladi. 10.1-rasm *b* da motor shchitidagi chulg'am uchlarini yulduz va uchburchaklik sxemalari bilan ulash ko'rsatilgan.

Rotorning o'zagi elektrotexnik po'lat tunukalardan yig'iladi, sirtqi tomoni pazlar hosil qiluvchi silindrdan iborat bo'ladi. Uyurma toklardan hosil bo'luvchi quvvat isrofini kamaytirish uchun rotor o'zagini tashkil qiluvchi har bir po'lat tunukaning ikki tomoni izolatsiyalovchi lak bilan qoplanadi. Qisqa tutashtirilgan rotorli motorning rotor o'zagi pazlariga aluminiy yoki mis sterjenlari (tayoqchalari) joylashtirilib, ularning bosh va oxirlari aluminiy yoki mis halqa bilan o'zaro qisqa tutashtiriladi. 10.2-rasmda rotorning qisqa tutashtirilgan chulg'ami ko'rsatilgan. Bunday chulg'amli rotorga ega bo'lgan motor qisqa tutashtirilgan rotor ("Olmaxon qafas")li asinxron motor deyiladi.

Faza rotorli motorlarning rotor o'zagi pazlariga statorniki singari uch fazali chulg'am o'rnatiladi. Motorning ishga tushirish tokini kamaytirish maqsadida rotor chulg'ami zanjiriga ketma-ket qilib tashqi qarshilik kiritiladi (10.3-rasm, *a*).

Rotor chulg'ami yulduz sxemasi bilan ulanib, uning har bir fazasiga tashqi qarshilikni kiritish uchun aylanuvchi rotor valiga uchta o'zaro valdan izolatsiyalangan halqa o'rnatiladi. Rotordagi faza



10.3-rasm. Faza rotorli asinxron motorning ulanish sxemasi.

chulg'amining uchlari uchta halqaga ulanib, halqalar esa qo'zg'almas cho'tkalar orqali ishga tushirish rezistoriga ulanadi. 10.3-rasm, *b* da faza rotorli asinxron motorning ulanish sxemasi ko'rsatilgan.

Rotor chulg'amining ishga tushirish rezistoriga ulanuvchi uchlari, R_1 , R_2 , R_3 bilan belgilanadi. Asinxron motorning stator chulg'amiga uch fazali tok berilsa, u holda $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ chastota bilan aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Aylanuvchan magnit maydon rotor chulg'amini kesib o'tib, uning yopiq zanjirga ega chulg'amida e.yu.k. va, demak, tok hosil qiladi. Rotor chulg'amidagi tok bilan statordagi aylanuvchi magnit maydonning o'zaro ta'siri natijasida aylantiruvchi elektromagnit moment hosil bo'lib, natijada motor n_2 chastota bilan aylana boshlaydi. Aylantiruvchi momentni hosil qiluvchi kuchlarning yo'nalishi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi. Shunday qilib, motorning statoriga berilgan elektr energiyasi elektromagnit jarayon natijasida rotorni aylantiruvchi mexanik energiyaga aylanadi. Asinxron motorning aylanish yo'nalishini o'zgartirish uchun stator chulg'amining elektr tarmog'iga ulanadigan har qanday ikki uchini o'zaro almashtirish kifoya. Bunda aylanuvchi magnit maydon va u tomon ergashib aylanuvchi rotorning aylanish yo'nalishlari teskariga o'zgaradi. Rotorning aylanish chastotasi n_2 aylanuvchi magnit maydonining sinxron chastotasi n_1 ga nisbatan hamma vaqt kichik bo'ladi. Haqiqatan, agar $n_2 = n_1$ bo'lgan taqdirda rotor chulg'amida tok va, demak, aylantiruvchi moment ham hosil bo'lmaydi. Aylanuvchi magnit maydoni va rotor chastotalari ayirmasining sinxron chastotaga nisbati sirpanish deb ataladi va S harfi bilan belgilanadi. Demak, sirpanishning qiymati quyidagicha topiladi:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (10.1)$$

Quvvati 1÷100 kW gacha bo'lgan normal tuzilishdagi asinxron motorlarning nominal yuklamasiga tegishli nominal sirpanish $S_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} = 0,01 \div 0,06$ bo'ladi. Asinxron mashinaning motor rejimida $S = 0 \div 1$ orasida o'zgaradi. Bunda $S = 0$ — motorning ideal salt ish rejimi, ya'ni $M = 0$; $n_2 = n_1$ da sodir bo'lib, $S = 1$ esa elektr tarmog'iga ulangan motor rotorining tinch holati, ya'ni $n_2 = 0$ da sodir bo'ladi. (10.1) ifodaga binoan asinxron motorning aylanish chastotasi quyidagicha aniqlanadi:

$$n_2 = n_1(1 - S) \quad (10.2)$$

10.1-masala. Sirpanishi $S = 0,03$ bo'lgan to'rt qutbli asinxron motorning chastotasi aniqlansin.

Yechish. Asinxron motorning chastotasi $n_2 = n_1(1-S)$ bo'ladi, bunda $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ asinxron motorning sinxron chastotasi; $f_1 = 50$ H — hududimizda qabul qilingan sanoat chastotasining qiymati; $p = 2$ — stator chulg'amiga berilgan uch fazali tokdan hosil bo'lgan magnit maydon juft qutblarining soni. Demak,

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}};$$

$$n_2 = 1500(1 - 0,03) = 1455 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}.$$

10.3. Asinxron motordagi elektromagnit jarayonlar

Asinxron motorda sodir bo'ladigan elektromagnit jarayonlar transformatordagiga o'xshashdir. Agar faza rotorli motorning rotor chulg'ami ishga tushirish qarshiligiga ulanmay, uzoq qoldirilsa, u holda stator chulg'amidagi uch fazali tokdan paydo bo'lgan aylanuvchi magnit maydon stator va rotor chulg'amlarida transformator dagi singari E_1 va E_2 e.yu.k. larni hosil qiladi. Bu e.yu.k. qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

$$E_1 = 4,44 W_1 f_1 k_{ch1} \Phi_m, \quad (10.3)$$

$$E_2 = 4,44 W_2 f_2 k_{ch2} \Phi_m, \quad (10.4)$$

bunda Φ_m — aylanuvchi magnit maydonning magnit oqimi;

E_1 — stator chulg'amidagi e.yu.k.;

E_2 — rotor chulg'amidagi e.yu.k.;

f_1 — elektr tarmog'idagi kuchlanishning chastotasi;

$f_2 = f_1$ — tinch holatdagi rotor chulg'amida hosil bo'lgan e.yu.k. chastotasi;

$k_{ch1} k_{ch2}$ — stator va rotor chulg'aming chulg'am koeffitsiyentlari.

Stator chulg'amidagi e.yu.k. larning muvozanat tenglamasi transformatorniki singari quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 R_1 + \bar{I}_0 X_1,$$

bunda $\bar{I}_0 R_1$ — stator chulg'aming aktiv R_1 qarshiligida kuchlanish pasayuvi;

$\bar{I}_0 X_1$ — stator chulg'aming induktiv X_1 qarshiligida kuchlanish pasayuvi (bu miqdor transformator dagi singari induktiv e.yu.k. qiymati bilan aniqlanadi).

Asinxron motor ham transformator singari salt ish rejimida ishlay oladi. Bunda $U_1 = U_n; f_1 = f_n$ bo'lib, rotor chulg'ami uzuq holda bo'lishi lozim. Agar transformatorning salt ish rejimidagi toki nominal tokning $5 \div 10\%$ ini tashkil etsa, asinxron motorda esa stator va rotorning po'lat o'zaklari orasida havo bo'shlig'i borligi sababli $I_0 = 20 \div 60\% I_{1n}$ bo'ladi. Demak, salt ish rejimidagi asinxron motorning vektor diagrammasi ham transformatorniki singari bo'ladi. Asinxron motorning e.y.u.k. bo'yicha transformatsiya koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{k_{ch1}W_1}{k_{ch2}W_2}, \quad (10.5)$$

tok bo'yichasi esa:

$$k_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{m_1 k_{ch1}W_1}{m_2 k_{ch2}W_2}. \quad (10.6)$$

Demak, asinxron motorning umumiy transformatsiya koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$k = k_e k_i. \quad (10.7)$$

Ikkilamchi miqdorlarni birlamchi chulg'amga keltirish ham transformatoridagi singari quyidagicha ifodalanadi:

$$E_2^* = k_e E_2, \quad (10.8)$$

$$I_2' = \frac{I_2}{k_i} \quad (10.9)$$

$$R_2' = R_2 k, \quad (10.10)$$

$$X_2' = X_2 k, \quad (10.11)$$

$$Z_2' = Z_2 k. \quad (10.12)$$

Agar tormozlangan rotordagi chulg'amni qisqa tutashtirib, stator chulg'amiga nominal tok hosil qiluvchi kichik qiymatli kuchlanish berilsa, u holda asinxron motorning transformatoridagi singari qisqa tutashish rejimi olinadi. Bunda stator chulg'ami bilangina ilashuvchi induktiv magnit oqimi ko'proq bo'lgani uchun qisqa tutashish kuchlanishi transformatoridagiga nisbatan kattaroq bo'ladi. Agar tormozlangan rotor chulg'amini qisqa tutashtirib, stator chulg'amiga nominal kuchlanish berilsa, u holda qisqa tutashish tokining boshlang'ich qiymati nominal tokka nisbatan $4 \div 7$ marta katta bo'lib, motor aylana boshlaydi. Motor aylanishi bilan bu tokning qiymati keskin ravishda kamayib boradi. Demak, qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorga nominal kuchlanish berilsa, ishga tushirishning boshlang'ich paytida u qisqa tutashish rejimida bo'ladi. Asinxron motorning salt ish reji-

midagi quvvat isrofi transformatoridagi singari po'lat o'zaklarning qizishiga sarflansa, qisqa tutashish rejimidagisi esa chulg'am mis simlari-ning qizishiga sarflanadi.

Normal rejimda ishga tushirilgan motor statoridagi aylanuvchi magnit maydon rotorga nisbatan $n = n_1 - n_2$ chastotada undan o'zgan holda aylanadi. Demak, statordagi aylanuvchi magnit oqim rotor chulg'amini n chastotada kesib o'tib, unda e.yu.k. va tok hosil qiladi. Bu e.yu.k. va tokning chastotasi f_2 bo'lib, uni sirpanish chastotasi deyiladi. Agar $f_2 = \frac{pn}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}$ ning surat va maxrajini n_1 ga ko'paytirib va bo'linsa, sirpanish chastotasining quyidagi ifodasi olinadi:

$$f_2 = \frac{pn_1(n_1 - n_2)}{60n_1} = Sf_1 H. \quad (10.13)$$

Shunga ko'ra, aylanuvchi rotor chulg'amida hosil bo'lgan e.yu.k. qiymati $E_{2s} = 4,44 k_{ch2} f_2 W_2 \Phi_m = 4,44 k_{ch2} W_2 \Phi_m f_1 S$ bo'ladi. Tinch holatdagi rotor chulg'amida hosil bo'lgan e.yu.k. qiymati $E_2 = 4,44 k_{ch2} W_2 f_1 \Phi_m$ bo'lgani uchun E_{2s} ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$E_{2s} = E_2 S. \quad (10.14)$$

Aylanuvchi rotorning induktiv qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 S L_1 = X_2 S. \quad (10.15)$$

Demak, aylanuvchi rotorda hosil bo'lgan e.yu.k. E_{2s} qiymati va aylanuvchi rotorning induktiv qarshiligi X_{2s} tinch turgan rotordagiga nisbatan sirpanish S marta farq qiladi. Faqat rotorning aktiv qarshiligi R_2 ning qiymati chastotaga bog'liq bo'lmaydi. Aylanuvchi rotor chulg'amidagi tok qiymati I_{2s} binoan aniqlanadi:

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{E_2 \cdot S}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}}. \quad (10.16)$$

(10.16) ning surat va maxrajini S ga bo'lib, I_{2s} ning quyidagi ifodasi olinadi:

$$I_{2s} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S}\right)^2 + X_2^2}}. \quad (10.17)$$

(10.16) va (10.17) ifodalarga binoan aylanuvchi rotordagi tok qiymati ham sirpanish S ga bog'liq bo'ladi. Normal rejimda ishlayotgan faza rotorli asinxron motor rotorining uch fazali chulg'amida chastotasi f_2 ga teng bo'lgan uch fazali tok hosil bo'ladi. Bu uch fazali

tok rotorning uch fazali chulg'amidan o'tib, $n = \frac{60f_2}{p}$ chastota bilan aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Rotorning o'zi n_2 chastota bilan aylangani uchun rotorda hosil bo'lgan magnit maydon fazoda $n + n_2$ chastota bilan aylanadi.

Agar $n = \frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1s}{p} = n_1s$; $n_2 = n_1(1 - s)$ bo'lsa, $n + n_2 = n_1s + n_1(1 - s) = n_1$ bo'ladi.

Demak, rotor va statordagi aylanuvchi magnit maydonlar bir xil chastota va bir xil yo'nalishga ega bo'ladi. Asinxron motorning m. yu. k. larining vektor diagrammasi ham transformatorniki singari quriladi. Ammo m. yu. k. lar yig'indisidan hosil bo'lgan umumiy m. yu. k. I_0W_1 va undan hosil bo'lgan Φ_m vektorlari aylanuvchi xarakterga ega bo'lib, ularning aylanish chastotasi ham n_1 ga teng bo'ladi.

10.4. Asinxron motorning vektor diagrammasi va ekvivalent sxemasi

10.4-rasmda rotor chulg'amining parametrlari stator chulg'amiga keltirilgan asinxron motorning yuklama rejimidagi vektor diagrammasi ko'rsatilgan.

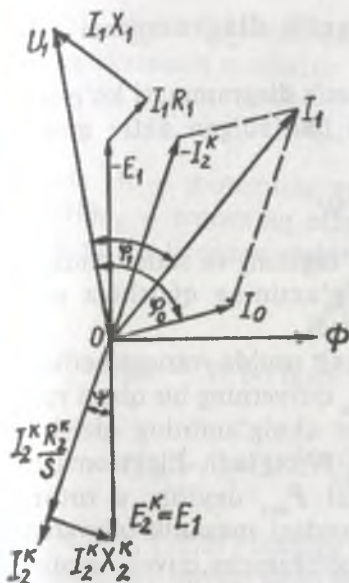
Normal rejimda aylanib turgan asinxron motorlarning rotor chulg'ami qisqa tutashtirilgan bo'ladi. Shu sababli ikkilamchi kuchlanish $U = 0$ bo'lib, rotor chulg'amida hosil bo'lgan e.yu.k. ning qiymati chulg'am qarshiliklaridagi kuchlanish pasayuvlarining yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\bar{E}_2^* = \bar{I}_2^* \frac{R_2'}{s} + \bar{I}_2^* X_2^* = 0. \quad (10.18)$$

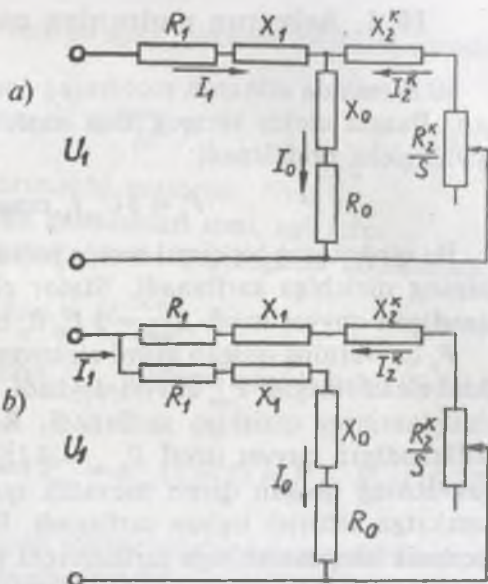
Stator chulg'ami uchun e.yu.k. lar tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{I}_1 X_1 + \bar{I}_1 R_1. \quad (10.19)$$

10.4-rasmda ko'rsatilgan vektor diagrammaga binoan yuklama rejimidagi $\cos\varphi_1$ qiymati salt ish rejimidagi $\cos\varphi_0$ ga nisbatan ancha yuqori. Shu sababli asinxron motorlarni salt ish rejimida yoki kichik yuklama bilan ishlatish tavsiya etilmaydi. Rotor chulg'amining parametrlari statornikiga keltirilgan asinxron motor bir fazasini (10.17), (10.18), (10.19) dagi tok va e.yu.k. tenglamalari hamda 10.4-rasmdagi vektor diagramma asosida ekvivalent elektr sxema bilan ifodalash mumkin. 10.5-rasmda asinxron motorning a , T-simon va b , Γ -simon ekvivalent sxemalari ko'rsatilgan.



10.4-rasm. Rotor chulg'aminin parametrlari stator chulg'amiga keltirilgan asinxron motorning yuklama rejimidagi vektor diagrammasi.



10.5-rasm. Asinxron motorning sxemalari.

Motorning T- simon ekvivalent sxemasi uchta zanjirdan iborat, undan hisoblash ishlarida foydalanish ancha murakkab. Shu sababli hisoblashlarda ko'pincha Γ - simon soddalashtirilgan sxemadan foydalaniladi. Bu sxema I_0 toki o'tadigan magnitlantiruvchi va I_2^k toki o'tadigan ish zanjirlaridan iborat bo'ladi. Γ - simon sxemada I_0 tokining qiymatini o'zgartirmaslik uchun magnitlantiruvchi zanjirga ketma-ket qilib, T- simondagi singari R_1 va X_1 qarshiliklari kiritiladi. Motor yuklamasining o'zgarishi bilan, dastavval, sirpanish o'zgaradi. Bunda ekvivalent sxemaning $\frac{R_1}{S}$ parametri o'zgaradi. Motorning salt ish rejimida $S = 0$ bo'lib, $\frac{R_1}{S} = \infty$ bo'lgani uchun $I_2^k \approx 0$ bo'ladi.

Asinxron motorning yuklama rejimida ekvivalent sxemaning ish zanjiridagi tok qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + (X_2 + X_2')^2}} \quad (10.20)$$

10.5. Asinxron motorning energetik diagrammasi

10.6-rasmda asinxron motorning energetik diagrammasi ko'rsatilgan. Bunda elektr tarmog'idan motorga beriladigan aktiv quvvat quyidagicha ifodalanadi:

$$P_1 = 3 U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi_1, \text{ W.} \quad (10.21)$$

Bu quvvatning bir qismi motor po'lat o'zagining va stator chulg'aminin qizishiga sarflanadi. Stator chulg'aminin qizishiga sarflanadigan quvvat isrofi $P_{m.st} = 3 I_{1\phi}^2 R_1$ bo'ladi.

P_1 quvvatning qolgan qismi elektromagnit usulda rotorga beriladi. Buni elektromagnit P_{em} quvvat deyiladi. P_{em} quvvatning bir qismi rotor chulg'aminin qizishiga sarflanadi. Rotor chulg'aminin qizishiga sarflanadigan quvvat isrofi $P_{m.rot} = 3 I_{2\phi}^2 R_2$ W bo'ladi. Elektromagnit quvvatning qolgan qismi mexanik quvvat P_{mex} deyilib, u rotorni harakatga keltirish uchun sarflanadi. Rotordagi mexanik quvvatdan mexanik ishqalanishlarga sarflanuvchi va qo'shimcha quvvat isrofi P_q ayirilsa, u holda motor validagi foydali quvvat P_2 olinadi. P_2 ning qiymati motor shchitida ko'rsatiladi. Shunday qilib, P_1 ning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

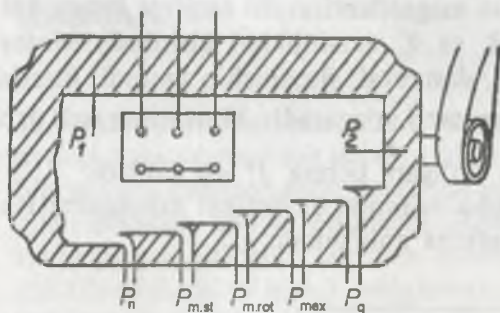
$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}, \quad (10.22)$$

bunda η — motorning foydali ish koeffitsiyenti bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$\eta = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1}, \quad (10.23)$$

bunda

$$\Sigma P = P_p + P_{m.st} + P_{m.rot} + P_{mex} + P_q. \quad (10.24)$$



10.6-rasm. Asinxron motorning energetik diagrammasi.

Asinxron motorlar uchun $\eta = 0,7 \div 0,9$ bo'lib, η ning yuqori qiymati katta quvvatli motorlarga taalluqli.

Elektromagnit quvvatdan rotorda hosil bo'lgan mexanik quvvatni ayirib rotor chulg'aminin qizishi uchun sarflangan quvvat $R_{m.rot}$ aniqlanadi, ya'ni

$P_{m.rot} = P_{em} - P_{mex}$. Rotorda hosil bo'lgan mexanik quvvatni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$P_{mex} = M\omega_2 = M \frac{2\pi n_2}{60} W, \quad (10.25)$$

bunda M — motorning aylantiruvchi momenti, Nm;

n_2 — rotorning minutiga aylanishlari soni, ayl/min.

Rotorga berilgan elektromagnit quvvat quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{em} = M\omega_1 = M \frac{2\pi n_1}{60}, \quad (10.26)$$

$n_2 = n_1(1 - S)$ bo'lgani uchun $R_{m.rot}$ qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{m.rot} = P_{em} - M \frac{2\pi n_1(1-S)}{60} = P_{em} - R_{em}(1 - S) = P_{em} \cdot S. \quad (10.27)$$

Demak, (10.27) ifodaga binoan rotor chulg'aming qizishi uchun sarflanadigan quvvat isrofi sirpanishga to'g'ri proporsional bo'lar ekan.

10.6. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi

Asinxron motorning mexanik xarakteristikasini $S = f(M)$ bog'lanish bilan ifodalash qulayroq bo'ladi. Mexanik xarakteristika tenglamasini keltirib chiqarishda rotor chulg'ami statornikiga keltirilgan asinxron motorning ekvivalent sxemasidan va (10.26) ifodadan foydalaniladi. (10.26) ifodaga binoan asinxron motorning aylantiruvchi momenti $M = \frac{P_{em}}{\omega_1}$. Bu ifodadagi R_{em} o'rniga uning (10.27) dan aniqlangan

$P_{em} = \frac{P_{m.rot}}{S}$ qiymati qo'yilib, quyidagi hosil qilinadi:

$$M = \frac{P_{em}}{\omega_1} = \frac{P_{m.rot}}{\omega_1 S} = \frac{m I_2^2 R_2}{\omega_1 S} Nm. \quad (10.28)$$

(10.28) ga binoan aylantiruvchi momentning qiymati rotor chulg'aming qizishi uchun sarflanadigan quvvat isrofiga to'g'ri proporsional. Rotor parametrlarini stator chulg'amiga keltirishda uning misidagi quvvat isrofining qiymati o'zgarmas, ya'ni $I_2^2 R_2 = (I_2^k)^2 R_2^k$ bo'lganligidan (10.28) ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$M = \frac{m(I_2^k)^2 R_2^k}{\omega_1 S} Nm \quad (10.29)$$

bunda m — fazalar soni bo'lib, uch fazali asinxron motor uchun $m = 3$. (10.29) dagi I_2^k o'rniga uning Γ -simon ekvivalent sxemadan aniqlan-

gan (10.20) qiymatini qo'yib mexanik xarakteristikaning quyidagi tenglamasi hosil qilinadi:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 R_2^k}{\omega_1 \left[\left(R_1 + \frac{R_2^k}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2^k)^2 \right] S} = \frac{3U_{1\phi}^2 R_2^k}{2\pi f_1 \left[\left(R_1 + \frac{R_2^k}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2^k)^2 \right] S} \quad (10.30)$$

(10.30) ifodaga binoan asinxron motor aylantiruvchi momentning qiymati elektr tarmog'idan statorga beriladigan kuchlanishning kvadratiga proporsional, ya'ni $M \propto U_{1\phi}^2$ bo'ladi. Demak, kuchlanishning bir oz o'zgarishida aylantiruvchi momentning keskin o'zgarishi sodir bo'ladi. Bu asinxron motorning asosiy kamchiliklaridan biri hisoblanadi. Mexanik xarakteristikani qurish uchun S o'rniga uning turli yuklamalardagi $S = 0 \div 1$ gacha bo'lgan qiymatlari qo'yilib (10.30) dan S ning bu qiymatlariga tegishli aylantiruvchi momentlar aniqlanadi. Bu qiymatlarga binoan mexanik xarakteristikani qurishda $U_{1\phi}$ va f_1 o'zgarmas deb qabul qilinadi. Aylantiruvchi momentning ishga tushirishdagi M_{isht} qiymatini aniqlash uchun (10.30) ifodadagi S o'rniga uning ishga tushirish paytidagi $S = 1$ qiymatini qo'yish kifoya. Bunda M_{isht} uchun quyidagi ifoda olinadi:

$$M_{\text{isht}} = \frac{3U_{1\phi}^2 R_2^k}{\omega_1 [(R_1 + R_2^k)^2 + (X_1 + X_2^k)^2]} \quad (10.31)$$

Aylantiruvchi momentning maksimal qiymatini aniqlash uchun (10.30) ifodadan $\frac{dM}{dS}$ hosila olinib, uni nolga tenglash lozim. Buning natijasida maksimal aylantiruvchi momentga tegishli sirpanishning quyidagi kritik qiymati aniqlanadi:

$$S_{\text{kr}} = \pm \frac{R_2^k}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2^k)^2}} \approx \mp \frac{R_2^k}{X_1 + X_2^k}, \quad (10.32)$$

bunda R_1 qiymati $(X_1 + X_{2k})$ ga nisbatan ancha kichik bo'lgani uchun uni hisobga olinmaydi. (10.30) dagi S o'rniga uning (10.32) dagi kritik qiymatini qo'yib, aylantiruvchi momentning quyidagi maksimal qiymati aniqlanadi:

$$M_{\text{maks}} = \pm \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_1[\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \pm R_1]} \approx \pm \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_1[(X_1 + X_2') \pm R_1]} \quad (10.33)$$

(10.32) va (10.33) ifodalardagi musbat ishora asinxron mashina-ning motor va tormoz rejimlariga tegishli bo'lib, bunda $S > 0$, man-
fiy ishora esa, asinxron mashinaning generator rejimiga tegishli bo'lib,
bunda $S < 0$ bo'ladi.

(10.30) ifodaga binoan mexanik xarakteristikani qurish uchun R_1 ,
 R_2^k , X_1 va X_2' lar ma'lum bo'lishi kerak, ammo motorning bu para-
metrlari kataloglarda, ko'pincha, berilmaydi. Shu sababli (10.30)
ifodani (10.33) ifodaga bo'lib, mexanik xarakteristikani hisoblash
uchun qulay bo'lgan quyidagi tenglama olinadi:

$$M = \frac{2M_{\text{maks}}(1+q)}{\frac{S}{S_{\text{kr}}} + \frac{S_{\text{kr}}}{S} + 2q}, \quad (10.34)$$

bunda $q = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} = S_{\text{kr}} \frac{R_1}{R_2^k}$. Odatda, asinxron motorlar uchun

$R_1 = R_{2k}$ bo'lgani uchun $q = S_{\text{kr}}$ bo'ladi. Katta quvvatli asinxron mo-
torlarda R_1 ning qiymati juda ham kichik bo'lgani uchun $R_1 = 0$ deb
qabul qilinsa, u holda $q = 0$ bo'ladi. Bunda mexanik xarakteristika
tenglamasi yana ham soddalashib quyidagicha ifodalanadi:

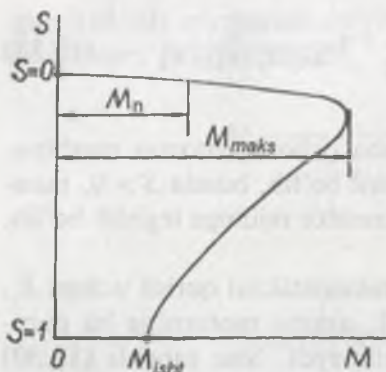
$$M = \frac{2M_{\text{maks}}}{\frac{S}{S_{\text{kr}}} + \frac{S_{\text{kr}}}{S}}. \quad (10.35)$$

(10.35) ifodaga binoan mexanik xarakteristikani qurish uchun S_{kr} ni
aniqlab olish kifoya. Buning uchun (10.35) ifodadagi M va S o'rniga
ularning nominal qiymatlarini qo'yib, undan S_{kr} qiymati quyidagicha
topiladi:

$$S_{\text{kr}} = S_n(\lambda \pm \sqrt{\gamma^2 - 1}), \quad (10.36)$$

bunda $\lambda = \frac{M_{\text{maks}}}{M_n}$ — asinxron motorning o'ta yuklanish qobiliyatini
xarakterlovchi koeffitsiyent, normal tuzilishdagi motorlar uchun
 $\gamma = 1,8 \div 2,5$ bo'ladi. Bu koeffitsiyentning qiymati motor kataloglari-
da beriladi;

$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}$ $N_m = 975 \frac{P_n}{n_n}$ kgm — aylantiruvchi momentning no-
minal qiymati;



10.7-rasm. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi.

P_n — rotor validagi foydali nominal quvvat, kW. Nominal quvvatning qiymati ham motor shchitida beriladi;

n_n — nominal yuklama bilan ishlayotgan motorning nominal chastotasi bo'lib, uning $\frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ birligidagi qiymati ham motor shchitida berilgan bo'ladi. Aylantiruvchi momentning maksimal qiymati $M_{maks} = \lambda M_n$ bo'ladi.

(10.36) ifodadagi ($\pm$) ishoraning musbati motor, manfiysi esa generator rejimlariga tegishlidir. Shunday qilib, sirpanishga turli, ya'ni

$S = 0 \div 1$ gacha qiymatlar berib, ularga tegishli aylantiruvchi moment qiymatlari (10.35) ifodadan osongina aniqlanadi. 10.7-rasmda qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning (10.35) ifoda asosida qurilgan mexanik xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Mexanik xarakteristikaning $S = 0 \div S_{kr}$ bo'lagi uning ish yoki turg'un qismi, $S = S_{kr} \div 1$ bo'lagi esa uning beqaror yoki turg'un bo'lmagan qismi deyiladi. Xarakteristikaning turg'un qismida ishlayotgan motor yuklamasi berilgandagiga nisbatan M_{s1} yoki M_{s2} ga o'zgarib qolguday bo'lsa, u holda aylantiruvchi momentning qiymati o'zgarib momentlar muvozanati, ya'ni $M = M_{s1}$ yoki $M = M_{s2}$ avtomatik ravishda tiklanadi.

Haqiqatan, mexanik xarakteristika ifodasiga binoan yuklama o'zgarishi bilan sirpanish ham o'zgaradi. Sirpanishning o'zgarishi bilan esa (10.20) ifodaga binoan tok I_2 qiymati va, demak, aylantiruvchi moment qiymati avtomatik ravishda o'zgaradi. Agar yuklama, ya'ni qarshilik momenti M_s ning qiymati aylantiruvchi momentning M_{maks} qiymatidan bir oz ortib ketguday bo'lsa, u holda mexanik xarakteristikaga binoan chastota tabiiy ravishda pasayadi. Bunda motorning aylantiruvchi momenti ko'payish o'rniga kamayib qoladi va natijada momentlar muvozanati tiklana olmay, motor o'z-o'zidan to'xtab qoladi.

Demak, yuklamaning qarshilik momenti tasodifan haddan tashqari katta qiymatga ega, ya'ni $M > M_{maks}$ bo'lib qolsa, u holda asinxron motor avtomatik ravishda to'xtab, shu bilan birga o'z-o'zini himoyalab qoladi. Asinxron motorning bu xususiyati uning afzalliklaridan biri hisoblanadi. Aylantiruvchi momentning qiymati $M = U_{\phi}^2$ bo'lgani,

elektr tarmog'idagi kuchlanish U_{1r} ning qiymati esa $5 \div 10\%$ ga o'zgarib turishi sababli asinxron motorning katalogda berilgan M_{maks} qiymatini amaliy hisoblashlarda $0,8$ koeffitsiyentiga ko'paytirib, uning qisqa vaqt davomida nominalga nisbatan ortiqroq yuklama bilan ishlash qobiliyati, ya'ni $M'_{maks} = 0,8 M_{maks} = 0,8(1,8 \div 2,5)M_n$ aniqlanadi. Asinxron motor aylantiruvchi momentining M_{maks} qiymati rotor zanjiridagi aktiv qarshilikka bog'liq emas, ammo kritik sirpanishning qiymati R_2^k ga to'g'ri proporsional. O'rtacha quvvatli qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlari uchun $S_{kr} = 0,12 \div 0,2$ bo'lib, katta quvvatlilarda $S_{kr} = 0,04 \div 0,05$ bo'ladi. Rotor chulg'amiga tashqi qarshilik kiritilmagan faza rotorli motorlar uchun $S_{kr} = 0,08 \div 0,3$ bo'ladi.

10.7. Asinxron motorni ishga tushirish

Asinxron motorning ishga tushirish toki ifodasi (10.20) dagi S o'rniga uning $S = 1$ qiymatini qo'yib quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{isht} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R_2^k)^2 + (X_1 + X_2^k)^2}}. \quad (10.37)$$

Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarning ishga tushirish toki $I_{isht} = (5 \div 8) I_n$ bo'lib, uning nisbiy qiymati $\frac{I_{isht}}{I_n}$ motor kataloglarida beriladi. Ishga tushirish toki katta bo'lishiga qaramay, asinxron motorning ishga tushirish momenti nisbatan kichik, ya'ni $M_{isht} = (1 \div 2)M_n$ ni tashkil qiladi. Ishga tushirish momentining tok singari katta qiymatga ega bo'lmasligini aylantiruvchi momentning quyidagi (10.38) ifodasidan tushunish mumkin. Asinxron motorning 10.4-rasmda ko'rsatilgan vektor diagrammasiga binoan $I_2^k \frac{R_2^k}{S} = E_2^k \cos \psi_2$. Bu ifodadan aniqlangan $\frac{R_2^k}{S}$ qiymatini (10.29) dagiga qo'yib quyidagi olinadi:

$$M = \frac{m I_2^k}{\omega_1} E_2^k \cos \psi_2.$$

Ammo $E_2^k = E_1 = 4,44 k_{ch1} W_1 f_1 \Phi_m$ bo'lgani uchun aylantiruvchi moment uchun quyidagi ifoda olinadi:

$$M = \frac{m I_2^k}{\omega_1} 4,44 k_{ch1} W_1 f_1 \Phi_m \cos \psi_2 = k_m \Phi_m I_2^k \cos \psi_2 \text{ Nm}, \quad (10.38)$$

bunda $k_m = \frac{m \cdot 4,44 k_{chl} W_1 f_1}{\omega_1} = \text{const}$ — moment doimiysi; $I_2^1 \cos \psi_2$ — rotor tokining aktiv qismi.

Demak, asinxron motorning aylantiruvchi momenti ham o'zgar-mas tok motoriniki singari ifodalanib, magnit oqim va tokning aktiv qismi bilan aniqlanadi. Ishga tushirish paytida $S = 1$ bo'lgani sababli rotor induktiv qarshiligining maksimal qiymati $X_{2\text{maks}} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 L_2$ da moment ifodasidagi $\cos \psi_2$ o'zining minimal qiymatiga ega. Shu sababli M_{isht} ning qiymati M_n ga yaqinroqdir. Bu esa asinxron motorning kamchiligidir. Haqiqatan, $M_{\text{isht}} = M_n$ bo'lsa, nominal yuklama bilan asinxron motorni ishga tushirish imkoni umuman bo'lmaydi. Motor kataloglarida $\frac{M_{\text{isht}}}{M_n}$ qiymati ham beriladi.

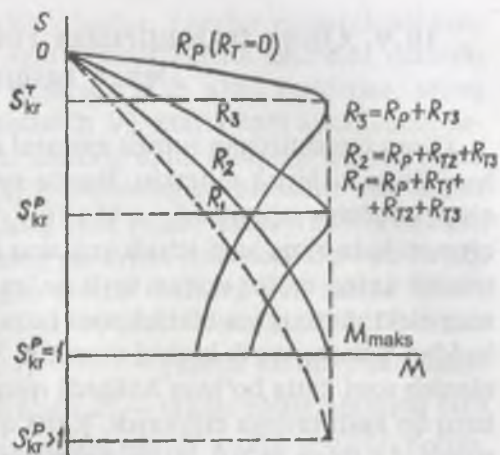
10.8. Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish

Turli mashina va mexanizmlarni harakatga keltirish uchun, iloji boricha, qisqa tutashtirilgan rotorli motorlar tanlash tavsiya qilinadi. Faza rotorli motorlarning esa tuzilishi murakkabroq, narxi qimmatroq bo'lgani uchun ularni faqat chastotasi rostlanadigan ba'zi kranlarda, prokat stanlarida, press va maxovikli qurilmalarda qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Bunday motorlarning maksimal momenti $M_{\text{maks}} = 1,5 \div 3,5 M_n$ bo'lib, ularning ishga tushirish toki maxsus rezistor bilan chegaralana-di. Bu rezistor bir necha pog'ona aktiv qarshiliklardan iborat bo'lib, motorni ishga tushirishda bu qarshiliklar rotor zanjiriga kiritilgan bo'lishi lozim. Motor aylanish chastotasining ortib borishi bilan qarshilik pog'onalari rotor zanjiridan chiqarib boriladi. Rotor zanjiriga kiritiladigan tashqi aktiv qarshilikni ko'paytirish bilan S_{kr} ning qiymati (10.32) ifodaga binoan ortib boradi. Bunda M_{maks} ning qiymati o'zgarmay, S_{kr} ning ko'payishi tomon surila boshlaydi (10.8-rasm). Rotor zanjiridagi aktiv qarshilikni $R_2^k = X_1 + X_2^k$ gacha ko'paytirib borilsa, ishga tushirish toki $I_{\text{isht}} \approx 2 \div 2,5 I_n$ gacha kamayib, ishga tushirish momentining qiymati esa aylantiruvchi momentning maksimal qiymatigacha ortib boradi.

Demak, $R_2^k = X_1 + X_2^k$ bo'lganda $S_{kr} = 1$ bo'lib, $M_{\text{isht}} = M_{\text{maks}}$ bo'ladi. Agar R_2^k qiymatini $R_2^k > X_1 + X_2^k$ qilib, uni yana ko'paytirib borilsa, u holda I_{isht} qiymatining kamayishi bilan M_{isht} ham kamayib boradi (10.8-rasm). 10.8-rasmda ko'rsatilgan rezistor xarakteristi-kalarning soni rotor zanjiridagi ishga tushirish rezistorining pog'onalar soniga teng qilib olingan. Shunday qilib, rotor zanjiridagi aktiv qar-shilikni o'zgartirish bilan ishga tushirish toki va momentini osongina

o'zgartirish hamda turli rezistorli mexanik xarakteristikalariga ega bo'lish imkoni faza rotorli motorning asosiy afzalliklaridan hisoblanadi. Faza rotorli motorning ishi rezistorli xarakteristikadan tabiiy xarakteristikaga o'tkazilganda, u xuddi qisqa tutashtirilgan rotorli motor singari ishlay boshlaydi. 10.8-rasmda keltirilgan mexanik xarakteristikalarining ish qismi to'g'ri chiziqqa yaqin bo'lgani uchun rotor zanjiriga kiritiladigan rezistor



10.8-rasm. Asinxron motorning rezistor xarakteristikalari.

tor pog'onalari qarshiligini parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motoriniki singari grafik usulda aniqlash mumkin. Koordinatalari, masalan, $S = 0; M = 0$ va $M = M_n$; $S = S_n$ bo'lgan ikki nuqtani tutashtirish bilan asinxron motorning tabiiy xarakteristikasi olinadi. Faza rotorli motorni ishga tushirishda, ya'ni $S = 1$ bo'lganda $I_{isht} = I_{2n}$ va $M_{isht} = M_n$ bo'lsa, rotor zanjiridagi aktiv qarshilik o'zining nominal qiymati R_{2n} ga teng bo'ladi. Bunda quyidagi proporsiyani tuzish mumkin, ya'ni $\frac{R_2}{R_{2n}} = \frac{M_n}{M} S$. Agar $M = M_n = \text{const}$ bo'lsa $\frac{R_2}{R_{2n}} = S$ bo'ladi. Demak, rotor zanjiridagi aktiv qarshilikning nisbiy birlikdagi miqdorini sirpanish bilan aniqlash mumkin. Motorning nominal qarshiligi esa quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{2n} = \frac{E_{2n}}{\sqrt{3}I_{2n}},$$

bunda E_{2n} — uzoq zanjirli rotor chulg'amining ikki fazasi orasidagi e.yu.k.;

I_{2n} — rotorning nominal toki. Motorning E_{2n} va I_{2n} qiymatlari katalogda berilgan bo'ladi.

Ishga tushirish tokini nominal tok qiymati I_{2n} gacha chegaralovchi rotor zanjirining to'la aktiv qarshiligi faza rotorli motorning nominal qarshiligi deb ataladi va R_{2n} bilan belgilanadi. Demak, rotor chulg'amining har bir fazasidagi aktiv qarshilikning qiymati $R_r = S_n R_{2n}$ bo'ladi. Rezistor pog'onalarining qarshiliklari ham ishga tushirish grafigidan foydalanib, yuqoridagi ifoda asosida aniqlanadi.

10.9. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni ishga tushirish

Qisqa tutashtirilgan rotorli motorni elektr tarmog'iga bevosita ulab ham ishga tushirish mumkin. Bunda motor, juda oz vaqt bo'lsa ham, qisqa tutashish rejimida $I_{\text{isht}} = (5 \div 10) I_n$ toki bilan ishlaydi. Bu tokning qiymati juda qisqa vaqt ichida yuklama toki qiymatigacha pasayganligi sababli uning motor uchun xavfi bo'lmaydi. Lekin bunday motorlarning elektr tarmog'iga ulanish soni katta bo'lsa, motor I_{isht} toki ta'sirida haddan tashqari qizib ketishi mumkin. Shunga ko'ra elektr tarmog'iga ulanish soni katta bo'lgan hollarda qisqa tutashtirilgan rotorli motorlarni qo'llash tavsiya etilmaydi. Katta quvvatli motorlarni ishga tushirishda I_{isht} ning ta'siri bilan elektr tarmog'idagi kuchlanish U ning qiymati sezilarli darajada kamayib ketishi mumkin. Bunda, M ning U^2 ga proporsionalligi sababli elektr tarmoqqa ulanib, ma'lum yuklama bilan ishlab turgan boshqa asinxron motorlarning ba'zilar o'z-o'zidan to'xtab qolishi, kuchlanish tiklanishi bilan esa ularning yana aylanib ketish xavfi bo'ladi. Demak, ayrim hollarda motorni eng oddiy usul, ya'ni uni bevosita elektr tarmog'iga ulash bilan ishga tushirishning imkoni bo'lmaydi. Qisqa tutashtirilgan rotorli motorni bevosita elektr tarmoqqa ulab ishga tushirishda $P_m \leq 0,25 P_{\text{tm}}$ bo'lishi lozim, bunda P_m — motorning quvvati; P_{tm} — elektr tarmog'idagi ta'minlovchi transformatorning quvvati.

Hozirgi paytda elektr tarmoqlaridagi quvvat juda katta qiymatga egaligi uchun bir necha ming kVt li motorlarni ham bevosita ishga tushirish mumkin. Qishloq xo'jaligi va qurilishlarda esa nisbatan kichik quvvatli tok manbalari ham bo'ladi. Agar qisqa tutashtirilgan rotorli motorni elektr tarmog'iga bevosita ulab ishga tushirish imkoniyati bo'lmasa, motorning ishga tushirish toki qiymati quyidagi usullar bilan kamaytiriladi.

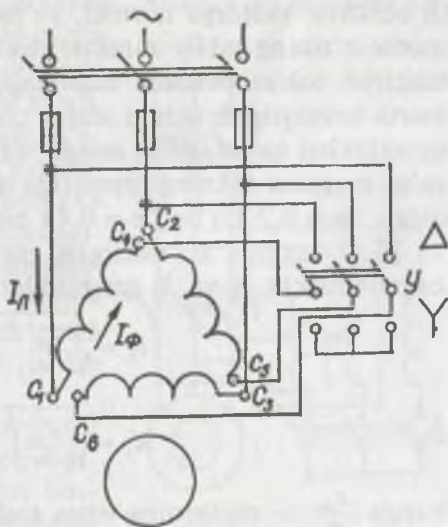
1. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni yulduz sxemadan uchburchakli sxemaga o'tkazib ishga tushirish. Motorda uchburchaklik yoki yulduz sxemaning qo'llanilishi stator chulg'aming faza kuchlanishiga va elektr tarmog'idagi fazalararo kuchlanish qiymatiga bog'liq bo'ladi. Masalan, tarmoqdagi kuchlanish 380 V bo'lib, motor pasportida berilgan kuchlanish 220/380 V, ya'ni uning fazasi 220 V kuchlanishga hisoblangan bo'lsa, bu motorni yulduz sxemada ulash kerak. Bunda uning fazasiga $U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220$ V, ya'ni normal kuchlanish beriladi. Agar motorning fazasi 380 V kuchlanishga hisoblangan bo'lib, elektr

tarmog'idagi kuchlanish ham 380 V bo'lsa, bunday motorni uchburchaklik sxemada ulash kerak. Agar uchburchaklik sxemada ulanishi lozim bo'lgan motorni yulduz sxemada ulab ishga tushirilsa, uning fazasiga normal kuchlanishga nisbatan $\sqrt{3}$ marta kam kuchlanish berilgan bo'ladi. Natijada, elektr tarmog'idan motorga berilayotgan tokning I_l qiymati, uchburchaklik sxemadagiga nisbatan uch marta kamayadi. Ishga tushirish tokining uch marta kamaytirilishi sababli elektr tarmog'idagi kuchlanishning pasayishi ham sezilarli bo'lmaydi. Yulduz sxemada ishga tushirilgan motor tokining uch marta kamayishiga sabab quyidagidan iborat bo'ladi. Om qonuniga binoan $I_l^Y = I_r^Y = \frac{U_l}{\sqrt{3}Z_r}$ bo'ladi, bunda $I_l^Y = I_r^Y$ — yulduz sxema bilan ulangan motorning liniya va faza toklari; Z_r — stator chulg'amining faza qarshiligi. Uchburchaklik sxema uchun esa $I_l^\Delta = \sqrt{3}I_r = \sqrt{3} \frac{U_l}{Z_r}$ bo'lib, $\frac{I_l^Y}{I_l^\Delta} = \frac{U_l \cdot Z}{U_l \cdot Z_r \cdot 3} = \frac{1}{3}$ bo'ladi. Bunda aylantiruvchi moment va quvvat nisbatlari ham $\frac{M^Y}{M^\Delta} = \frac{1}{3}$; $\frac{P^Y}{P^\Delta} = \frac{1}{3}$ bo'ladi.

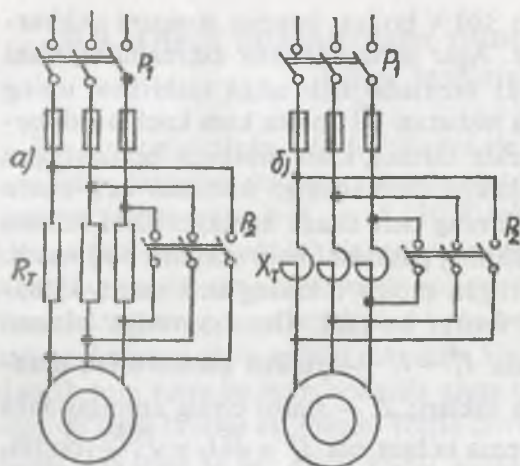
Demak, bu usul bilan motorni faqat salt ish rejimida yoki $M = (0,3 \div 0,4)M_n$ bo'lgan yuklamalarda ishga tushirish mumkin. 10.9-rasmda motorni almashlab ulagich u bilan yulduz sxemadan uchburchaklik sxemaga o'tkazib ishga tushirish ko'rsatilgan. Ishga tushirish jarayoni tugashi bilan motor uchburchaklik sxemaga o'tkaziladi.

Hozirgi paytda bu usuldan keng foydalanish maqsadida faza kuchlanishi 380 voltga hisoblangan va, demak, normal ish rejimida, 380 voltli elektr tarmog'iga uchburchaklik sxemada ulanadigan, kerak bo'lganida esa yulduz sxemada ishga tushiriladigan motorlar ko'plab ishlab chiqarilmoqda.

2. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni uning stator chulg'amiga aktiv yoki induktiv qarshiliklarni ketma-ket kiritib ishga tushirish. 10.10-rasm, *a* va *b* larda motorni aktiv R_l va induktiv X_l qarshiliklar bilan ishga tu-

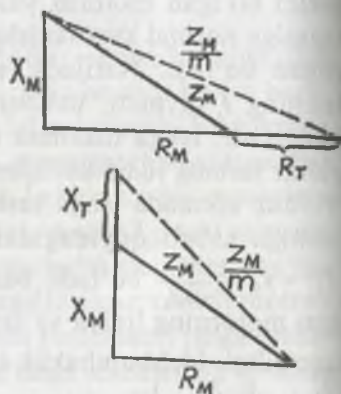


10.9-rasm. Asinxron motorni yulduz sxemasidan uchburchaklik sxemasi o'tkazib ishga tushirish.



10.10-rasm. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni:

a — aktiv R ; b — induktiv X qarshiliklari vositasida ishga tushirish sxemalari.



10.11-rasm. Asinxron motorni ishga tushirishdagi tashqi aktiv R va induktiv X qarshiliklari qiymatini aniqlash diagrammalari.

shirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda elektr tarmog'idagi kuchlanishning ma'lum qismi h_i yoki X_i qarshiliklarga o'tib, qolgan qismi stator chulg'amiga beriladi. Ishga tushirish jarayoni tugashi bilan, rubilnik P_2 ni berkitib, motorga normal, ya'ni to'la kuchlanish beriladi. Bunda motor o'zining tabiiy xarakteristikasiga o'tib ishlay boshlaydi. Ishga tushirish tokini bevosita ulashdagiga nisbatan m , momentini esa n marta kamaytirish uchun stator chulg'amiga kiritiladigan R_i yoki X_i qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi. $M \equiv U^2$ bo'lgani uchun $n = m^2$, ya'ni moment tokning qiymatiga nisbatan ko'proq kamayadi. Haqiqatan, $m = 0,7$ bo'lsa, $n = 0,49$ bo'ladi.

10.11-rasmda ko'rsatilgan grafiklardan motor tokini m marta kamaytiruvchi R_i va X_i qarshiliklar quyidagicha aniqlanadi:

$$R_i = \sqrt{\left(\frac{Z_m}{m}\right)^2 - X_m^2 - R_m};$$

$$X_i = \sqrt{\left(\frac{Z_m}{m}\right)^2 - R_m^2 - X_m},$$

bunda $\frac{Z_m}{m}$ — motorning ishga tushirish tokini m marta kamaytirish uchun kerak bo'lgan to'la qarshilik;

$R_m = R_1 + R_2^k$, $X_m = X_1 + X_2^k$ — motorning aktiv va induktiv ichki qarshiliklari.

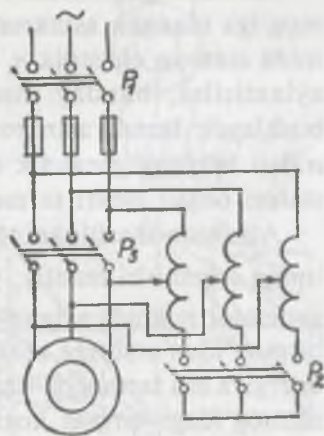
Shunga o'xshash, ishga tushirish momentini n marta kamaytirish uchun kerak bo'lgan tashqi R_l va X_l qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

$$R_l = \sqrt{\frac{Z_m^2}{n} - X_m^2} - R_m, \quad X_l = \sqrt{\frac{Z_m^2}{n} - R_m^2} - X_m.$$

Salt ish rejimida yoki kichik yuklama bilan ishga tushiriladigan katta quvvatli va past kuchlanishli motorlarning I_{isht} ni kamaytirish maqsadida aktiv R_l qarshiligidan, yuqori kuchlanishli motorlarda esa induktiv X_l qarshiligi (reaktor) dan foydalaniladi. Motorning ishga tushirish tokini chegaralamay, faqat momentini kamaytirish lozim bo'lsa, statorning bir fazasiga R_l ni kiritish kifoya. Bu oddiy va tejamli usulni kichik va o'rta quvvatli stanok, kran va transport mexanizmlaridagi motorlarga qo'llash tavsiya qilinadi.

3. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor-ni avtotransformator bilan ishga tushirish. 10.12-rasmda asinxron motorni avtotransformator bilan ishga tushirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda motorni rubilnik, P_1 bilan elektr tarmog'iga ulashdan avval, P_2 berk, P_3 esa uzoq holda bo'lishi kerak. Natijada stator chulg'amiga avtotransformatorning transformatsiya koeffitsiyenti k_a marta qadar kamaytirilgan kuchlanish beriladi. Bunda motorning ishga tushirish toki, avtotransformatorning motor ulangan ikkilamchi chulg'amida k_a marta kamaysa, elektr tarmog'iga ulangan birlamchi chulg'amida k_a^2 marta kamayadi. Shunga ko'ra, ishga tushirish momentining qiymati ham k_a^2 marta kamayadi. Motorni ishga tushirish jarayoni boshlangandan so'ng, P_2 rubilnigi ochiladi. Bunda avtotransformator stator chulg'amiga ketma-ket ulangan reaktorga aylanadi. Natijada stator chulg'amiga berilgan kuchlanish qiymati avtotransformatordagi nisbatan bir oz ko'payadi. Aylanish chastotasining ortib borishi bilan P_3 rubilnik berkitiladi va motor nominal kuchlanish bilan tabiiy xarakteristikaga o'tib ishlay boshlaydi.

• Demak, motorni avtotransformator bilan ishga tushirish quyidagi uch bosqichda amalga oshiriladi: birinchi bosqichda, stator chulg'amiga $U_{1-1} = (0,5 \div 0,7) U_n$, ikkinchida $U_{1-2} = (0,7 \div 0,8) U_n$, uchinchi bosqichda $U_{1-3} = U_n$, ya'ni to'la kuchlanish beriladi.



10.12-rasm. Asinxron motorni avtotransformator vositasida ishga tushirish sxemasi.

Shunday qilib, motorni avtotransformator bilan ishga tushirishda stator chulg'amidanda o'tadigan tokning qiymati, reaktor va aktiv qarshilikni ulash usullaridagi tok qiymatiga teng bo'lsa ham, lekin elektr tarmog'idagi tok qiymati, ularga nisbatan k_a marta kam bo'ladi. Bu uning asosiy afzalligidir. Ammo bu usul bilan motorni ishga tushirish ancha qimmatga tushadi. Shuning uchun motorni avtotransformator bilan ishga tushirish usulidan ishga tushirish momenti berilgan qiymatgacha kamaytirilganida, yuqoridagi usullar bilan elektr tarmog'idagi tokning qiymati yetarlicha kamaytirilmagan taqdirdagina va katta quvvatli yuqori kuchlanishli motorlardagina foydalaniladi.

Qisqa tutashtirilgan rotorli motorlardagi I_{isht} tokining kamayishi bilan M_{isht} ning ham kamayishi, ba'zi mexanizm, masalan, ip yigiruv yoki qog'oz tayyorlash mashinalari talabiga juda qo'l kelsa, katta qiymatli M_{isht} bilan ishga tushiriladigan mexanizmlar talabini qondira olmaydi. Bunda ishga tushirish toki kichik, momenti esa katta bo'lgan maxsus qisqa tutashtirilgan rotorli motorlardan foydalaniladi.

10.10. Asinxron motorning generator va elektromagnit tormoz rejimlari

Asinxron motorlari ham boshqa elektr mashinalari kabi generator va teskari ulanish hamda elektrodinamik tormoz rejimlarida ishlaydi.

Asinxron generator. Agar stator chulg'ami uch fazali elektr tarmog'iga ulangan asinxron mashina rotorini birlamchi motor yordamida sinxron chastota n_1 ga nisbatan $3 \div 5\%$ yuqori chastota n_2 bilan aylantirilsa, bunday mashina asinxron generator rejimida ishlay boshlaydi. Bunda asinxron mashina rotoriga birlamchi motor tomonidan berilgan mexanik energiya elektr energiyasiga aylanib, uning statori orqali elektr tarmog'iga uzatiladi.

Asinxron mashinaning generator rejimida $n_2 > n_1$ bo'lgani sababli uning sirpanishi manfiy, ya'ni — $S = \frac{n_1 - n_2}{n_2}$ bo'ladi. Bunday mashina generator rejimida aylanuvchi magnit maydon hosil qilishi uchun elektr tarmog'idan statorga reaktiv energiya o'tib, unda hosil bo'lgan aktiv energiya esa tarmoqqa uzatiladi. Shu sababli asinxron generator elektr tarmog'idagi quvvat koeffitsiyentini keskin kamaytiradi. Bu uning asosiy kamchiligi hisoblanadi.

Asinxron mashinaning generator rejimidan, ko'pincha avtotraktor motorlarini chiniqtirish stendlarida foydalaniladi. Bu stenda avtotraktor motori, dastavval, yoqilg'i berib ishga tushirilmaydi, balki asinxron

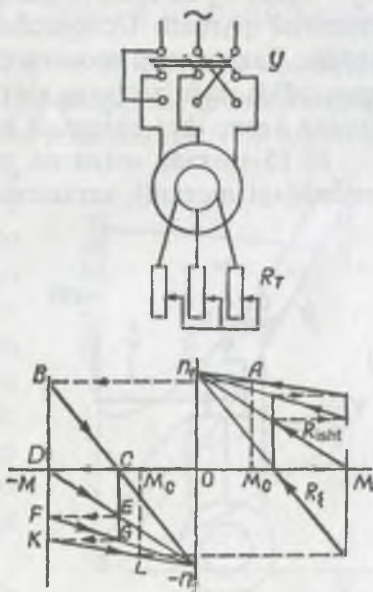
motor bilan maxovik singari aylantiriladi va so'ngra unga yoqilg'i berilib asta-sekin ishga tushiriladi. Natijada avtotraktor motorining chastotasi asinxron motorning chastotasiga yaqinlasha boradi. Bunda asinxron motorning aylantiruvchi momenti kamayib boradi va avtotraktor motorining n_2 chastotasini sinxron chastotasi n_1 gacha ko'paytirilganda, asinxron mashina elektr tarmoqdan aktiv energiya olmay, faqat reaktiv energiya olib ishlaydi. So'ngra $n_2 > n_1$ bo'lishi bilan asinxron mashina generator rejimiga o'tadi. Bunda asinxron mashinada hosil bo'lgan elektromagnit moment avtotraktor motorining aylantiruvchi momentiga teskari bo'ladi. Demak, asinxron mashina avtotraktor motoriga yuklama bo'lib, uning mexanik energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi va bu aktiv energiyani o'zi ulangan elektr tarmog'iga uzatib ishlaydi.

Asinxron motorning teskari ulanish rejimi. Asinxron motorning bu rejimidan kran bilan yuk tushirish, ma'lum bir tomonga aylanib turgan motorni reverslash yoki uni tez to'xtatishda foydalaniladi. Bunda motor o'zining ulanishiga nisbatan teskari bo'lgan tomonga aylanadi. Shunga ko'ra, bu rejimda $S \geq 1$ bo'lib, rotordagi e.yu.k. ning qiymati uning qo'zg'almas holatidagiga nisbatan yuqori bo'ladi. Shu sababli rotorda hosil bo'lgan tokning qiymati ham katta bo'lib, uni tashqi qarshilik bilan kamaytirish zarurati tug'iladi.

Ishlab turgan motorni teskari ulanish rejimiga o'tkazish uchun, statorning ikki fazasi o'rinlarini o'zaro almashtirib, ularni yana shu elektr tarmog'iga ulash kifoya (10.13-rasm). Bunda faza rotorli motorning rotori zanjiriga, ishga tushirish qarshiligidan tashqari, qo'shimcha aktiv qarshilik ham kiritiladi.

Motorning bu rejimda ishlashi va mexanik xarakteristikasi parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motoriniki singari bo'ladi.

Asinxron motorning teskari ulanish rejimida ham inersiya kuchi ta'sirida aylanuvchi qismlarining kinetik energiyasi yoki tushirilayotgan yukning potensial energiyasi elektr energiyasiga aylanib, rotor zanjiri qarshiliklarining qizishiga sarflanadi.



10.13-rasm. Asinxron motorni teskari ulanish rejimiga o'tkazish sxemasi.

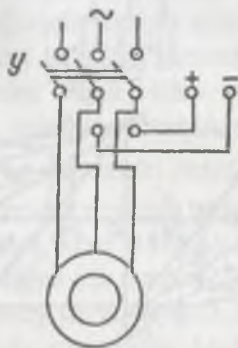
Bunda motor elektr tarmog'idan energiya olib, bu energiya rotor zanjiri qarshiliklarining qizishiga sarflanadi.

Asinxron motorning elektrodinamik tormozlanish rejimi. Motorning tez va aniq to'xtatishda elektrodinamik tormozlash rejimi ancha keng tarqalgan. Bu rejimda ishlab turgan motor statorini elektr tarmog'idan almashlab ulagich y orqali ajratib, uning ikki fazasiga o'zgarmas tok berish kerak (10.14-rasm).

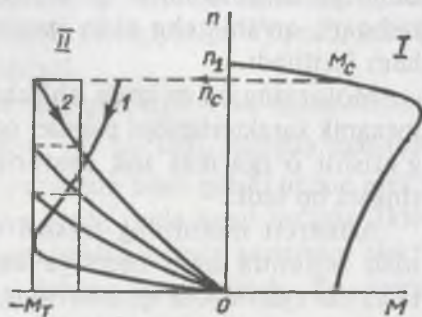
Bunda rotor inersiya kuchlari ta'sirida o'z aylanishini davom ettirib, statordagi o'zgarmas tokdan hosil bo'lgan qo'zg'almas magnit maydonni kesib o'ta boshlaydi, natijada rotor chulg'amida e.y.u.k. va, demak, uning berk zanjirida tok hosil bo'ladi. Bu tok bilan statordagi magnit maydonning o'zaro ta'siri natijasida rotorning aylanishiga teskari bo'lgan moment hosil bo'ladi. Bu moment ta'sirida motor chastotasi tezda kamayib borib, u xuddi o'zgaruvchan chastotali sinxron generator kabi ishlay boshlaydi. Tormozlash momenti M_t ning qiymati statorga beriladigan o'zgarmas tokka, rotor zanjirining aktiv qarshiligiga va motorning boshlang'ich chastotasi qiymatlariga bog'liqdir (10.15-rasm).

Elektrodinamik tormozlash rejimida yulduz sxema bo'yicha ulangan stator chulg'amiga beriladigan o'zgarmas tokning qiymati $I_o = 1,223 I_\phi$ bo'ladi, bunda I_ϕ — stator chulg'amidagi faza tokining nominal qiymati. Uchburchaklik sxemada esa $I_o = 2,12 I_\phi$ bo'lishi lozim. Faza rotorli motor uchun tormozlash jarayonini tezlashtirish maqsadida rotor zanjiriga kiritilgan qo'shimcha qarshilik pog'onalarini undan ketma-ket chiqarish kerak (10.15-rasm).

10.15-rasmda asinxron motorning elektrodinamik tormozlash rejimidagi mexanik xarakteristikalar ko'rsatilgan. Bunda I — rotor



10.14-rasm. Asinxron motorning elektrodinamik tormozlash rejimiga o'tkazish sxemasi.



10.15-rasm. Asinxron motorning elektrodinamik tormozlash rejimidagi xarakteristikalar.

zanjiriga tashqi qarshilik kiritilmagandagi mexanik xarakteristika; 2 — uch pog'onali qarshilikka tegishli mexanik xarakteristika.

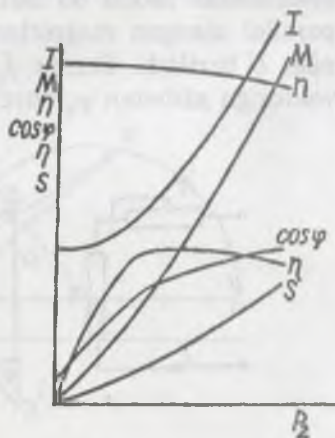
Asinxron motorlarni o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipiga asoslangan elektrodinamik usul bilan tormozlash ham mumkin. Bunda statorga kondensator batareyalari ulanadi. Motorning normal rejimida kondensator batareyalari $\cos\varphi$ ni oshiradi. Motor tarmoqdan ajratilishi bilan u o'z-o'zini qo'zg'atadigan generator rejimiga o'tib ishlay boshlaydi. Kondensator batareyalari ancha qimmat bo'lgani uchun bu usul bilan tormozlashdan amalda kam foydalaniladi.

10.11. Asinxron motorning ish xarakteristikalar

$U_1 = U_n$ va $f_1 = f_n$ deb olinib hamda ularning o'zgarish miqdorlarida hosil qilingan n yoki S , M_2 , $\cos\varphi_1$, I_1 va $\eta = f(P_2)$ bog'lanishlar asinxron motorning ish xarakteristikalar deyiladi. 10.16-rasmda asinxron motorning ish xarakteristikalar ko'rsatilgan.

Motor validagi chastota $n_2 = n_1(1 - S)$ bo'lib, $S = \frac{P_{m.rot}}{P_{em}}$ bo'lgani uchun salt ish rejimida rotor chulg'aming qizishiga sarflangan quvvat isrofini $P_{m.rot} \approx 0$ deb qabul qilinsa, u holda $S \approx 0$; $n_2 \approx n_1$ bo'ladi. Yuklamaning nominal qiymatida $S = \frac{P_{m.rot}}{P_{em}} = 0,01 \div 0,06$ bo'lib, $n_{2n} = n_1(1 - S_n)$ bo'ladi. $M_2 = 9550 \frac{P_2}{n_2}$, $M = M_0 + M_2$ va $n_2 \approx \text{const}$ bo'lgani uchun aylantiruvchi momentning o'zgarishi motor validagi quvvatga proporsional bo'ladi. Motorning magnitlantiruvchi tokining qiymati $I_0 \approx (0,25 \div 0,35) I_{1n} \approx \text{const}$. Shu sababli salt ish rejimida $\cos\varphi_1 \approx 0,2$ bo'lib, yuklamaning nominalga yaqin qiymatida esa u o'zining eng yuqori qiymati, ya'ni $\cos\varphi_1 = 0,7 \div 0,9$ ga erishadi. Yuklamaning nominal va undan katta qiymatlarida S va, demak, $X_2 S$ ning ko'payishi sababli $\cos\varphi_1$ kamayadi. Demak, yuqori quvvat koeffitsiyentiga erishish uchun motorni to'g'ri tanlash va uni nominalga yaqin yuklama bilan ishlatish zarur.

Stator chulg'amidagi tok I_1 ning o'zgarishi M ning o'zgarishi singari bo'lib, foydali ish koeffitsiyentining o'zgarishi esa 10.16-rasmda ko'rsatilganidek bo'ladi.



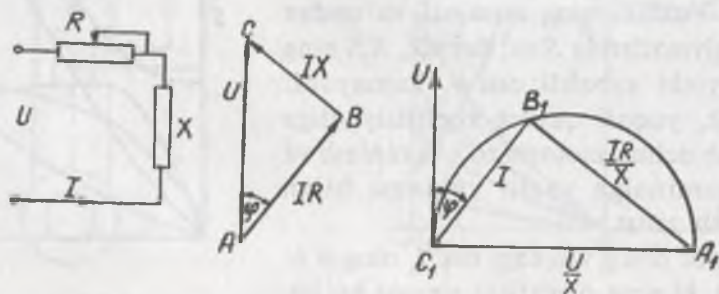
10.16-rasm. Asinxron motorning ish xarakteristikalar.

Quvvati kichik asinxron motor ish xarakteristikalarini yuklama tajribasi bilan olish mumkin. Katta quvvatli motorlarning ish xarakteristikalarini ularning aylana diagrammalaridan foydalanib quriladi.

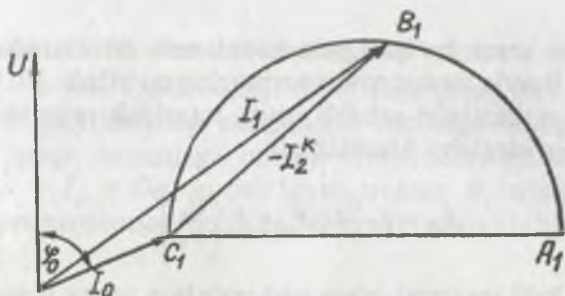
10.12. Asinxron motorning aylana diagrammasi

10.17-rasmda asinxron motorning aylana diagrammasini tushuntirishga oid sxema va diagrammalar ko'rsatilgan.

Agar aktiv qarshiligi R rostlanadigan, induktiv qarshiligi X esa o'zgarmas bo'lgan zanjirdan o'zgaruvchan tok I o'tkazilsa, u holda bu zanjirdagi kuchlanish vektori U ning qiymati IR va IX vektorlarining geometrik yig'indisiga teng bo'ladi. Bu kuchlanish vektorlarini X ga bo'lib va ularni soat strelkasining yo'nalishiga teskari tomon 90° ga burib, tok vektorining 10.17-rasmda ko'rsatilgan toklar aylanasi olinadi. Bunda B_1C_1 kateti tok vektori I ni, C_1A_1 gipotenuza esa o'zgarmas $\frac{U}{X}$ miqdorini ifodalaydi. Agar $R = 0 \div \infty$ chegarasida o'zgaradi deb qabul qilinsa, u holda tok vektorining qiymati $\frac{U}{X}$ dan nolgacha o'zgaradi. Bunda tok vektorining oxiri $\frac{U}{X}$ diametri bilan aylana chizadi (nazariy elektrotexnika kursiga qarang). Bu aylana toklar aylanasi deyiladi. Demak, asinxron motorning 10.5-rasmda ko'rsatilgan Γ -simon ekvivalent sxemasi asosida uning uchun ham aylana diagramma tuzish mumkin bo'ladi. Bunda asinxron motorning aylana diagrammasi magnitlanish konturi uchun tuzilgan vektor diagramma bilan toklar aylanasi iborat bo'ladi. Haqiqatan, ekvivalent sxemadagi o'zaro parallel ulangan magnitlanish va ish zanjirlariga o'zgarmas kuchlanish U beriladi. Bunda $\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + (-\vec{I}_2^k)$ bo'lib, I_0 vektori kuchlanish vektoriga nisbatan φ_0 burchakka burilgan. Asinxron motorning ekvi-



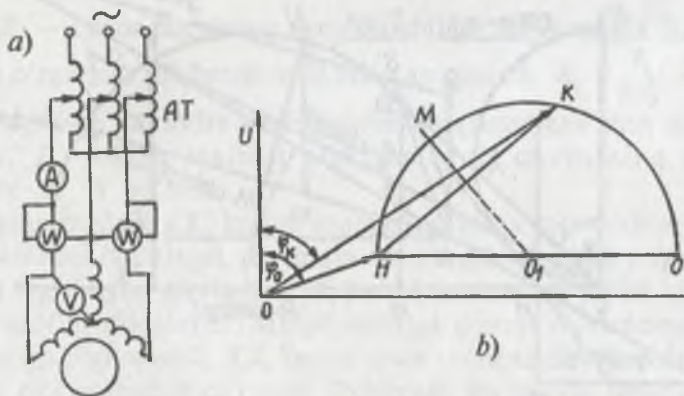
10.17-rasm. Asinxron motorning aylana diagrammasiga oid sxema va diagrammalar.



10.18-rasm. Asinxron motorning aylana diagrammasi.

valent sxemadagi ish zanjiri o'zgaruvchan aktiv $(R_1 + \frac{R_2^k}{S})$ va o'zgar-mas induktiv $(X_1 + X_2^k)$ qarshiliklardan iborat bo'lib, undan I_2 toki o'tadi. Bu tok uchun yuqoridagi singari toklar aylanasi tuzish mumkin. I_0 vektorining boshi bilan $-I_2^k$ vektorining oxirini bir-lashtirib asinxron motorning aylana diagrammasi va undan motorning elektr tarmog'idan olayotgan I_1 toki aniqlanadi. 10.18-rasmda asinxron motorning aylana diagrammasi ko'rsatilgan.

Asinxron motorning aylana diagrammasini qurish uchun uning salt ish va qisqa tutashish tajribalaridan olingan parametrlaridan foyda-laniladi. Salt ish tajribasidan R_0 , $U_0 = U_n$ va I_0 lar aniqlanib, ulardan $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{mU_{nf}I_{0f}}$ topiladi. Qisqa tutashish tajribasidan esa P_q , $I_q = I_n$ va I_0 lar aniqlanib, ulardan $\cos \varphi_q = \frac{P_q}{mU_{qf}I_{nf}}$ topiladi. Bu tajribalarni o'tkazish sxemasi 10.19-rasm, a da ko'rsatilgan. Qisqa tutashish



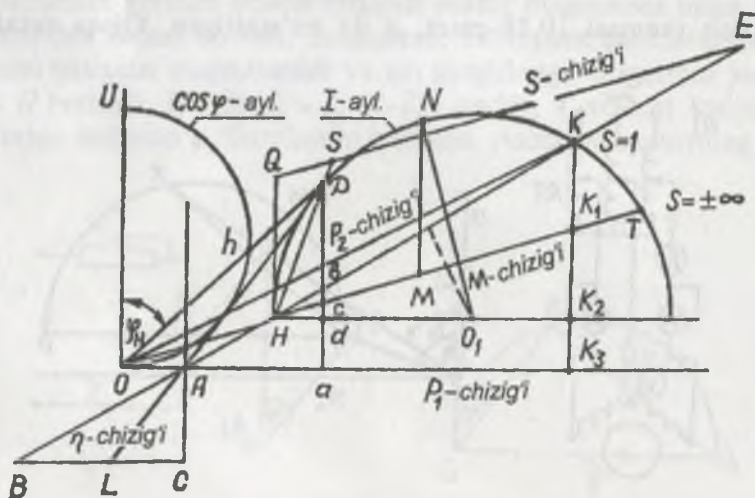
10.19-rasm. Asinxron motorning:

a — salt ishlash va qisqa tutashish tajribalarining sxemasi;
b — aylana diagrammasini qurish.

tajribasi uchun kerak bo'lgan past kuchlanish avtotransformator AT bilan olinadi. Bunda motor rotorini tormozlab qo'yiladi. Bu tajriba past kuchlanishda o'tkazilishi sababli qisqa tutashish rejimidagi haqiqiy parametrlar quyidagicha hisoblanadi:

$$I_{q1} = I_q \frac{U_n}{U_q}; P_{q1} = P_q \left(\frac{U_n}{U_q} \right)^2.$$

Bunda I_{q1} toki motorni ishga tushirishdagi tokka teng. Qisqa tutashish va salt ish tajribalaridan olingan parametrlarga binoan asinxron motorning aylana diagrammasi quriladi (10.19-rasm, b). Buning uchun koordinata sistemasining ordinata o'qi bo'yicha U_{1n} vektori yo'naltirilib, unga nisbatan φ_0 burchakda $I_0 = OH$ va φ_q burchakda $I_{q1} = OK$ vektorlari quriladi. Tok vektorlari bir xil tok masshtabda, ya'ni $m_i \left[\frac{A}{mm} \right]$ da olinadi. So'ngra H va K nuqtalarni birlashtirilib, ular o'rtasidan perpendikular o'tkaziladi. H nuqtadan absissas o'qiga o'tkazilgan parallel chiziq bilan perpendikular kesishgan O_1 nuqta toklar aylanasi markazi bo'ladi. Demak, O_1H radiusi bilan toklar aylanasi qurish mumkin. 10.20-rasmda aylana diagrammadan foydalanib asinxron motor parametrlarini aniqlash ko'rsatilgan. Buning uchun kuchlanish vektoriga nisbatan φ_n burchak farqida tok vektori $I_{1n} = OD$ quriladi. Aylana diagrammaga qo'yilgan I_1 tokning har bir qiymatiga asinxron motorning tegishli boshqa parametrlari quyidagicha aniqlanadi. Motorning quvvat koeffitsiyentini aniqlash uchun ordinata



10.20-rasm. Aylana diagrammadan foydalanib, asinxron motorning parametrlarini aniqlash.

o'qida diametri 100 mm bo'lgan yarim aylana chiziladi. Bunda $\cos\varphi_n = \frac{Oh}{100}$ bo'ladi. Bu ifodadagi Oh o'rniga uning mm bilan o'lchangan qiymati qo'yilib $\cos\varphi$ aniqlanadi. Motorga berilgan R_1 quvvat $R_1 = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi_1$ formulaga binoan aniqlanadi. Bunda $U_1 = \text{const}$, $P_1 \equiv I_1 \cos\varphi_1 = I_{a1} = Da \cdot m_i$ bo'lgani uchun R_1 ning qiymati Da kesmaga proporsional bo'ladi. Quvvat masshtabi quyidagicha aniqlanadi:

$$m_p = m_i \cdot m \cdot U_{\text{inf}} \frac{W}{\text{mm}},$$

bunda m — fazalar soni.

Motorga berilgan quvvat $P_1 = Da \cdot m_p W$ bo'ladi. P_1 quvvat abssissa o'qidan toklar aylanasi-gacha bo'lgan kesma bilan aniqlanishi sababli bu abssissa o'qi berilgan quvvat P_1 ning chizig'i deyiladi.

Foydali quvvat P_2 ning chizig'i toklar aylanasi-nings $P_2 = 0$ bo'lgan H va K nuqtalaridan o'tkaziladi. Bunda H nuqta salt ish, K nuqta esa qisqa tutashish rejimlariga tegishlidir. Shunga ko'ra HK kesma foydali quvvat P_2 ning chizig'i deyiladi.

Demak, $P_2 = m_p \cdot Db W$ bo'ladi. Elektromagnit quvvat P_{em} ning chizig'i toklar aylanasi-nings $R_{em} = 0$ bo'lgan N va T nuqtasidan o'tkaziladi. Bunda T nuqta sirpanishning $S = \pm \infty$ qiymatiga tegishli bo'ladi. T nuqtani tajriba yo'li bilan aniqlash imkoni bo'lmaganligidan elektromagnit quvvat chizig'i H va K_1 nuqtalardan o'tkaziladi. K_1 nuqtaning holati quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{R_1}{R_q} = \frac{K_1 K_2}{KK_2},$$

bunda R_1 — stator fazasining aktiv qarshiligi. Bu qarshilik faza chulg'amiga o'zgar-mas tok berish yo'li bilan aniqlanadi. $R_q = \frac{P_q}{mI_{qr}}$ — motor fazasining qisqa tutashtirish tajribasi-dan aniqlanadigan aktiv qarshiligi. Demak, I_{1n} tokiga tegishli elektromagnit quvvatning qiymati $P_{em} = Dc \cdot m_p W$ bo'ladi.

Diagrammadagi KK_2 kesma motorning qisqa tutashish rejimidagi quvvat isrofini ifodalaydi. K_1 nuqta esa bu quvvat isrofining rotor va statorga tegishligini ajratadi. $K_2 K_3$ kesma motorning po'lat qismidagi quvvat isrofini ifodalaydi. Motor rotoriga quvvat elektromagnit yo'l bilan berilganligi sababli, KK_1 kesma qisqa tutashtirish rejimida rotorga berilgan elektromagnit quvvatni ifodalaydi. Bu quvvat rotor chulg'aming qizishiga sarflanadi. Demak, $K_1 K_2$ kesma stator chulg'aming qizishi uchun sarflangan quvvat isrofi bo'ladi. Stator va rotor chulg'amlarining qizishiga sarflanadigan quvvat isroflari taxminan bir-biriga

teng bo'lgani uchun aylana diagramma qurishda KK_2 kesmadan K_1 ni topish uchun KK_2 ni teng bo'laklarga bo'linadi.

Demak, rotor va stator chulg'aming mislari va po'latidagi quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{m.rot} = bc \cdot m_p W,$$

$$P_{m.rot} = cd \cdot m_p W,$$

$$P_p = da \cdot m_p W.$$

Motorning aylantiruvchi momenti $M = P\omega_1$ va $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \text{const}$ bo'lgani uchun $P_{em} = M$, $m_m = Dc \cdot m_m$ bo'ladi. Bunda m_m — moment masshtabi bo'lib, uning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$m_m = 9,55 \frac{m_p}{n_1} \frac{\text{Nm}}{\text{mm}}.$$

Rotorning harakatsiz, ya'ni $S = 1$ bo'lgan holatida unga berilgan elektromagnit quvvat KK_1 kesma bilan ifodalanishi sababli motorning ishga tushirish momenti ham shu kesma bilan topiladi, ya'ni

$$M_{isht} = KK_1 \cdot m_m.$$

Aylantiruvchi momentning maksimal qiymatini aniqlash uchun toklar aylanasi markazi O_1 dan momentlar chizig'iga perpendikular o'tkaziladi va bu perpendikularning aylana bilan kesishgan N nuqtasidan momentlar chizig'iga qadar vertikal NM o'tkaziladi. Bunda motorning maksimal momenti NM kesma bilan ifodalanadi, ya'ni

$$M_{maks} = NM \cdot m_m$$

bo'ladi.

HK_1 chiziqdan boshlab toklar aylanasi gacha bo'lgan vertikal miqdorlar motor momentini ifodalashi sababli HK_1 ni momentlar chizig'i deyiladi. Sirpanish S ni aniqlash uchun H nuqtadan absissa o'qiga HQ perpendikular o'tkaziladi. So'ngra Q nuqtadan foydali quvvat R_2 chizig'ining davomi bilan kesishgunga qadar hamda momentlar chizig'iga parallel bo'lgan QE chiziq o'tkaziladi. Bunda QE chiziqning uzunligi 100 ga karrali qilib olinadi. H va D nuqtalardan o'tgan chiziqni QE bilan S nuqtada kesishgunga qadar davom ettiriladi Hbc va HQS va HDs uchburchakliklarning o'xshashligidan quyidagini olamiz:

$$S = \frac{P_{m.rot}}{P_{em}} = \frac{QS}{QE}.$$

Demak, QS kesma sirpanishga proporsional ekan. Foydali ish koeffitsiyentini aniqlash uchun foydali quvvat R_2 ning chizig'ini absissa o'qi bilan A nuqtada kesishgunga qadar davom ettiriladi, so'ngra A nuqtadan absissa o'qiga perpendikular o'tkaziladi. Bu perpendikular umumiy quvvat isroflarining chizig'i deyiladi. So'ngra foydali quvvat bilan umumiy quvvat isrofi chiziqlarining 100 mm ga teng bo'lgan oralig'ida absissa o'qiga parallel qilib BC chiziq bilan L nuqtada kesishgunga qadar davom ettiriladi. Motorning foydali ish koeffitsiyenti quyidagi nisbatan aniqlanadi:

$$\eta = \frac{BL}{BC},$$

bunda BL — foydali quvvatga, LC — motordagi quvvat isroflariga proporsional bo'lgan kesmalar. $BC = 100$ mm bo'lgani uchun BL kesma mm larda foydali ish koeffitsiyentini ifodalaydi. Ammo η ni bu usul bilan aniqlash anchagina noaniq bo'lgani uchun, uni odatda $\eta = \frac{P_1 - \Sigma \Delta P}{P_1}$ ifodadan hisoblab topiladi.

Motorning o'ta yuklanish qobiliyati

$$\frac{M_{maks}}{M_n} = \frac{NM}{Dc},$$

ishga tushirish xususiyati esa $\frac{M_{ishti}}{M_n} = \frac{KK_1}{Dc}$ bo'ladi.

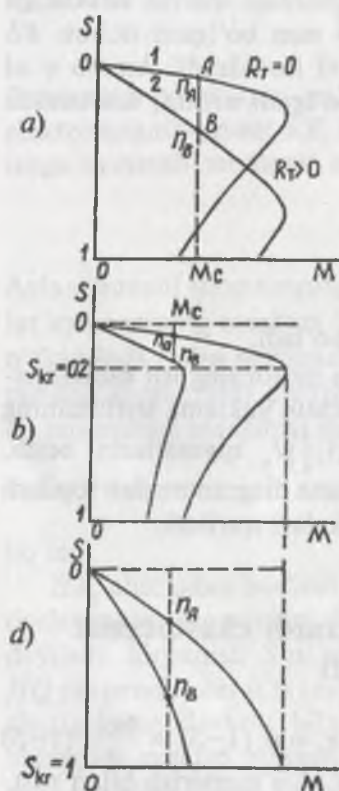
Aylana diagrammadan, asosan, asinxron motorning ish xarakteristikalarini qurishda foydalaniladi. Buning uchun yuklama tajribasining keragi bo'lmay, stator tokiga $I_1 = \left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1, \frac{5}{4}\right) I_n$ qiymatlarini berib, motorning ularga tegishli parametrlarini aylana diagrammadan topiladi va ular asosida motorning ish xarakteristikallari quriladi.

10.13. Asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash usullari

Asinxron motorning aylanish chastotasi $n_2 = n_1 (1 - S) = \frac{60 f_1}{p} (1 - S)$ bo'lgani uchun uning chastotasi n_1 yoki S ni o'zgartirish bilan rostlanadi. Statordagi magnit maydon chastotasi n_1 ni o'zgartirish uchun stator chulg'aminin juft qutblar soni p ni yoki unga beriladigan uch fazali tokning chastotasi f_1 ni o'zgartirish kifoya. Asinxron motorni

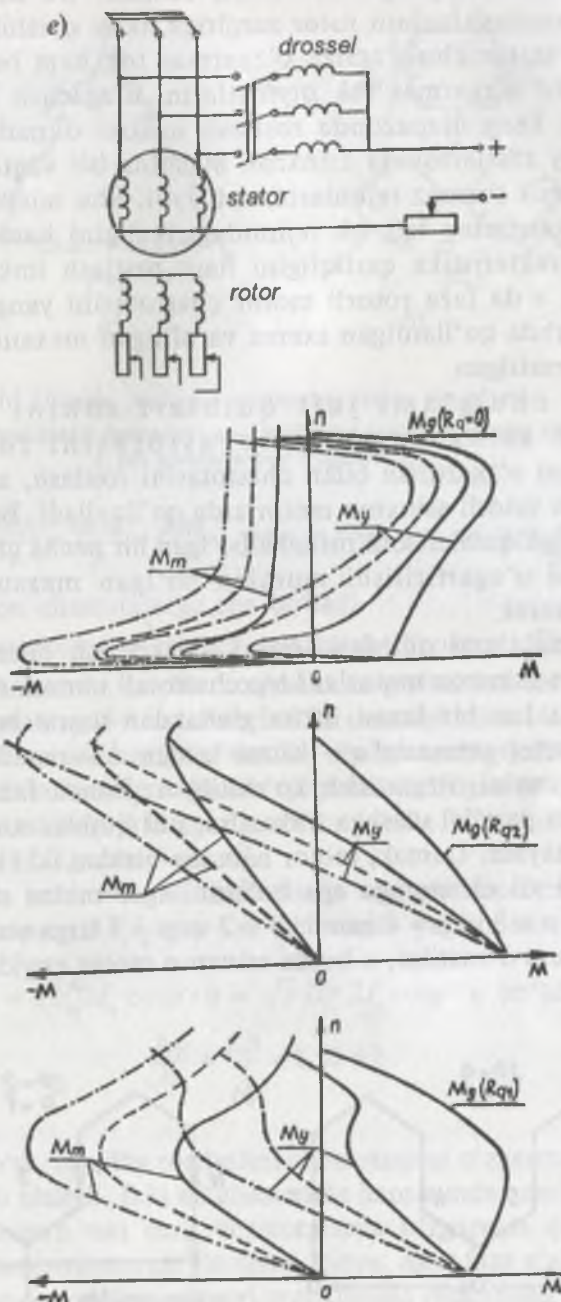
boshqa elektr mashinalari bilan turli xildagi kaskad sxemalarida ulab ishlatish bilan ham uning chastotasini rostlash mumkin. Bu usullar bilan asinxron motor chastotasini qoniqarli ko'rsatkichlarga ega qilib rostlash ancha murakkab bo'lgani uchun ular amalda kam qo'llaniladi.

Sirpanish S_{ni} o'zgartirib motor chastotasini rostlash. Aylantiruvchi moment ifodasiga binoan asinxron motor sirpanishini o'zgartirish uchun rotor zanjiridagi aktiv qarshilik R_2^k yoki statorga beriladigan kuchlanish U_{1r} ning qiymatini o'zgartirish kerak. 10.21-rasm, *a* da faza rotorli motorning rotor zanjiriga aktiv qarshilikni kiritish bilan uning tabiiy xarakteristikadagi tezligining n_A dan n_B gacha rostlangani ko'rsatilgan. Bunda R_2' ortishi bilan R_2 va, demak, aylantiruvchi moment ham kamayadi. Natijada motor validagi chastota momentlar muvozanati tiklangunga qadar kamayib boradi. 10.21-



10.21-rasm. Sirpanish S_{ni} ni o'zgartirib asinxron motor chastotasini rostlash.

rasmda stator chulg'amiga beriladigan kuchlanishi kamaytirish bilan *b* — qisqa tutashtirilgan rotorli va *d* — rotoriga aktiv qarshilik kiritilib $S_{kr} = 1$ bo'lgan faza rotorli asinxron motorlari chastotasini rostlash ko'rsatilgan. Demak, $M_k = \text{const}$ bo'lib, U_{1r} qiymati 30% ga kamaytirilganda qisqa tutashtirilgan rotorli motor chastotasi 10÷15% ga kamaysa, rotoriga qarshilik kiritilib, $S_{kr} = \frac{R_2^k}{x_1 + x_2^k} = 1$ qilingan motor chastotasi 50÷60% ga kamayadi. Kuchlanish pasayganda motorning o'ta yuklanish qobiliyati keskin kamayadi. Rotor chulg'amiga kiritiladigan aktiv qarshilikni ko'paytirish bilan esa mexanik xarakteristika qattiqligi va, demak, rostlash mo'tadilligi keskin pasayib, rotor zanjiridagi qarshilikning qizishiga sarflanadigan quvvat isrofi keskin ko'payib boradi. Shu sababli, sirpanishni o'zgartirish bilan olinadigan chastotani rostlash diapazoni $D \leq 1,3 \div 1,5$ bo'ladi. Sirpanishni o'zgartirish bilan chastotani rostlash diapazonini kengaytirish va har bir chastotada motor ishini mo'tadillash, ya'ni qoniqarli qattqlikka ega bo'lgan mexanik xarakteristikani olish uchun

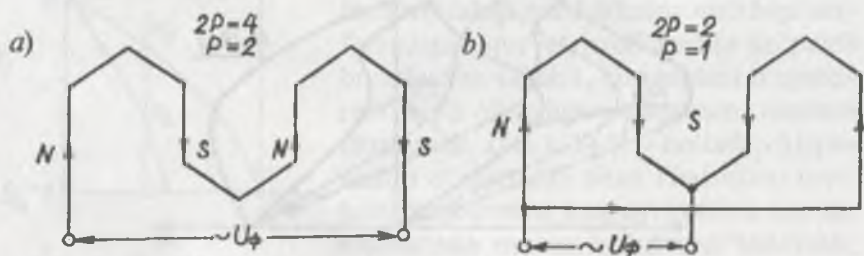


10.21-rasm, e. Sirpanishni o'zgartirib asinxron motor chastotasini rostlash.

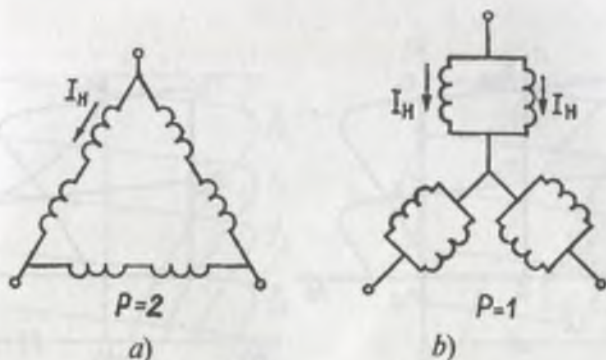
muallif ishtirokida yangi usul taklif etilgan. Bu usulga binoan chastotani rostlash uchun rotor zanjiriga aktiv qarshilikni kiritish bilan birga stator chulg'amiga o'zgarmas tok ham beriladi. Qarshilik hamda o'zgarmas tok qiymatlarini o'zgartirish bilan motor chastotasini keng diapazonda rostlash imkoni olinadi. Chastota-ning bunday rostlanishida asinxron mashina bir vaqtda motor va elektrodinamik tormoz rejimlarida ishlaydi. Shu sababli bu usulda asinxron motorining salt ish rejimidagi tezligini ham va, demak, mexanik xarakteristika qattiqligini ham rostlash imkoni olinadi. 10.21-rasm, e da faza rotorli motor chastotasini yangi usulga binoan rostlashda qo'llanilgan sxema va olingan mexanik xarakteristikalar ko'rsatilgan.

Stator chulg'ami juft qutblari sonini o'zgartirish bilan asinxron motor chastotasini rostlash. Juft qutblar sonini o'zgartirish bilan chastotasini rostlash, asosan, qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarda qo'llaniladi. Buning uchun motor statoriga qutblar soni turlicha bo'lgan bir necha chulg'am yoki qutblar soni o'zgartirilishi mumkin bo'lgan maxsus chulg'am o'rnatilishi kerak.

Stator chulg'ami qutblari sonini o'zgartirish bilan chastotasi rostlanadigan asinxron motorlar ko'p chastotali motorlar deb ataladi. 10.22-rasmda har bir fazasi ikkita g'altakdan iborat bo'lgan chulg'amining ulanish sxemasini a — ketma-ketdan; b — parallelga o'tkazib juft qutblar sonini o'zgartirish ko'rsatilgan. Bunda faza g'altaklari ketma-ketdan parallel ulashga o'tkazilsa, juft qutblar soni $p = 2$ dan $p = 1$ ga kamayadi. Demak, motor ham bir-biridan ikki martaga farq qiluvchi ikki xil chastotaga ega bo'ladi. Agar motor statoriga juft qutblari soni $p = 8$ va $p = 4$ hamda $p = 2$ va $p = 1$ larga o'zgartiriluvchi ikkita chulg'am o'rnatilsa, u holda asinxron motor quyidagi to'rt xil, ya'ni



10.22-rasm. Asinxron motorning juft qutblar sonini o'zgartirish.



10.23-rasm. Asinxron motorning stator chulg'ami:

a — uchburchaklik sxemadan; *b* — ikkilangan yulduz sxemasiga o'tkazib juft qutblar sonini o'zgartirish.

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p} = 3000, 1500, 750 \text{ va } 375 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$$

bo'lgan sinxron chastotalarga ega bo'ladi.

Bunda motor chastotasining rostlanish diapazoni $D = \frac{3000}{375} = 8$ bo'ladi. 10.23-rasmda har bir fazasi ikkita g'altakdan iborat bo'lgan stator chulg'amining *a* — uchburchaklik sxemasi bilan ulashdan; *b* — ikkilangan yulduz sxemasiga o'tkazib, chulg'amning juft qutblar sonini o'zgartirish ko'rsatilgan. Bunda qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor chastotasining ikki marta rostlanishida ham uning validagi quvvati deyarli o'zgarmay qoladi.

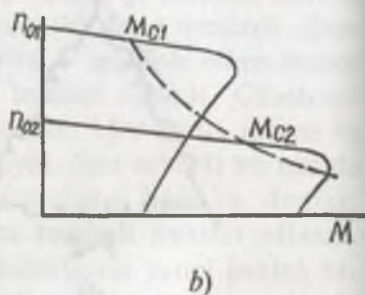
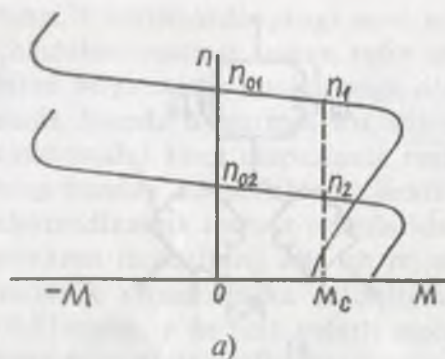
Haqiqatan, uchburchaklik sxemasida ulangan motorning quvvati $P_{\Delta} = 3 U_{\phi} I_n \cos \varphi \eta = 3 U_l I_n \cos \varphi \cdot \eta$, ikkilangan yulduz sxemasida esa,

$$P_{YY} = 3 U_{\phi} 2 I_n \cos \varphi \cdot \eta = \sqrt{3} U_l \cdot 2 I_n \cos \varphi \cdot \eta \text{ bo'lib,}$$

$$\frac{P_{YY}}{P_{\Delta}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} = 1,15 \approx 1$$

bo'ladi.

Shunga ko'ra, bunday rostlashni chastotaning o'zgarish quvvatda rostlanishi deb ataladi. Ikki xil chastotada ham bunday motordan to'la foydalanish uchun uni turli chastotalarda o'zgarish quvvat talab qiladigan mexanizmlarda qo'llanilishi lozim. Agar faza g'altaklari past tezlikda ketma-ket yulduz, yuqori tezlikda esa ikkilangan yulduz sxemasida ulansa, u holda chastota o'zgarishi bilan aylantiruvchi moment o'zgarmay qoladi. Haqiqatan, yulduz sxemada motorning quvvati



10.24-rasm. Asinxron motorning juft qutblar sonini o'zgartirish bilan chastotasini rostlashdagi mexanik xarakteristikalar.

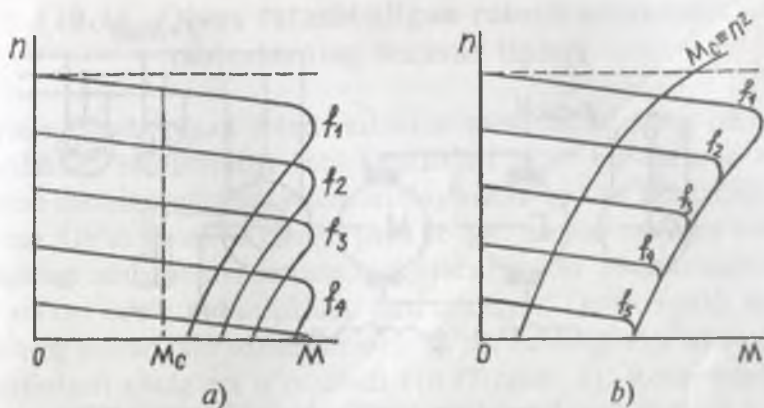
$P_Y = 3 U_{\Gamma} I_n \cos \varphi \cdot \eta$, ikkilangan yulduz sxemada esa $P_{YY} = 3 U_{\Phi} 2 I_n \times \cos \varphi \cdot \eta$ bo'lib, $\frac{P_{YY}}{P_Y} = 2$, $\frac{M_{YY}}{M_Y} = \frac{P_{YY}}{n_{YY}} \frac{n_Y}{P_Y} = 1$ bo'ladi. Tezlikning qiymati ikki marta rostlanganida aylantiruvchi momenti o'zgarmaydigan motorlarni qarshilik momenti $M_c = \text{const}$ bo'lgan mexanizmlarda qo'llash tavsiya etiladi. 10.24-rasm, *a* va *b* larda chastotaning $M = \text{const}$ va $P = \text{const}$ bo'lib rostlanishidagi mexanik xarakteristikalar ko'rsatilgan. Juft qutblar sonini o'zgartirishda chastota silliq o'zgarmay pog'ona-pog'ona bo'lib rostlansa ham, ammo turli chastotalarda mexanik xarakteristika qattiqligi va rostlashdagi tejamlilik yuqori bo'lgani uchun bu usul metall qirqish stanoklaridan tashqari nasos, elevator, ventilator va lift mexanizmlarida ham keng tarqalgan.

Statorga beriladigan tok chastotasini o'zgartirish bilan asinxron motor chastotasini rostlash. Asinxron motor chastotasini keng diapazonda silliq va tejamli rostlash uchun uning stator chulg'amiga beriladigan uch fazali tok chastotasini berilgan qonun bilan o'zgartirish kifoya.

Tok chastotasini o'zgartirish bilan aylanish chastotasini rostlashda asinxron motorning $\cos \varphi$, η va $\lambda = \frac{M_{\text{maks}}}{M_n}$ kabi parametrlarining nominal qiymatida qolishi uchun M. P. Kostenko aniqlagan quyidagi bog'lanishga rioya qilish kerak, ya'ni

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{M_c}{M_{sn}}}, \quad (10.38)$$

bunda U_n va M_{sn} — nominal chastota f_n ga tegishli nominal kuchlanish va qarshilik momenti;

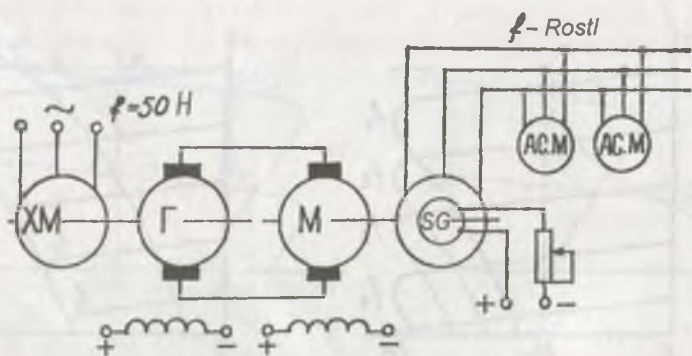


10.25-rasm. Tok chastotasini o'zgartirish bilan asinxron motor chastotasini rostlashdagi mexanik xarakteristikalar.

U va M_c — chastotaning nominalga nisbatan o'zgargan qiymati f ga tegishli kuchlanish va qarshilik momenti.

Agar chastota o'zgarishi bilan $M_c = M_{si} = \text{const}$ bo'lsa, u holda $\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n}$ bo'lib, asinxron motorga beriladigan kuchlanishni chastotaga proporsional ravishda o'zgartirish lozim bo'ladi. Buning uchun, masalan, birlamchi motorning chastotasini o'zgartirish bilan chastotasi o'zgartiriladigan sinxron generatorning qo'zg'atuvchi tokini o'zgartirmaslik lozim. Agar chastota o'zgarishi bilan $M_c = n_2^2$ bo'lsa, u holda $n_2 = \frac{60f_1}{P_2}(1-s)$ va, demak, $n_2 \equiv f$ bo'lgani uchun $M_s \equiv f_2$, $\frac{U}{U_n} = \left(\frac{f}{f_n}\right)^2$ bo'lib, motorga beriladigan kuchlanish qiymatini chastotaning kvadratiga proporsional ravishda o'zgartirish kerak. Buning uchun qo'zg'atuvchi tok qiymatini sinxron generatorning aylanish chastotasiga proporsional ravishda o'zgartirish lozim. (10.38) ifodani olishda asinxron motorning magnit sistemasi to'yinmagan va stator chulg'aminining aktiv qarshiligi $R_1 = 0$ deb qabul qilingan. Amalda esa $R_1 > 0$ bo'lib, chastotani o'zgartirishda (10.38) ga to'la rioya qilinmaydi va, demak, asinxron motor asosiy ko'rsatkichlarining qiymati nominaldagiga nisbatan bir oz past bo'ladi. 10.25-rasmda tezligi (10.38) ifodaga binoan rostlanadigan asinxron motorning turli chastotalardagi hamda a) $M_c = M_{sn} = \text{const}$ va b) $M_s \equiv n_2 \equiv f_2$ bo'lgandagi mexanik xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Asinxron motorga elektr tarmog'idagi tok chastotasining kuchlanishini o'zgartirib berish bilan uning chastotasini rostlash uchun turli tipdagi chastota o'zgartirgichlardan foydalaniladi. Elektr mashina

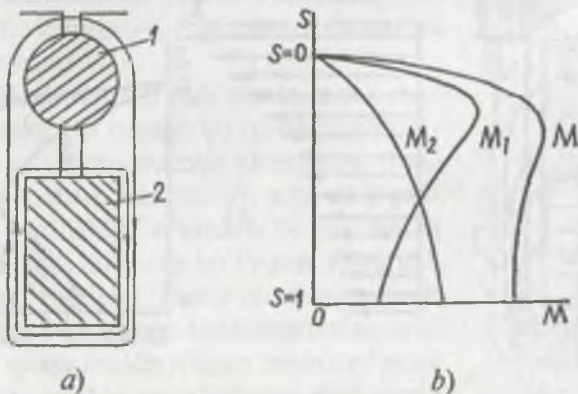


10.26-rasm. Sinxron generatorli chastota o'zgartgich-motor sistemasining prinsipial sxemasi.

chastota o'zgartgichlar sinxron generatorli chastota o'zgartgichi va undan ta'minlanuvchi asinxron motorlari sistemasining prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Bunday roslash sistemasini prokat stanining rolgang mexanizmida uchratish mumkin. Rolgandagi har bir rolik asinxron motori bilan aylantirilib, bu roliklar chastotasini bir vaqtda va bir xilda roslash uchun sinxron generatorli chastota o'zgartgichdan foydalaniladi. Bunda chastotani va, demak, asinxron motorlari chastotasini keng diapazonda roslash uchun sinxron generatori $G-M$ sistemadagi o'zgarmas tok motori bilan aylantiriladi. Sinxron generatorli chastota o'zgartgich quvvatlari taxminan bir-biriga teng bo'lgan to'rtta elektr mashinadan iborat bo'lib, chastotani $D = 12$ diapazonida roslash imkoniga ega bo'ladi. Ishga tushirishdagi va ishlashidagi qator kamchiliklar sababli bunday sistema kam qo'llaniladi. Hozirgi paytda har tomonlama qulay bo'lgan va turli tipdagi chala o'tkazgich ventillardan yig'iladigan statik chastota o'zgartgichlar ustida katta ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bular ichida boshqariladigan va boshqarilmaydigan kremniyli ventillar, kondensatorlar va transformatorlardan iborat bo'lgan chastota o'zgartgichlar ayniqsa katta istiqbolga ega (o'zgartgichlar bobiga qarang). Elektr tarmog'idagi $f = 50 \text{ H}$ chastotani bir necha yuz va ming gersgacha ko'paytirib beruvchi chastota o'zgartgichlardan ta'minlanuvchi asinxron motorlari bilangina elektroshpindel nomli silliqlash stanogida $150000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ ga teng bo'lgan chastotani olish imkoni bo'ladi. Tok chastotasini o'zgartirish bilan aylanish chastotasini roslashda olinadigan ko'rsatkichlar, asosan, chastota o'zgartgichning texnika va iqtisodiy ko'rsatkichlari bilan aniqlanadi.

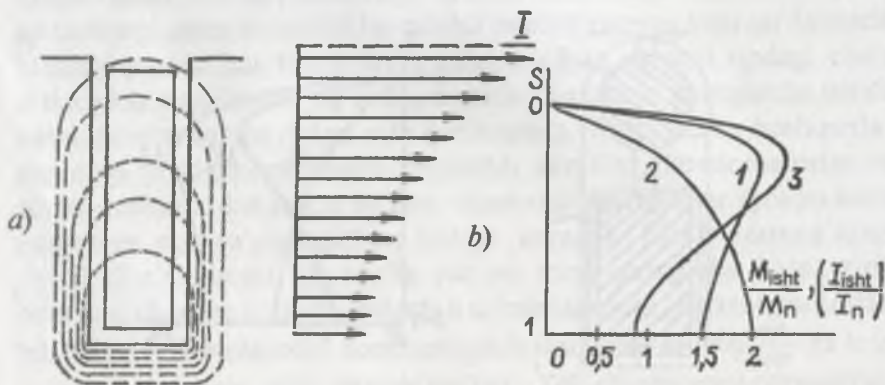
10.14. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarning maxsus tiplari

Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlar o'zining oddiyligi va ishlashda ishonchliligi kabi afzalliklari bilan bir qatorda ishga tushirish tokining kattaligi, momentining kichikligi kabi kamchiliklarga ham ega. Qo'sh xonali va chuqur pazli bo'lgan maxsus motorlar normal tuzilishdagi asinxron motor kamchiliklaridan xolidir. Maxsus motorlarning statori oddiy motornikidan farq qilmaydi. Qo'sh xonali motor rotorining pazlari ikki xonadan iborat bo'lib, bu xonalarga ikkita qisqa tutashtirilgan chulg'am o'rnatiladi (10.27-rasm, *a*). Rotor pazining tashqi xonasiga aktiv qarshiligi katta, induktiv qarshiligi esa kichik bo'lgan ishga tushirish chulg'ami o'rnatilib, pazning ichki xonasiga aktiv qarshiligi kichik, induktiv qarshiligi katta bo'lgan ish chulg'ami o'rnatiladi. Ishga tushirish chulg'ami ko'ndalang kesimi kichik latun o'tkazgichlardan iborat bo'lib, pazning sirtiga joylashtirilgani uchun uning aktiv qarshiligi katta, induktiv qarshiligi kichik bo'ladi. Ish chulg'ami ko'ndalang kesimi katta mis o'tkazgichlardan iborat bo'lib, pazning ichki qismiga joylashgani uchun uning aktiv qarshiligi kichik, induktiv qarshiligi esa katta bo'ladi. Motorni ishga tushirishda $s = 1$; $f_2 = f_1$ bo'lgani uchun rotorning chastotaga proporsional bo'lgan induktiv qarshiligi o'zining maksimal qiymatiga ega bo'ladi. Bunda ishga tushirish momentning asosiy qismi rotor pazining tashqi xonasidagi chulg'am tokidan hosil qilinadi. Shu sababli bu chulg'amni



10.27-rasm. Qo'sh xonali asinxron motorning:
a — rotorining pazi; *b* — mexanik xarakteristikasi.

ishga tushirish chulg'ami deyiladi. Ishga tushirish chulg'amining aktiv qarshiligi katta bo'lgani uchun rotor toki I_2 nisbatan kichik bo'lib, uning aktiv $I_2 \cos \varphi_2$ qiymati esa anchagina katta bo'ladi. Demak, normal motorga nisbatan qo'sh xonali motorning ishga tushirish toki kichik, ishga tushirish momenti esa katta bo'ladi. Ishga tushirish jarayoni tugashi bilan sirpanish qiymati va, demak, rotorning induktiv qarshiligi juda ham kichik bo'lib qolgani uchun aylantiruvchi moment asosan pazning ichki qismidagi chulg'am tokidan hosil bo'ladi. Shu sababli bu chulg'amni ish chulg'ami deyiladi. 10.27-rasm, *b* da qo'sh xonali asinxron motorning mexanik xarakteristikasi ko'rsatilgan, bunda $M = M_1 + M_2$ — motorning aylantiruvchi momenti; M_1 va M_2 — ishga tushirish va ish chulg'amlardagi tokdan hosil bo'lgan momentlar. Qo'sh xonali motor rotorini takomillashtirib chuqur pazli motor yaratilgan. Chuqur pazli motor hozirgi paytda qisqa tutashtirilgan rotorli motorlarning asosiy tipi hisoblanadi. Bunday motor rotorining chuqur pazlariga ko'ndalang kesimi bo'yi eniga nisbati juda katta bo'lgan aluminiy o'tkazgichlar o'rnatiladi (10.28-rasm, *a*). O'tkazgichning pastki qismi zich, yuqorigi qismi esa siyrak bo'lgan magnit kuch chiziqlari bilan o'ralgani uchun chuqur pazli motorning ishga tushirish jarayoni ham xuddi qo'sh xonali motorniki singari, ya'ni ishga tushirish toki rotor chulg'ami ko'ndalang kesimini induktiv qarshiligi kichik bo'lgan ustki qismidan o'tadi. Chulg'am ustki qismining aktiv qarshiligi uning to'la qismining aktiv qarshiligidan bir necha marta kichik bo'lgani uchun I_2 kichik, $I_2 \cos \varphi_2$ esa katta bo'ladi. 10.28-rasm, *b* da chuqur pazli motorning ishga tushirish xarakteristikalari ko'rsatilgan.



10.28-rasm. Chuqur pazli asinxron motorining:
a — rotorining pazi; *b* — ishga tushirish xarakteristikalari.

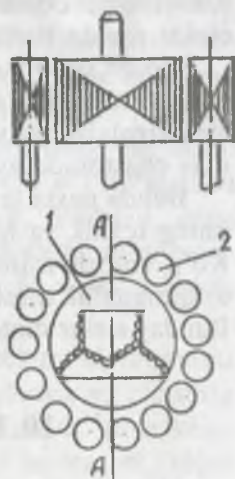
Bunda 1 — chuqur pazli va 3 — normal tuzilishdagi qisqa tutash-tirilgan rotorli asinxron motorlarning mexanik xarakteristikalar; 2 — chuqur pazli motor ishga tushirish tokining sirpanishga nisbatan o'zgarish egri chizig'i. Chuqur pazli motor rotorining induktiv qarshiligi normal tuzilishdagi motornikiga nisbatan katta bo'lgani uchun uning $\cos\varphi$ va o'ta yuklanish qobiliyati nisbatan bir oz past bo'ladi. Quyidagi jadvalda maxsus va normal qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarning ishga tushirish toki va momenti berilgan.

Qo'sh xonali motor		Chuqur pazli motor		Normal tuzilishdagi motor	
I_{isht}/I_n	M_{isht}/M_n	I_{isht}/I_n	M_{isht}/M_n	I_{isht}/I_n	M_{isht}/M_n
3,3	1,0	4,0	1,2	4,0	0,8
3,7	1,5	4,8	1,5	6,0	1,0
5,5	2,0	—	—	7,0	1,2

10.15. Paxta terish mashinasi shpindellarining yuritmasiga mo'ljallangan ko'p rotorli asinxron motor

Ko'p rotorli deb atalgan reversiv elektr motorning ishlash prinsipi ilgari ma'lum bo'lgan kamonsimon statorli asinxron motorning ishlash prinsipidan kam farq qiladi. 10.29-rasm-da O'zbekiston energetika va avtomatika ilmiy tadqiqot institutining xodimlari tomonidan yaratilgan original tuzilishli ko'p rotorli asinxron motor ko'rsatilgan. Bunda — 1 — motor statori va 2 — uning rotorlari.

Ko'p rotorli asinxron motor paxta terish mashinasining asosiy ish organi bo'lmish shpindellarning yuritmasi uchun maxsus yaratilgan. Bunday motorning statori faza rotorli asinxron motorning rotor tuzilishiga o'xshash bo'lib, uning pazlariga AA chizig'i bo'yicha bo'lingan ikkita uch fazali chulg'am o'rnatiladi. Stator atrofidagi silindr shaklli barabanga o'rnatilgan shpindellarning uchi bu motorning qisqa tutashtirilgan rotorlari bilan tugaydi. Demak, motor rotorlarining soni paxta terish mashinasining barabaniga o'rnatilgan shpindellar soniga teng qilib olinadi.



10.29-rasm. Ko'p rotorli asinxron motor.

Stator chulg'amlari elektr tarmog'iga ma'lum tartibda ulansa, ularda qarama-qarshi yo'nalishdagi yuguruvchi deb atalmish magnit maydonlari hosil bo'ladi. Bu magnit maydonlar bilan qisqa tutashtirilgan rotorlarni kesilishi natijasida hosil bo'luvchi elektromagnit kuchlar ta'sirida AA chizig'ining chap tomonida joylashgan rotorlar bir tomonga, o'ng tomonidagilar teskari tomonga aylanadi. Bunda paxtani terish zonasida joylashgan shpindellar bir tomonga, shpindellarga o'ralgan paxtani chuvis yig'ishtirish zonasida joylashgan shpindellar esa teskariga aylanib, paxtani terish texnologiyasiga muvofiq harakat olinadi. Har bir shpindel ham o'z o'qi atrofida, ham baraban bilan birga berilgan o'zgarmas chastotada aylanishi sababli, uning terish va yig'ishtirish zonalarini bilan aniqlanuvchi AA chizig'idan o'tishi bilan shpindelning aylanish yo'nalishi kontaktsiz ravishda o'z-o'zidan o'zgaradi. Shuning uchun ham bunday motor ko'p rotorli reversiv elektroplanetar asinxron motor deb atalgan. Hozirgi paxta terish mashinalarining shpindellari tasmali uzatma bilan harakatga keltiriladi. Shpindellarning aylanish yo'nalishi $0,5 \div 0,7$ sek davomida o'zgarishi sababli tasmalarni $30 \div 40$ soatdan so'ng almashtirish kerak. Tasmalarni yangilab turish vaqti amalda mo'ljaldagidan ancha kam bo'ladi. Bundan tashqari, tasmali uzatma bilan terish va yig'ishtirish zonalarida joylashgan shpindellarni turli optimal chastotalarda aylantirish va bunda ularning aylanish mo'tadilligini saqlash to'la ta'minlanmaydi.

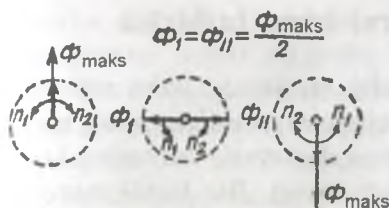
Paxta terish mashinasining shpindellari yuritmasi uchun ko'p rotorli reversiv elektroplanetar asinxron motordan tashkil topgan elektr yuritma qo'llanilsa, bu yuritmaning ishlashdagi mo'tadilligi hamda ishonchliligi ortadi, uni avtomatik boshqarish, shpindellar chastotasini elektr usulda rostlash imkoni olinadi.

Motor statori chulg'amlarini tok bilan ta'minlashda hosil qilingan asimmetriya asosida shpindellar (rotorlar) ni o'z o'qi atrofida aylantirishdan tashqari, ular o'rnatilgan barabanni ham berilgan o'zgarmas chastotada aylantirish mumkin.

Bunda paxta terish mashinasining kinematikasi ancha soddalashib, uning texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlari keskin ravishda ko'tariladi. Ko'p rotorli asinxron motordan tashkil topgan elektr yuritmadan to'qimachilik mashinalari va shu kabilarda ham foydalanish mumkin. Bunday elektr motorining foydali ish koeffitsiyenti $\eta = 0,4 \div 0,5$ bo'ladi.

10.16. Bir fazali asinxron motorlar

Ma'lumki, ishlab turgan uch fazali asinxron motorning bir fazasi elektr tarmog'idan ajralib qolsa ham, u o'z ishini bir fazali rejimda davom ettiraveradi. Bunda uning quvvati uch fazada ishlagandagi

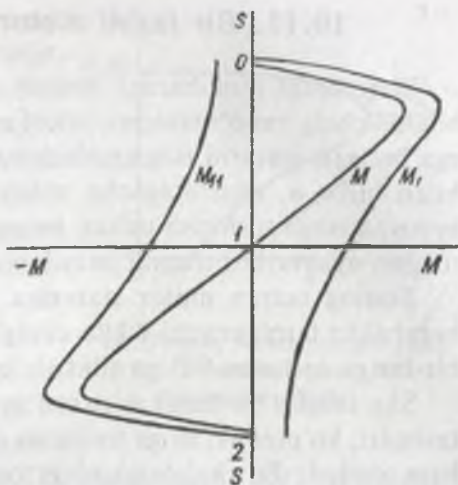


10.30-rasm. Pulsatsiyalanuvchi magnit maydonning ikkita aylanuvchi magnit maydon sifatida tasvirlanishi.

quvvatining taxminan $50 \div 66\%$ ini tashkil qiladi. Ammo to'xtab turgan uch fazali motorni bir fazali rejimda ishga tushirib bo'lmaydi. Haqiqatan, bir fazali tokdan aylanuvchi emas, balki pulsatsiyalanuvchi magnit oqim hosil bo'ladi. Pulsatsiyalanuvchi magnit maydonni qiymatlari $\frac{\phi_{maks}}{2}$ bo'lgan va bir-biriga teskari yo'nalgan ikkita bir xil sinxron chastota $n_1 = n_2 = \frac{60f_1}{p}$ bilan aylanayotgan magnit maydonlarning yig'indisidan iborat deb qabul qilish mumkin (10.30-rasm).

Bu aylanuvchi magnit maydonlardan rotor chulg'amida $I_1 = I_{11}$ toklari va, demak, qarama-qarshi yo'nalgan $M_1 = M_{11}$ aylantirish momentlari hosil bo'ladi. 10.31-rasmda uch fazali motorning bir fazali rejimidagi mexanik xarakteristikasi ko'rsatilgan. Bu xarakteristikaga binoan bir fazali motorning yoki uch fazali motorning bir fazali rejimidagi ishga tushirish momenti nolga teng, ya'ni $S = 1$ bo'lganida $M_{isht} = M_1 + M_{11} = 0$ bo'ladi. Ammo ishlab turgan, masalan, o'ng tomonga biror n_{2r} , chastota bilan aylanib turgan uch fazali motorning bir fazasi elektr tarmoqdan ajralib qolsa, u holda $M_1 > M_{11}$ sababli, motor o'z ishini davom ettiraveradi (10.31-rasm).

Bunda rotor zanjirida $\cos\psi_{11} < \cos\psi_1$ bo'lgani uchun M_1 momenti M_{11} ga nisbatan katta bo'ladi. Haqiqatan o'ng tomonga n_{2r} chastota bilan aylanayotgan rotor chulg'amining magnit oqimi Φ_1 bilan kesilish chastotasi $n_{s1} = n_1 - n_{2p} = n_1 - n_1(1 - S) = n_1 S$ bo'lsa, Φ_{11} bilan kesilish chastotasi esa $n_{s2} = n_1 + n_{2p} = n_1(2 - S)$ bo'ladi. Demak, $n_{s2} > n_{s1}$ bo'lgani uchun n_{s2} chastota bilan kesilgan rotor zanjiridagi induktiv qarshilik nisbatan katta va, demak, $\cos\psi_{11} < \cos\psi_1$ bo'ladi.



10.31-rasm. Uch fazali asinxron motorning bir fazali rejimidagi mexanik xarakteristikasi.

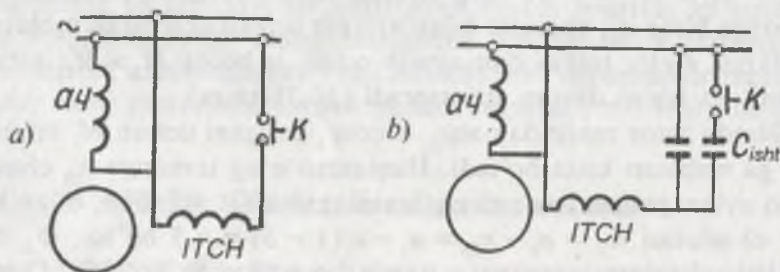
10.17. Bir fazali motorlarni ishga tushirish

Yuqoridagi mulohazaga binoan oddiy bir fazali, ya'ni statoriga birgina chulg'am o'rnatilgan, rotori esa qisqa tutashtirilgan chulg'amga ega bo'lgan motorni ishga tushirish uchun dastavval, uni tashqi kuch bilan biror n_2 chastotagacha aylantirish lozim. Bir fazali motorni bevosita ishga tushirish uchun uning statoridagi chulg'amga berilgan tokdan aylanuvchi magnit maydon hosil bo'lishi zarur.

Buning uchun motor statoriga, o'qlari bir-biriga nisbatan, 90° burchakka farqlanuvchi ikkita chulg'amni joylashtirib, ulardagi tokni bir-biriga nisbatan 90° ga siljitish kerak.

Shu sababli bir fazali asinxron motor statoriga asosiy chulg'amdan tashqari, ko'pincha, ishga tushirish chulg'ami deb ataluvchi chulg'am ham o'raladi. Bu chulg'amlardagi toklarning fazasi o'zaro 90° ga yaqin burchakka farq qilishi uchun bir fazali motorni 10.32-rasm, *a* va *b* da ko'rsatilgan sxemalar bilan ishga tushiriladi. 10.32-rasm, *a* dagi sxemada bir fazali motorning ishga tushirish chulg'ami o'ramlari soni kam bo'lgan ingichka simdan tayyorlanib, uning aktiv qarshiligi asosiy chulg'amnikiga nisbatan katta, induktiv qarshiligi esa kichik bo'ladi. Shu sababli bu chulg'amlardagi toklar fazasi $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ ga farq qilib, statorida aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Demak, bunday motorni bevosita ishga tushirish mumkin.

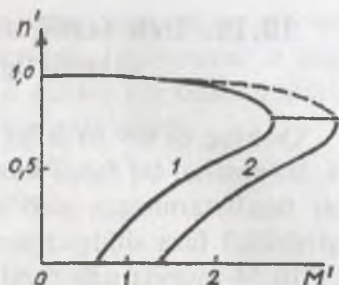
Ishga tushirish jarayoni tugagach, qisqa vaqt ishlashga hisoblangan ishga tushirish chulg'ami ITCH elektr tarmog'idan tugmacha *K* bilan ajratiladi. 10.32-rasm, *b* dagi sxemada ishga tushirish chulg'ami kondensator orqali elektr tarmog'iga ulanadi. Bunda ishga tushirish jarayoni tugagach ham, ishga tushirish chulg'ami kondensator orqali elektr tarmog'iga ulanganicha qoladi. Normal rejimda ham statoridagi ikkita chulg'am bilan ishlovchi motorlar ikki fazali asinxron



10.32-rasm.

a — bir fazali; *b* — ikki fazali asinxron motorlarni ishga tushirish sxemalari.

motorlar deyiladi. Umuman, bir fazali motorlarning texnik iqtisodiy ko'rsatkichlari uch fazaliga nisbatan ancha past bo'ladi. Haqiqatan Φ_I va Φ_{II} magnit oqimlardan bir fazali motor rotorida hosil bo'luvchi quvvat isroflari uch fazali motornikiga nisbatan deyarli ikki marta katta bo'ladi. Aylantiruvchi momentning qiymati $M_I - M_{II}$ yoki $M_{II} - M_I$ bo'lgani uchun motorning o'ta yuklanish qobiliyati ancha past bo'ladi (10.31-rasm). Kondensatorli, ya'ni



10.33-rasm. Kondensatorli (ikki fazali) motorning mexanik xarakteristikallari.

ishga tushirish chulg'amiga kondensator kiritilgan motorlarda $\eta = 0,6 \div 0,75$, $\cos \varphi = 0,8 \div 0,95$ bo'lib uch fazali motorlarnikiga yaqinroqdir. Ammo bunday motorning ishga tushirish momenti kichik, ya'ni $M_{isht} = 0,3 M_n$ bo'ladi. (10.33-rasm, 1 egri chiziq). Kondensatorli motorda M_{isht} ni oshirish uchun ishga tushirish chulg'amidagi S sig'imli kondensatorga parallel qilib S_{isht} ulanadi. Bunda motorning mexanik xarakteristikasi 10.33-rasmdagi 2 egri chizig'i bilan ifodalanadi. Kondensatorli motordagi kondensatorning sig'imi nominal yuklama rejimiga hisoblangan bo'lib, uning qiymati $C = 0,05 P_n (\text{mk}\Phi)$ bo'ladi, bunda P_n — motorning nominal quvvati, W. Ammo kichik quvvatli motorlarni ishga tushirish uchun ham sig'imi ancha katta bo'lgan qimmatbaho kondensatorlar ishlatilishi sababli, ko'pincha, kondensatorsiz ishga tushiriladigan bir fazali motorlar qo'llaniladi.

Amalda magnit qutblari o'zgarmas tok mashinalaridagi singari ayon shakldagi tuzilishga ega bo'lgan bir fazali motorlar ham bo'lib, ularning magnit qutblariga kiygizilgan mis halqachalar ishga tushirish chulg'ami vazifasini o'taydi. Bunday motorlar uchun $\eta = 0,3$, $\cos \varphi = 0,4 \div 0,6$; $\lambda = 1,1 \div 1,2$ bo'lib, ulardan, ko'pincha, elektr patentfonlarida, kichik quvvatli ventilyatorlarda foydalaniladi. Hozirgi vaqtda xarakteristikasi ancha yaxshilangan bunday motorlar kir yuvish mashinalarida ham ishlatilmoqda. Umuman, bir fazali va kondensatorli motorlarning kichik quvvatlilaridan avtomatikada, turmushda keng tarqalgan sovitish qurilmalarida, kir yuvish va tikuv mashinalarida, magnitafon va shu kabilarda foydalaniladi. Bir fazali yuqori chastotali motorlar, bundan tashqari, o'rmon va qishloq xo'jaligida ishlatiladigan bir qancha qo'l asboblarda ham qo'llanilmoqda.

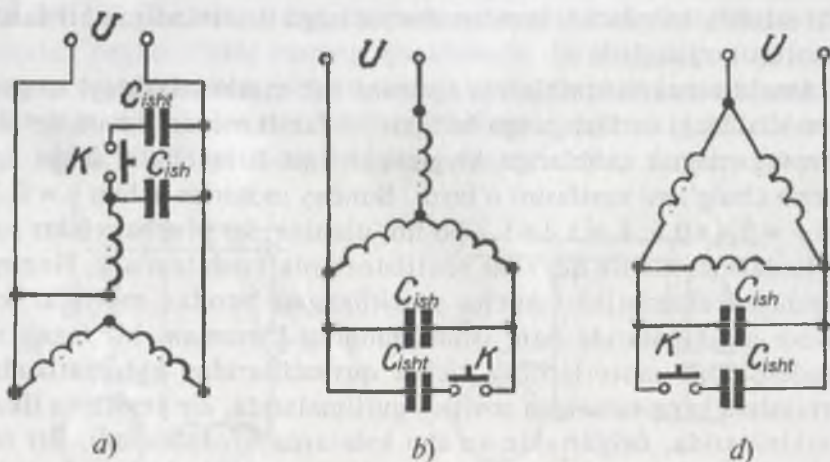
10.18. Uch fazali asinxron motorni bir fazali elektr tarmog'iga ulab ishga tushirish

Qishloq va suv xo'jaligi obyektlarida uch fazali asinxron motorlari, ko'pincha, bir fazali motor sifatida ishlatiladi. Uch fazali motorni bir fazali tarmoqqa ulab ishlatish uchun sig'im, aktiv va induktiv qarshilikli faza siljitgichlardan foydalaniladi.

10.34-rasmda uch fazali asinxron motorni sig'im qarshilikli faza siljitgich vositasida bir fazali tarmoqqa ulab ishlatish sxemalari ko'rsatilgan.

Sxemalardagi C_{ish} va C_{isht} tegishlicha ish va ishga tushirish kondensatorlarining sig'imlaridir. Agar motor salt ish rejimida yoki kichik yuklama bilan ishga tushiriladigan bo'lsa, C_{isht} ning keragi bo'lmaydi — K tugmachasi bosilmaydi. Nominal yuklamada esa dastavval K tugmachasi bosiladi, so'ngra motor elektr tarmog'iga ulanadi. Ishga tushirish jarayoni tugashi bilan K tugmachasi bo'shatilib, C_{isht} zanjirdan ajratiladi. Aks holda kuchlanish rezonansi sababli motorning faza chulg'ami nominaldan yuqori bo'lgan xavfli kuchlanish ta'sirida qoladi.

Hozir kichik va o'rta quvvatli qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlar sig'im qarshilikli faza siljitgich bilan birgalikda УАД seriyada, ya'ni universal uch va bir fazali elektr tarmoqlaridan ishlashga mo'ljallanib chiqarilmoqda.



10.34-rasm. Uch fazali asinxron motorlarini bir fazali elektr tarmog'iga ulab ishga tushirish sxemalari.

Bir fazali tarmoqdan ishlaydigan uch fazali motorning quvvati nominal quvvatning $60 \div 80\%$ iga teng bo'ladi. 10.34-rasm, *a* dagi sxemaga binoan ishga tushiriluvchi motor uchun ish kondensatori-ning sig'imi quyidagi empirik formula bilan aniqlanadi:

$$C_{\text{isht}} = 2740 \frac{I_{\text{In}}}{U_{\text{In}}} \text{ mk}\Phi.$$

$$b \text{ sxemada } C_{\text{ish}} = 2860 \frac{I_{\text{In}}}{U_{\text{In}}} \text{ mk}\Phi,$$

$$v \text{ sxemada } C_{\text{ish}} = 4800 \frac{I_{\text{In}}}{U_{\text{In}}} \text{ mk}\Phi,$$

bu yerda I_{In} — uch fazali motorning nominal toki, A;

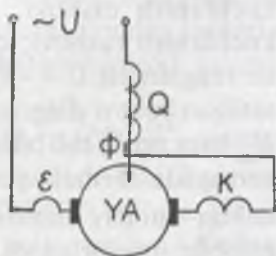
U_{In} — uch fazali motorning nominal kuchlanishi, V.

Ishga tushirish momentini nominal moment qiymatigacha ko'tarish uchun C_{isht} ($2,5 \div 3$) C_{ish} , maksimal momentgacha ko'tarish uchun esa $C_{\text{isht}} = (6 \div 8) C_{\text{ish}}$ olinadi.

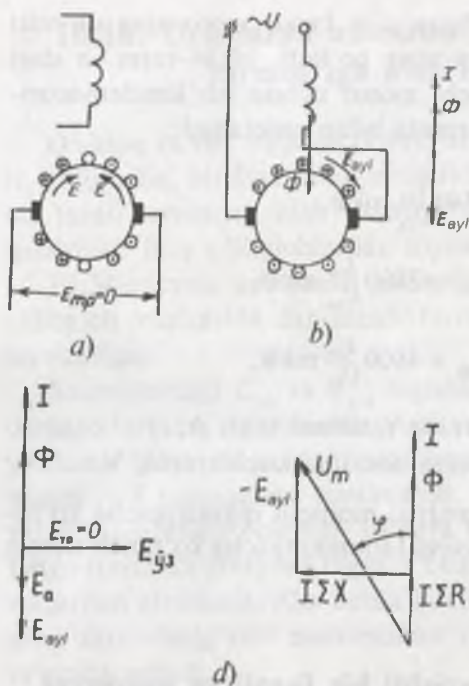
10.19. Ketma-ket qo'zg'atishli bir fazali va universal tipdagi kollektorli motorlar

10.35-rasmda ketma-ket qo'zg'atishli bir fazali kollektorli motorning ulanish sxemasi ko'rsatilgan.

Bu motorning statori ayon shakldagi qutblarga ega bo'lib, uning o'zaklariga ketma-ket qo'zg'atishli Q va kompensatsiyalovchi K chulg'am-lari, qo'shimcha qutblarga esa E chulg'ami o'rnatiladi. Bir fazali kollektorli motorning rotori o'zgar-mas tok motorining yakoridan farq qilmaydi. Bunda ham yakor chulg'amiga ketma-ket ulangan qo'shimcha qutbning E chulg'ami kommutatsiyani yaxshilashga, kompensatsiyalovchi K chulg'ami esa yakor reaksiyasi ta'sirini kamaytirib, motor quvvat koeffitsiyentini oshirishga mo'ljallangan. Motor yakori va qo'zg'atuvchi chulg'amdan bir xil o'zgaruvchan oqim bir vaqtda o'zgarib, natijada bir tomonga yo'nalgan aylantiruvchi moment hosil bo'ladi. Kollektorli motorda hosil bo'lgan aylantiruvchi moment $2f$ chastota bilan pulsatsiyalanib, uning o'rtacha qiymati maksimal momentning yarmisiga



10.35-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli bir fazali kollektorli motorning ulanish sxemasi.



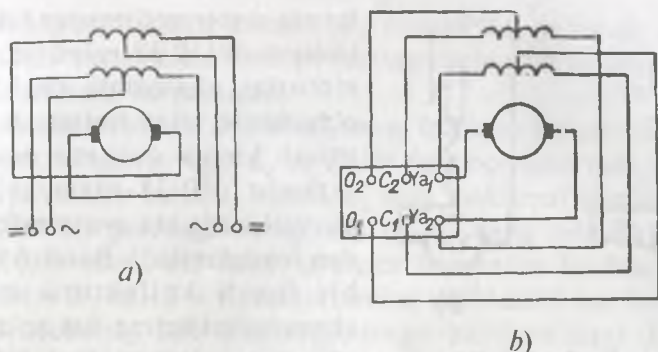
10.36-rasm. Bir fazali kollektorli motorning:

a va b — yakorida hosil bo'ladigan e.yu.k.lar;
d — vektor diagrammasi.

teng, ya'ni $M_{or} = \frac{M_{maks}}{2}$ bo'ladi. Motorning qo'zg'atuvchi chulg'amidagi tokdan hosil bo'luvchi asosiy magnit oqim ham pulsatsiyalanuvchi bo'lib, undan yakor chulg'amida transformatorli E_{Γ} va aylanishli E_{ayl} e.yu.k. lar hosil bo'ladi. Cho'tkalarni geometrik neytral bo'yicha o'rnatib E_{Γ} qiymatini nolga tenglashtiriladi va natijada motor ishiga E_{Γ} ning salbiy ta'siri yo'qotiladi (10.36-rasm, a). Shunday qilib, bir fazali kollektorli motorning aylanishida ham uning yakorida o'zgarmas tok motori yakoridagi singari faqat E_{ayl} hosil bo'ladi (10.36-rasm, b). E_{ayl} ning o'zgarish chastotasi elektr tarmoqdagi f_1 ga teng bo'lib, yo'nalishi esa yakor tokining yo'nalishiga teskari bo'ladi. Demak, ketma-ket qo'zg'atishli bir fazali kollektorli

motorning ishlash prinsipi ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motoriniki singari bo'ladi. 10.36-rasm, d da bir fazali kollektorli motorning vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Bunda ΣX — chulg'amlardagi o'zinduksiya ta'sirida hosil bo'lgan induktiv qarshiliklarda kuchlanish tushuvi; ΣR — chulg'amlardagi aktiv qarshiliklarda kuchlanish tushuvi; demak, bir fazali kollektorli motorning e.yu.k. lar tenglamasi $\bar{U} = -\bar{E}_{ayl} + \bar{\Sigma R} + \bar{\Sigma X}$ bo'ladi. 10.36-rasm, d da ko'rsatilgan vektor diagrammaga binoan motor chastotasini oshirish bilan E_{ayl} ham ortib, tok bilan kuchlanish orasidagi burchak farqining qiymati kamayadi. Demak, yuqori chastotali motorlarda $\cos\varphi$ yuqori bo'lgani uchun bunday motorlarni 8000 $\frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ ga qadar yuqori chastotalarga hisoblab tayyorlanadi.

Kichik quvvatli kollektorli motorlar kompensatsiyalovchi chulg'am va qo'shimcha qutblarsiz, ko'pincha, o'zgarmas va o'zgaruvchan toklarda ishlash uchun tayyorlanadi. Shu sababli bunday motorlar universal motorlar deb ataladi.



10.37-rasm. Universal kollektorli motorlarning ulanish sxemalari.

Universal kollektorli motorlar $5 \div 270$ Vt li qilib tayyorlanadi. Bunday motorlar elektr asboblari, ventilatorlar, chang so'ruvchi, tikuv mashinalari kabi mexanizmlarda qo'llaniladi. O'zgaruvchi tokda chulg'am qarshiliklari o'zgarmas tokdagiga nisbatan katta bo'lgani uchun motorni o'zgarmas tokka ulashda uning qo'zg'atuvchi chulg'amining hammasi zanjirga kiritlsa, o'zgaruvchan tokda esa bir qismi kiritiladi (10.37-rasm). Motor bunday ulanishda o'zgaruvchan va o'zgarmas tok bilan ham bir xil aylantiruvchi moment hosil qilib ishlaydi.

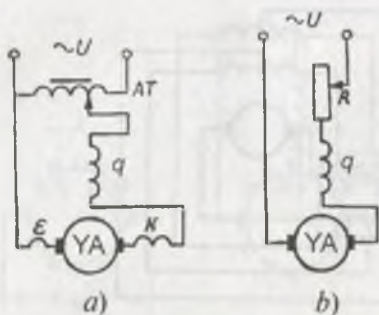
10.37-rasm, a da 0,2 va 0,3 gabaritdagi YJl seriyali universal kollektorli motorlarning, 10.37-rasm, b da 0,4; 0,5 va 0,6 gabaritli motorlarning ulanish sxemasi ko'rsatilgan.

0,4; 0,5 va 0,6 gabaritli motorlarning o'zgarmas tokda C_1 va C_2 , o'zgaruvchan tokda esa O_1 va O_2 qismalari elektr tarmog'iga ulanadi (10.37-rasm, b). Bunda motorning aylanish yo'nalishini o'zgartirish uchun yakor chulg'amidan chiquvchi qismalar o'rnini o'zaro almash-tirish kifoya.

Quvvati juda ham kichik bo'lgan universal motorlar o'zgaruvchan va o'zgarmas toklarda ham bir xil sxemada ulanadi. Bunday motorlar o'zgaruvchan tokda o'zgarmas tokdagiga nisbatan kamroq aylanti-ruvchi momentga ega bo'ladi.

YJl seriyadagi universal motorlar 2700, 5000 va $8000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ chastotalarga hisoblanib chiqariladi, ularning foydali ish ko'effitsiyenti $\eta = 0,22 \div 0,64$, quvvat ko'effitsiyenti esa $\cos \varphi = 0,7 \div 0,9$ bo'ladi. Yuqori chastotali motorlarning quvvat ko'effitsiyenti katta bo'ladi. Kollektorli universal motorlar YJl seriyadan tashqari MYH, YMT, ДТА—40 va KO—400 seriyalarida ham chiqariladi.

Quvvati katta bo'lmagan bir fazali kollektorli motorlarni elektr tarmog'iga bevosita ulab ishga tushirish mumkin. Katta quvvatli motor-



10.38-rasm. Bir fazali kollektorli motorlar chastotasini:

- a* — avtotransformator vositasida;
b — rezistor bilan kuchlanishni o'zgartirib rostdlash.

lar esa avtotransformator bilan ishga tushiriladi (10.38-rasm, *a*). Bunday motorlar chastotasi kuchlanishni o'zgartirish bilan rostlanadi. Buning uchun kichik quvvatli motorlarda rezistor (10.38-rasm, *b*), katta quvvatlilarda esa avtotransformator dan foydalaniladi. Bundan tashqari, bir fazali kollektorli motorlar chastotasini ketma-ket qo'zg'atishli o'zgaras tok motorlarida qo'llanilgan boshqa usullar bilan ham rostlash mumkin. Kollektorli motorlar yakor chulg'aming qisqa tutashtiriladigan seksiyalarida reak-

tiv e.yu.k. dan tashqari transformatorli e.yu.k. hosil bo'lishi natijasida cho'tkalar bilan kollektor orasida katta uchqunlanish sodir bo'ladi, bu ularning asosiy kamchiliklaridan hisoblanadi. Buning oqibatida motorni ishga tushirish va kommutatsiya sharoitlari yomonlashdi. Bunday motorlar kichik yuklamada ishga tushirilsa, ular chastotasining haddan tashqari ortib ketish xavfi ham bo'ladi. Chastotani keng miqyosda rostlash imkoni borligi sababli bir fazali kollektorli motorlardan turmush va ishlab chiqarishda keng foydalaniladi. Bunday motorlar elektr transportidan hatto o'zgaras tok motorlarni ham siqib chiqarmoqda.

10.20. Induktiv va faza rostlagichlari.

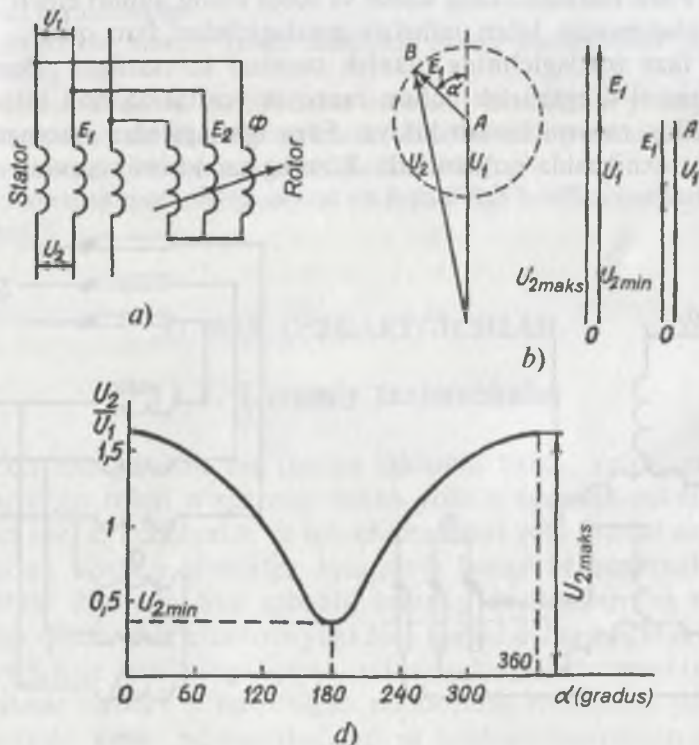
Uch fazali induktiv rostlagich

Elektr iste'molchilariga beriladigan kuchlanishni silliqqina rostlab turish uchun induktiv rostlagich qo'llaniladi. Induktiv rostlagich deb rotor chervyakli uzatma bilan tormozlanib qo'yilgan faza rotorli asinxron motorga aytiladi. Bunda qo'zg'almas holatdagi stator chulg'aming boshiga elektr tarmog'idan o'zgaras U_1 kuchlanish berilib, uning oxiridan esa rostlanuvchi kuchlanish olinadi. Chervyakli uzatma bilan burilish imkoniga ega bo'lgan rotor chulg'amiga ham kuchlanish beriladi (10.39-rasm, *a*). Rotor chulg'amiga berilgan uch fazali tokdan aylanuvchi magnit oqim hosil bo'lib, uning ta'sirida stator va rotor chulg'amlarida E_1 va E_2 e.yu.k. lar hosil bo'ladi. Demak, induktiv rostlagichning chiqishidagi U_2 kuchlanish U_1 va E_1 larning

geometrik yig'indilaridan iborat (10.39-rasm, *b*), ya'ni $\bar{U}_2 = \bar{U}_1 + \bar{E}_1$ bo'ladi. 10.39-rasm, *b* da induktiv rostlagichning bir fazasiga tegishli vektor diagramma ko'rsatilgan.

Stator va rotor chulg'ami o'qlarining fazodagi holati mos bo'lsa, ularda hosil bo'lgan e.yu.k. E_1 va E_2 lar faza bo'yicha mos, ya'ni bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Bunda U_2 ning maksimal qiymati olinib, rotor 180 elektr gradusga burilganda esa U_2 ning minimal qiymati olinadi (10.39-rasm, *b*). Rotor α elektr burchakka burilsa, U_2 ning qiymati $OA = U_1$ va $AB = E_1$ vektorlarning yig'indisi bilan aniqlanadi. Demak, rotorning 360 elektr gradusga burilganidagi E_1 va U_1 vektorlarining oxiri A markazdan BA radiusi bilan chizilgan aylanani ifodalaydi. 10.39-rasm, *d* da $\frac{U_2}{U_1} = f(\alpha)$ egri chizig'i ko'rsatilgan.

U_2 kuchlanishning fazasi U_1 nikidan farq qilgani sababli (10.39-rasm, *b*), induktiv rostlagichni transformator bilan parallel ulab ishlatish mumkin emas.

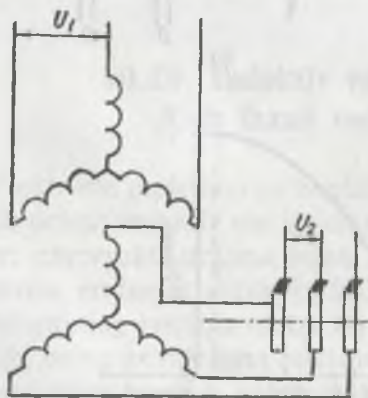


10.39-rasm. Induktiv rostlagich:

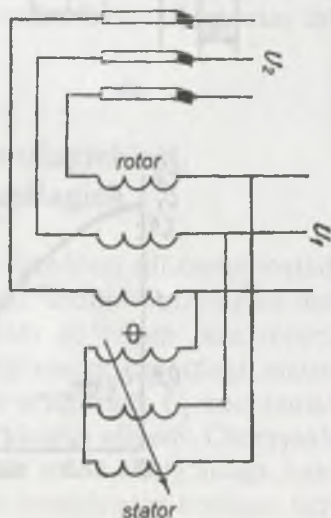
a — ulanish sxemasi; *b* — vektor diagrammasi; *d* — $\frac{U_2}{U_1} = f(\alpha)$ egri chizig'i.

Bizning sanoatimiz quvvati 1000 kVA dan ortiq yuqori kuchlanishli (10 kV gacha) MA-195 tipidagi hamda quvvati 100 kVA gacha bo'lgan past kuchlanishli АИ-61 va АИ-62 tipidagi induktiv rostlagichlarni chiqaradi. Induktiv rostlagichlar, ko'pincha, laboratoriya va avtomatikadagi sxemalarda kuchlanishni silliqqina rostlash uchun qo'llaniladi.

Induktiv rostlagich sifatida amalda, ko'pincha rotor tormozlanib qo'yilgan faza rotorli asinxron motor ishlatiladi. Bunda rostlanuvchi U_2 kuchlanish rotor chulg'amidan olinadi (10.40-rasm), uning ishlash prinsipi zavodda maxsus ishlangan induktiv rostlagichdan farq qilmaydi. Bir fazali induktiv rostlagich ham tormozlanib qo'yilgan asinxron motordan yasaladi, ammo bunday qurilmalar amalda kam uchraydi. Faza rostlagich ham rotor chervyakli uzatma bilan tormozlanib qo'yilgan faza rotorli asinxron mashinadan iborat bo'ladi. Bunday rostlagich bilan rotor chulg'amidan olinadigan kuchlanish U_2 fazasini stator chulg'amiga beriladigan U_1 fazasiga nisbatan o'zgartiriladi. Faza rostlagichning stator va rotor chulg'amлари elektr usulda o'zaro ulanmasligi bilan induktiv rostlagichdan farq qiladi. 10.41-rasmda faza rostlagichning ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda U_2 ning fazasini o'zgartirish uchun maxovik vositasida qo'l bilan yoki motor bilan rotorni burish kifoya. Faza rostlagichlar avtomatika va o'lchash texnikasida qo'llaniladi. Bizning sanoatimiz quvvati 1 kVA



10.40-rasm. Faza rotorli asinxron motordan induktiv rostlangich sifatida foydalanish sxemasi.



10.41-rasm. Faza rostlagichning ulanish sxemasi.

ФР tipdagi hamda 7,5 va 15 kVA bo'lgan ФРО tipdagi faza rostlagichlarni ishlab chiqarmoqda. ФРО tipdagi faza rostlagichlar rotorini burish jarayoni elektr motori bilan bajarilishi sababli ularni masofadan boshqarish imkoni ham bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Asinxron motorda aylanuvchi magnit maydoni qanday hosil bo'ladi, uning aylanish tezligi va yo'nalishi qanday rostlanadi?
2. Asinxron motorlarini ishlash prinsipini tushuntiring.
3. Asinxron motorlari tuzilishini tushuntiring va qisqa tutashtirilgan hamda faza rotorli asinxron motorlar haqida ma'lumot bering.
4. Asinxron motoridagi sirpanish tushunchasi haqida gapirib bering.
5. Asinxron motori nominal tokini aniqlash formulasini yozing va uning ishga tushirish tokini nominalga nisbatan necha marta katta bo'lishini tushuntiring.
6. Qisqa tutashtirilgan va faza rotorli asinxron motorlarini ishga tushirish usullarini tushuntiring.
7. Asinxron motori ishga tushirish tokini kamaytirish usullarini tushuntiring.
8. Asinxron motori aylantiruvchi momenti formulasini yozing.
9. Asinxron motorining mexanik tavsifini uning soddalashtirilgan formulasi asosida hisoblab qurishni tushuntiring.
10. Asinxron motorining quvvat va foydali ish koeffitsiyentlari qanday aniqlanadi?

XI BOB. O'ZGARTGICHLAR

11.1. Umumiy tushunchalar

Elektr energiyasini bir turdan ikkinchi turga, ya'ni, masalan, o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka yoki o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka, kuchlanish va tok chastotasini yoki fazalar sonini bir qiymatdan boshqa qiymatga aylantirib beruvchi qurilmalar o'zgartgichlar deyiladi. Shu sababli, bunday qurilmalarning mo'ljallanishiga qarab, tok, chastota yoki faza sonini o'zgartgichlar bo'ladi. O'zgartgichlar tuzilishiga qarab aylanuvchi (elektr mashinali) va qo'zg'almas (statik), o'zgartirilgan miqdorning rostlanishi yoki rostlanmasligiga qarab boshqariladigan va boshqarilmaydigan bo'ladi. O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirib beruvchi o'zgartgich to'g'rilagich, o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylantiruvchisi esa inverter deyiladi.

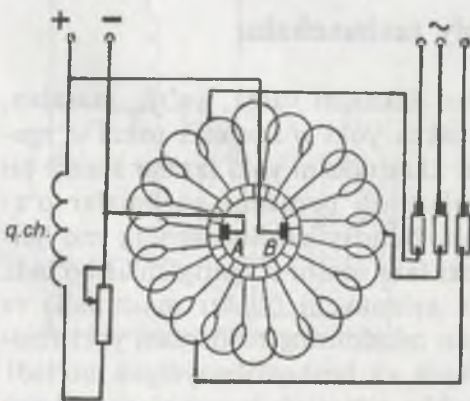
Ba'zi o'zgartgichlarni to'g'rilagich va invertor sifatida ham ishlatish mumkin. Ma'lumki, elektr energiyasi bizdagi hamma stansiyalarda chastotasi 50 H bo'lgan o'zgaruvchan tok sifatida ishlab chiqariladi. Ammo, elektroliz, elektrometallurgiya, temir yo'l transporti va ba'zi stanoklar elektr yuritmasidagi motorlar, akkumulator batareyalarini zaryadlash va shu kabilar uchun o'zgarvas tok talab qilinsa, elektrotermiya va yuqori chastotali elektr yuritma motorlari uchun yuqori chastotali tok talab qilinadi. Avtomatlashtirilgan o'zgarvas va o'zgaruvchan tok elektr yuritmalarida to'g'rilangan kuchlanishi rostlanadigan boshqariluvchi tok o'zgartgichlar va chastotasi rostlanadigan boshqariluvchi chastota o'zgartgichlari qo'llaniladi.

Bunday o'zgartgichlardan ta'minlanuvchi elektr motorining chastotasi keng miqyosda rostlanib, uning mexanik xarakteristikasini talabga muvofiq ravishda o'zgartirish imkoni bo'ladi. Avtomatika va turli o'zgartgich sxemalarida faza sonini o'zgartiruvchi qurilmalar ham keng qo'llaniladi.

11.2. Tok turi va chastota qiymatini o'zgartiruvchi elektr mashina o'zgartgichlar

Elektr mashina o'zgartgichlar, umuman, asinxron, sinxron va o'zgarvas tok motorlari bilan aylantiriluvchi o'zgarvas yoki o'zgaruvchan tok mashinalaridan iborat bo'ladi. Turli kuchlanishga ega bo'lgan o'zgarvas tokni olish uchun motor-generator deb atalgan agregatdan foydalaniladi.

Amalda keng tarqalgan bunday agregat asinxron yoki sinxron motor valiga mufta bilan tutashtirilgan va u bilan aylantiriluvchi o'zgarvas tok generatoridan iboratdir.



11.1-rasm. Bir yakorli tok o'zgartgichning sxemasi.

O'zgaruvchan tokni o'zgarvas tokka aylantirish uchun bir yakorli tok o'zgartgichi deb ataluvchi o'zgartgich ham qo'llaniladi. Yakor valiga kollektor va halqalar o'rnatilgan o'zgarvas tok mashinasidan iborat bo'lgan bunday

o'zgartgichdan invertor sifatida foydalanish ham mumkin (11.1-rasm). O'zgartgich yakoriga o'zgarmas tok berilsa, u o'zgarmas tok motori sifatida ishlab, uchburchak sxemasi bilan ulangan yakor chulg'ami va unga ulangan halqalar orqali o'zgaruvchan tok olinadi. Bunda halqalar soni olinadigan o'zgaruvchan tokning fazalar soniga teng, ya'ni masalan, olti fazali tok olish uchun yakor valiga oltita halqa o'rnatish lozim bo'ladi.

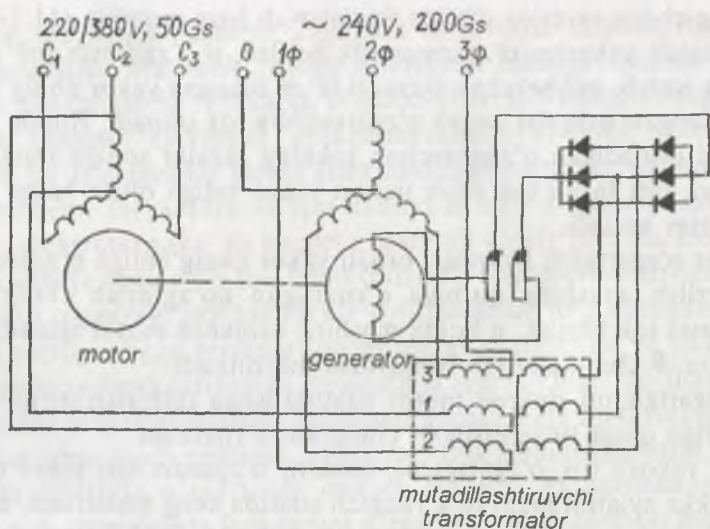
Agar o'zgartgich halqalari orqali yakor chulg'amiga o'zgaruvchan tok berilib, mashina qutbiga o'rnatilgan qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok berilsa, u holda mashina asinxron motor sifatida aylanib *A* va *B* cho'tkalardan o'zgarmas tok olinadi.

O'zgartgichni sinxron motor sifatida ishga tushirish uchun uning qutblariga qisqa tutashtirilgan chulg'am o'rnatiladi.

Bir yakorli tok o'zgartgichi, asosan, o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantiruvchi to'g'rilagich sifatida keng ishlatiladi. Bunday o'zgartgichdan olinadigan o'zgarmas tok kuchlanishini rostlash uchun halqalar orqali beriladigan o'zgaruvchan tok kuchlanishini avtotransformator yoki induktiv rostlagichlar bilan rostlash lozim bo'ladi. Ammo bunda ham $U_{\phi} = \frac{\sin \frac{\pi}{2}}{\sqrt{2}} = U_1$ bo'lgani uchun kuchlanishni keng miqyosda rostlab bo'lmaydi. Bu esa o'zgartgichning asosiy kamchiliklaridan hisoblanib, ishga tushirish jarayonining murakkabligi esa uning yana bir kamchiligi hisoblanadi. Shu sababli bunday o'zgartgichlardan kam foydalaniladi.

ПЧ-5 tipli chastota o'zgartgich

Qishloq xo'jaligida, ko'pincha ПЧ-5 tipli chastota o'zgartgichdan foydalaniladi. Bunday o'zgartgich chastotasi 50 H li elektr tarmog'iga ulangan asinxron motor bilan aylantiriluvchi sinxron generatoridan iborat bo'lib, bu generatordan chastotasi 200 H bo'lgan o'zgaruvchan tok olinadi. Sinxron generatorni qo'zg'atish uchun maxsus uch chulg'amli mo'tadillashtiruvchi transformatoridan ta'minlanuvchi selenli to'g'rilagich qo'llaniladi. Transformatorning birlamchi 1 chulg'ami asinxron motorning biror fazasiga ulangan bo'lib, 2 va 3 chulg'amlari esa sinxron generatorning stator chulg'amlariga ketma-ket ulanadi (11.2-rasm). Transformatorning yulduz sxemasi bilan ulangan ikkilamchi chulg'amidan olingan past kuchlanish selenli to'g'rilagichga beriladi. Demak, sinxron generatordagi yuklama tokining ortib borishi bilan transformatorning 2



11.2-rasm. PCY-5 tipli chastota o'zgartichning sxemasi.

va 3 chulg'amlaridagi tok ham ko'payadi. Natijada selenli to'g'ri-lagichga beriladigan kuchlanish va, demak, generator rotoridan o'tadigan qo'zg'atish toki ham ko'payadi. Yuklama ko'payishi bilan qo'zg'atish toki ham ko'payishi sababli sinxron generatorning kuchlanishi o'zgarmas bo'lib, berilgan qiymatda saqlanadi.

O'zgartich agregatidagi asinxron motor bir juft qutb, generator rotorida esa to'rt juft qutbga hisoblangani sababli generator statoridan 200 H chastotali elektr toki olinadi. Haqiqatan, generator rotorida $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ chastota bilan aylantirilsa, u holda statordan olinadigan elektr tokining chastotasi $f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{4 \cdot 3000}{60} = 200 \text{ H}$ bo'ladi.

Nominal yuklamada asinxron motordagi sirpanish sababli o'zgartichdan olinadigan chastota qiymati 200 H emas, balki 194 H ga teng bo'ladi. PCY-5 tipli chastota o'zgartichning quvvati $P = 5 \text{ kW}$, foydali ish koeffitsiyenti $\eta = 0,75$ bo'lganda yuklamaning o'zgarishiga qaramay generator kuchlanishi, avtomatik ravishda, berilgan 240 voltga teng yoki unga nisbatan $\pm(5 \div 8)\%$ farqida saqlanadi.

PCY-5 tipli chastota o'zgartichdan elektr arra, elektr butagich va shu kabi qo'l asbob motorlarining yuqori chastotali elektr energiyasi bilan ta'minlashda foydalaniladi.

И-75 tipli asinxron chastota o'zgartgich

Asinxron chastota o'zgartgich juft qutblar soni $p = 1$ bo'lgan asinxron motori bilan aylantiriluvchi juft qutblar soni $p = 3$ bo'lgan faza rotorli asinxron generatordan iborat bo'lib, undan mollar junini qirquvchi mashinalarda qo'llanuvchi elektr motorini yuqori chastotali elektr energiyasi bilan ta'minlashda foydalaniladi. O'zgartgichdagi motor va generatorning stator chulg'amlari chastotasi 50 H, kuchlanishi 380 V bo'lgan elektr tarmog'iga 11.3-rasmda ko'rsatilgan sxema asosida ulanadi. Bunda motor va generator statorlarida hosil bo'luvchi magnit maydonlari qarama-qarshi tomonlarga aylanib, generatorning rotorini zanjiridan kuchlanishi 36 volt, chastotasi esa 200 H bo'lgan o'zgaruvchan tok olinadi. Haqiqatan, statorning magnit maydonga nisbatan teskari tomonga aylanayotgan generator rotorida hosil bo'lgan e.yu.k. ning chastotasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$f_2 = f_1 \frac{n_1 + n_2}{n_2}$$

bunda f_2 — generator rotoridagi e.yu.k. ning chastotasi, H;

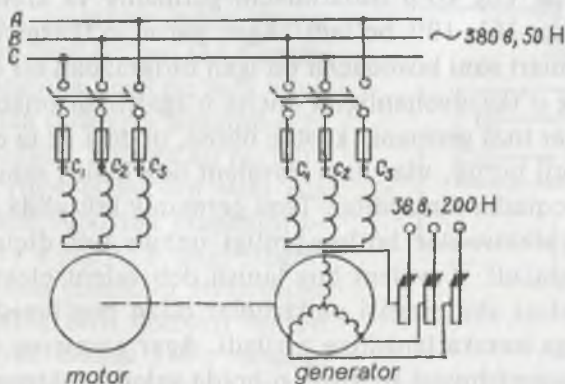
f_1 — elektr tarmog'idagi chastota, H;

n_1 — generator rotorining aylanish chastotasi, $\frac{\text{ayl}}{\text{min}}$;

n_2 — generator statoridagi aylanuvchi magnit maydonning aylanish chastotasi, $\frac{\text{ayl}}{\text{min}}$.

Demak, elektr tarmog'idagi chastota $f_1 = 50$ H bo'lsa,

$$f_2 = f_1 \frac{n_1 + n_2}{n_2} = 50 \frac{3000 + 1000}{1000} = 200 \text{ H bo'ladi.}$$



11.3-rasm. И-75 tipli asinxron chastota o'zgartgichning prinsipial sxemasi.

Shunday qilib, jun qirquvchi mashina uchun sinxron tezligi $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 200}{1} = 12000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$, kuchlanishi esa $U = 36 \text{ V}$ bo'lgan, ya'ni yuqori tezlik va past kuchlanishli asinxron motordan foydalanib, bu asbob og'irligini 1,75 kg gacha kamaytirishga erishildi. Keyingi paytlarda, foydali ish koeffitsiyenti nisbatan kichik, narxi yuqori, gabariti katta, ishlash ishonchliligi past bo'lgan elektr mashina o'zgartgichlarni ion va yarim o'tkazgichli asboblardan tashkil topgan statik o'zgartgichlar bilan siqib chiqarilmoqda.

11.3. Yarim o'tkazgichli statik chastota o'zgartgichlar

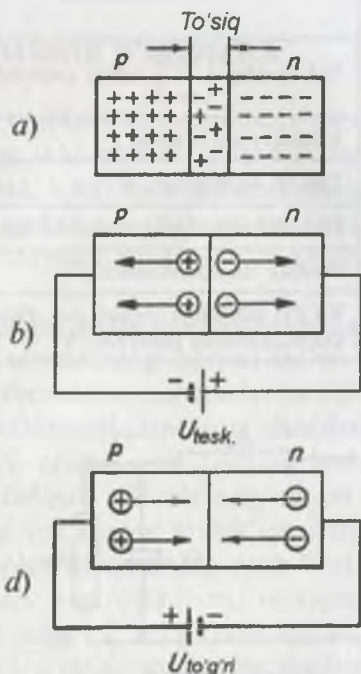
Statik o'zgartgichlar bilan tanishishdan ilgari yarim o'tkazgichlarning tuzilishi va xususiyatlarini bir oz esga olamiz.

Yarim o'tkazgich deb solishtirma qarshiligi metallnikidan katta, ammo dielektriknikidan kichik bo'lgan qattiq jismga aytiladi. Solishtirma qarshilik esa jismning tuzilishi, ya'ni atomdagi elektronlarning joylanish strukturasi bog'liq bo'ladi.

Ma'lumki, qattiq jismning har bir atomi musbat zaryadga ega bo'lgan yadro va uning atrofida katta chastota bilan aylanadigan manfiy zaryadli elektronlardan iborat. Bu elektronlarning yadroga yaqin bo'lgan orbitalarda joylashganlari yadro bilan mahkam bog'langani uchun undan uzoqlasha olmaydi, uzoqdagilari, ya'ni jismning valentligini ifodalaydiganlari esa yadro bilan kuchsiz bog'langanligi sababli ma'lum sharoitda, masalan, issiqlik energiyasining ta'sirida undan osongina uzoqlashishi va hatto undan ajralib erkin elektronlarga aylanib qolishi ham mumkin. Uy haroratidagi 1 sm^3 misda erkin elektronlar soni 10^{22} bo'lsa, eng ko'p ishlatiluvchi germaniy va kremniy yarim o'tkazgichlarida $10^5 \div 10^{11}$ bo'ladi. Agar yarim o'tkazgich tarkibiga valent elektronlari soni boshqacha bo'lgan birikmadan bir oz kiritilsa, u holda uning o'tkazuvchanligini ancha o'zgartirish imkoni olinadi. Haqiqatan, agar toza germaniy kristali olinsa, undagi 32 ta elektrondan to'rttasi valentli bo'lib, ular ham kovalent bog'lanish sababli o'z orbitalaridan uzoqlasha olmaydilar. Toza germaniy kristalida erkin holatidagi valent elektronlar bo'lmaganligi uchun uni dielektrik yoki izolator deb ataladi. Kovalent bog'lanish deb valent elektronlarning qo'shni atomdagi shu singari elektronlar bilan bog'lanishda bo'lib, ular bilan birga harakatlanishiga aytiladi. Agar germaniy kristaliga 5 valentli surma qorishmasi kiritilsa, u holda valent elektronlardan biri kovalent aloqaga ega bo'lmay, erkin holda qoladi. Natijada germaniy

dielektrigi yarim o'tkazgichga aylanadi. Kristall holdagi dielektrikka qo'shilib, undan erkin elektron hosil qiladigan birikma, masalan, surma donor deb ataladi. Donor birikmali yarim o'tkazgich n -tipli yarim o'tkazgich deyiladi. Agar germaniy kristaliga, masalan, uch valentli indiy birikmasi kiritilsa, u holda indiy atomi o'zidagi valent elektronlar bilan uch juft kovalent bog'lanish hosil qiladi. Bunda indiy atomi to'rtinchi juft kovalent bog'lanishga yetishmagan bir valent elektronni qo'shni germaniy atomidan tortib oladi. Germaniy atomidagi valent elektrondagi bo'shab qolgan joy teshik deyiladi. Demak, teshikni miqdor jihatdan elektron zaryadiga teng, lekin musbat zaryadga ega bo'lgan erkin zarracha deb atash mumkin. Shunga binoan, tashqi elektr maydoni ta'sirida bu teshiklarni maydon tomon siljitish mumkin. Teshik o'tkazuvchanlikni hosil qiladigan birikma, masalan, indiy akseptor deyiladi. Akseptorli yarim o'tkazgichni esa p -tipli yarim o'tkazgich deyiladi. Shunday qilib, germaniyga akseptor kiritilganda undagi elektr o'tkazuvchanlikning miqdori va ishorasi o'zgaradi. p -tipli yarim o'tkazgichning bu xususiyati avtomatika uchun yangi asboblarni yaratishda juda katta ahamiyatga ega.

Agar germaniy kristalining bir tomoniga donorli va ikkinchi tomoniga akseptorli birikmalar kiritilsa, u holda p -yarim o'tkazgichda teshiklarning, n -yarim o'tkazgichda esa, elektronlarning ko'plab to'planishi sababli teshiklarning p qismidan n ga, elektronlarning esa teskari tomonga diffuziyasi boshlanadi. Shunga ko'ra, p va n materiallarining bir-biriga tutashgan joyida teshik va elektronlardan iborat yupqa qatlam hosil bo'ladi (11.4-rasm, a). Bu qatlamning hosil bo'lishi bilan uning ta'sirida diffuziya jarayoni o'z-o'zidan to'xtaydi. Shunga ko'ra, buni berkituvchi (to'siq) qatlam yoki p - n o'tish deyiladi. Agar tok manbaini p - n o'tishga 11.4-rasm, b dagi singari ulansa, u holda teshik va elektronlar tok manbaining turli qutblari tomon siljiy boshlaydi. Bunda p - n o'tishdagi tok hosil qiladigan zarrachalarning kamayishi sababli, to'siq qarshiligi juda



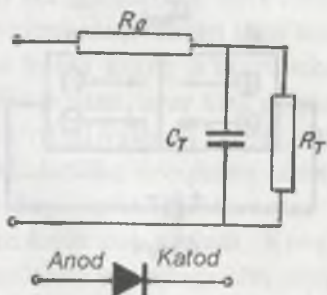
11.4-rasm.

a — p - n o'tishning sxemasi; p - n o'tishga tok manbaini; b — teskari; d — to'g'ri ulanish sxemalari.

ham katta qiymatga ega bo'lib qoladi. Shunga ko'ra, tok manbaining bunday ulanishi teskari ulanish deyiladi. Bunda teskari kuchlanish U_{tesk} qiymati katta bo'lishiga qaramay, to'siqdan juda ham kichik qiymatli tok o'tadi. Agar tok manbai p - n o'tishga 11.4-rasm, d dagi singari ulansa, u holda teshik va elektronlar to'siq tomon siljiydi. Bunda to'siq o'tkazuvchanligining qiymati keskin ravishda ko'payadi va shu sababli bunday ulanish to'g'ri ulanish deyiladi. To'g'ri ulanishda to'g'ri kuchlanish $U_{\text{to'g'ri}}$ qiymatining kichik bo'lishiga qaramay to'siqdan o'tadigan tokning qiymati nihoyatda katta bo'lishi mumkin. p - n o'tishni bir tomonlama o'tkazish, ya'ni ventil xususiyati sababli undan yarim o'tkazgichli to'g'rilagich sifatida foydalanish mumkin. O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirib beradigan yarim o'tkazgichli ikki elektrodli asbob (diod) — to'g'rilagich deb ataladi.

Sanoatda keng tarqalgan yarim o'tkazgichli diodlarning parametrlari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Parametrlar	Ventil turlari		
	selen	germaniy	kremniy
Tok zichligi $\left[\frac{\text{A}}{\text{sm}^2} \right]$ tabiiy sovutilishda	0,7	40	80
Majburiy sovutilishda	0,2	100	200
Teskari kuchlanish, V	25÷45	100÷150	400
Ishlash haroratining maksimal qiymati, grad	85	70	150
Foydali ish koeffitsiyenti, %	92	98,5	99,6
To'g'ri ulanishga tegishli p - n o'tishidagi kuchlanishning pasayishi, V	0,6	0,5	



11.5-rasm. Yarim o'tkazgichli diodning ekvivalent sxemasi va shartli belgisi.

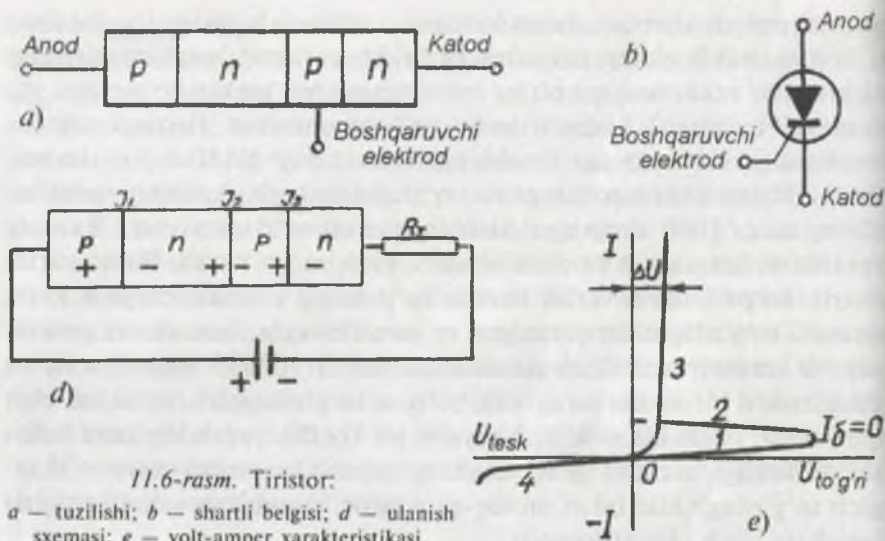
11.5-rasmda yarim o'tkazgichli diodning ekvivalent sxemasi va shartli belgisi ko'rsatilgan. Bunda R_0 — yarim o'tkazgichning p va n qismlaridagi umumiy qarshilik bo'lib, uning qiymati taxminan 1Ω ga teng bo'ladi; R_1 — to'g'ri va teskari ulanishlarda turli qiymatga ega bo'lgan p - n to'siq qarshiligi; S_1 — teskari ulanishdagi to'siq sig'imi. Shartli belgining cho'qqi tomoni ventilning o'tkazuvchi tomoni hisoblanadi. Agar yarim o'tkazgichli diodga yuqoridagi jadvalda ko'rsatilgan

normal teskari kuchlanishdan kattaroq kuchlanish, ya'ni U_{ish} berilsa, u holda kuchli elektr maydoni ta'sirida kovalent bog'lanishlardagi elektronlar erkin holatga o'tib, tok qiymatining keskin ko'payishi va, demak, "teshilish" hodisasi sodir bo'lishi mumkin. Hozirgi paytda, sanoatimiz 350 amperga hisoblangan germaniy diodlarini o'zlashtirib, 1000 amperga hisoblanganini o'zlashtirmoqda, kremniy ventillarning esa, 1000 amperga hisoblanganini o'zlashtirgan. Bunday ventillarni ketma-ket va parallel ulab, bitta yarim davrli, ikkita yarim davrli, ko'priksimon va bir hamda ko'p fazali sxemalarda juda katta quvvatli to'g'rilagichlar yaratilgan va yaratilmoqda. Sanoatimiz germaniy va kremniy ventillari asosida tok kuchi 100000 ampergacha va kuchlanishi bir necha ming volt bo'lgan to'g'rilagichlarni ishlab chiqarmoqda. Ishda ishonchliligi, foydali ish koeffitsiyentining katta bo'lishi, tezkorligi, ixchamligi va yengilligi sababli kremniyli yarim o'tkazgich to'g'rilagichlar bilan motor-generator, simobli va selenli to'g'rilagichlar siqib chiqarilmoqda.

11.4. Tiristor va tiristorli chastota o'zgartgich

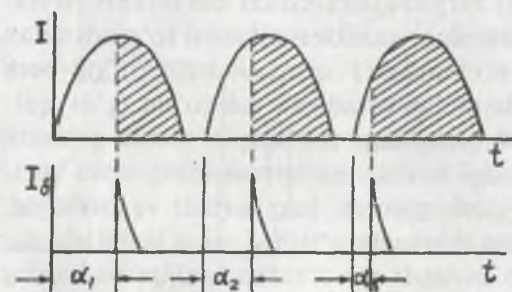
Kremniy kristallaridan iborat $p-n-p-n$ tuzilishli boshqariluvchi diod tiristor deb ataladi. Bunday diodning ikki chetki qatlamlariga biriktirilgan elektrodlarini — anod va katod, ichki baza qatlamdavisini boshqaruvchi elektrod deyiladi. 11.6-rasmda: a — tiristor tuzilishi, b — uning shartli belgisi, d — ulanish sxemasi va e — volt-amper xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Agar anod elektrodiga uning katodiga nisbatan musbat potensial berilgan bo'lsa, u holda chetki J_1 va J_3 o'tishlardagi zaryad tashuvchilar to'g'ri, markaziy J_2 dagi zaryad tashuvchilar esa teskari yo'nalishda siljiydi. Tiristorning voltamper xarakteristikasini to'rt qismdan iborat deb ko'rsatish mumkin, bunda: I -qism — tiristorning berk holati; tiristorning bu holatida undan o'tadigan tok to'siq (g'ov qatlam) sababli teskari ulanish (4-qism) dagi tok singari kichik qiymatli bo'ladi. Anod va katod orasidagi kuchlanish qiymatining ortib borishi bilan markaziy o'tishdagi tok qiymati ham ortadi va, nihoyat, kuchlanishning U_{maks} qiymatida markaziy o'tish J_2 ning teshilishi sababli tiristordan o'tadigan tok qiymati o'z-o'zidan xarakteristikaning ikkinchi qismi bo'yicha ortib, so'ngra uning uchinchi qismiga o'tadi. Bunda tiristor ochilgan hisoblanadi. Ochilgan tiristorning ichki qarshiligi juda ham kichik bo'lganligi sababli undan o'tadigan tok qiymati qancha katta bo'lishidan qat'iy nazar, hosil bo'ladigan kuchla-



nish pasayishi $\Delta U = 1 \div 2$ volt dan ortmaydi. Agar anodga manfiy potensial berilsa, u holda chetki p - n o'tishlar teskari ulanishga ega bo'lib, to'siq hosil bo'ladi va natijada xarakteristikaning 4-qismi olinadi. Agar tiristorning boshqarish elektrodiga, uning katodiga nisbatan musbat potensial berilsa, u holda markaziy o'tish J_2 ning "teshilishi" kamroq kuchlanishlarda sodir bo'ladi. Demak, boshqarish elektrodidan o'tadigan tok I_b qiymati va uning fazasini o'zgartirish bilan tiristorning ochilish jarayonini, tiratrondagi singari boshqarish mumkin.

Agar boshqarish toki I_b fazasini tiristor toki I ga nisbatan 180° gacha o'zgartirish mumkin bo'lsa, u holda yuklamadan o'tadigan to'g'rilangan tok qiymatini katta diapazonda rostlash imkoni olinadi.



11.7-rasm. Tiristor ochilish burchagi α ni o'zgartirish bilan undan o'tadigan to'g'rilangan tok qiymatini rostlash.

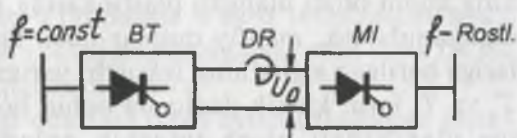
11.7-rasmda boshqarish elektrodiga beriladigan I_b toki fazasini, ya'ni tiristorning ochilish burchagi α ni o'zgartirish bilan undan o'tadigan tok I qiymatining shtrixlangan yuza bo'yicha rostlanishi ko'rsatilgan.

Tiristorning ochiq, ya'ni to'yingan holatida

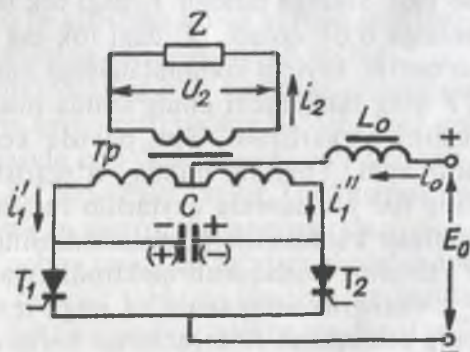
boshqarish toki $I_b = 0$ bo'lib qolsa ham, u uzoq vaqt ochiqligicha qolishi mumkin.

Shunga ko'ra, boshqarish elektrodi zanjiridagi kichik qiymatli signal bilan ochiq holatdagi tiristorni berk holatga o'tkazib bo'lmaydi. Ochiq holatdagi tiristorni anod zanjiridagi signal bilangina berkitish mumkin, bu esa uning kamchiligi hisoblanadi. Tiristorlarning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari juda katta, ya'ni $k_p = 10^4 \div 10^5$ bo'ladi. Masalan, tok manbaidagi e.yu.k. $E = 300$ V va tiristordan o'tayotgan tok 100 A bo'lsa, u holda yuklamadagi quvvat $P = 30$ kW bo'ladi (agar tiristorlardagi quvvat isrofini, uning qiymati kam bo'lganligi uchun hisobga olinmagan bo'lsa). Bunda tiristorni ochiq holatga o'tkazish uchun taxminan 0,15 W boshqarish quvvati P_b talab qilinadi. Agar $P_b \approx 0,15$ W bo'lsa, tiristorning kuchaytirish koeffitsiyenti $k_p = 2 \cdot 10^5$ bo'ladi.

Statik o'zgartgichlar ichida eng istiqbollisi kremniyli boshqariluvchi diod (tiristor) lar asosida yaratilgan chastota o'zgartgich hisoblanadi. 11.8-rasmda chastota o'zgartgichlaridan bir turining tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda boshqariladigan to'g'rilagich *BT* orqali berilgan chastotadagi o'zgaruvchan tok kuchlanishi o'rtacha U_0 qiymati rostlanadigan to'g'rilangan kuchlanishga aylantiriladi. To'g'rilangan U_0 kuchlanish mustaqil inverter *MI* ga uzatilib, u orqali chastotasi rostlanadigan o'zgaruvchan tok kuchlanishi olinadi. (10.38) ifodaga binoan chastotaning o'zgariishi bilan kuchlanishni ham ma'lum qonunda o'zgartirish zarur bo'lgani uchun *MI* ga beriladigan U_0 ning qiymati rostlanadigan bo'lishi kerak. Shuning uchun ham 11.8-rasmdagi sxemada to'g'rilagich sifatida boshqariluvchi to'g'rilagichdan foydalanilgan. Inverter orqali iste'molchiga chastotasi rostlanib turiladigan kuchlanish beriladi. 11.9-rasmda keng tarqalgan bir fazali mustaqil invertorning prinsiplial sxemasi



11.8-rasm. Tiristorli chastota o'zgartgichning tuzilish sxemasi.



11.9-rasm. Bir fazali mustaqil invertorning prinsiplial sxemasi.

tiristor T_1 va T_2 , statik kondensator C , transformator T va tekislovchi drossel L_0 dan iborat. Bunda kondensator C bilan tok kommutatsiyasi ta'minlanib invertor va yuklamaga reaktiv quvvat beriladi hamda U_2 ni yuqori garmoniklardan tozalanadi. Tokni bir ventildan ikkinchisiga uzatish jarayoni tok kommutatsiyasi deb ataladi. Bunda kondensator orqali kommutatsiyalanuvchi invertorning tashqi o'zgaruvchan tok manbaiga zaruriyati bo'lmaydi, L_0 drosseli bilan esa mustaqil invertorga beriladigan o'zgarmas tok qiymati tekislanadi hamda kondensator bilan reaktiv quvvatning o'zaro almashinib, kondensatorning normal sharoitda zaryadlanib turishi ta'minlanadi.

Mustaqil invertorning ishlash prinsipi

Birinchi T_1 ventilining boshqarish elektrodiga musbat potensial berilishi bilan u ochilib, o'zgarmas tok manbaidagi E_0 ta'sirida drossel, transformator, birlamchi chulg'aming chap tomoni va T_1 orqali i_1' toki o'ta boshlaydi.

Bunda T_p ning ikkilamchi chulg'amida i_2 toki hosil bo'ladi. Shu paytda transformator chulg'aming o'ng qismi orqali kondensatorni zaryadlovchi i_1'' toki o'ta boshlaydi. Bunda kondensatorning T_2 ning anodi bilan ulangan plastinkasida musbat, T_1 ning anodi bilan ulanganida esa, manfiy qutblar hosil bo'ladi. Boshqarish elektrodlariga berilgan signalning ikkinchi yarim davrida T_2 ochiladi. Bunda T_1 va T_2 larni kichik daqiqada ochiq holati sodir bo'lib, kondensator ular orqali qisqa tutashib qoladi. Kondensatorning qisqa tutashishidagi razryadlovchi (kommutatsiyalovchi) tokining yo'nalishi T_2 dagi ish tokiga mos va, demak, T_1 dagi ish tokiga teskari bo'ladi. Shunga binoan T_1 dagi tok tezda nolgacha kamayib, u berk holatga o'tib qoladi, T_2 dagi tok esa o'zining normal qiymatigacha ko'tarilib, keyingi kommutatsiyaga normal sharoit hosil qiladi. Bunda TP ning ikkilamchi chulg'amida hosil bo'lgan tok ham o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Shu paytda kondensator teskari zaryadlana boshlaydi. Tokning bunday o'zgarish jarayoni boshqarish signalining har bir davrida qaytarilib turadi. Shu sababli invertordan olinadigan kuchlanish U_2 chastotasining qiymati MI dagi ventil T_1 va T_2 larining boshqarish elektrodlariga beriladigan impuls chastotasi f_{imp} bilangina aniqlanadi va unga teng bo'ladi. Demak, tiristorlarning boshqarish elektrodlariga beriluvchi musbat signal chastotasini o'zgartirish bilan MI dan olinadigan o'zgaruvchan kuchlanish U_2 chastotasini rostlash imkoni bo'ladi.

12.1. Elektr mashinalar va transformatorlar o'ta qizishining asosiy sabablari

Elektr mashina yoki transformatorning umuman normadan ortiq qizib ketishiga, ya'ni o'ta qizishiga, ko'pincha va asosan, ularning nominalga nisbatan kattaroq yuklama toki bilan ishlashi sabab bo'ladir. Bundan tashqari, elektr mashinalar o'ta qizishining umumiy sabablari quyidagilardan iborat bo'lishi mumkin:

1) mashina chulg'amlari va boshqa qismlarining chang qatlami bilan qoplanishi sababli ulardagi issiqlikning tashqariga uzatilishi yomonlashadi (kamayadi);

2) mashinani shamollatib turuvchi ventilator uning valiga o'zining teskari tomoni bilan o'rnatilgan bo'lsa ham, mashina qismlaridagi issiqlikning tashqariga tarqalishi sustlashadi;

3) tashqi muhitning harorati 35° dan yuqori bo'lsa ham, mashinadagi issiqlik tashqariga kam tarqaladi;

4) elektr mashina yakori yoki rotorining nominal chastotaga nisbatan past chastota bilan aylanishida ham undagi havo almashinishi, ya'ni undagi issiqlikning tashqariga tarqalishi kamayadi;

5) mashina chulg'amining o'ramlarida o'zaro tutashishlar sodir bo'lib, ulardagi qisqa tutashish toklari nominalga nisbatan katta bo'lsa ham mashina qismlari o'ta qizishi mumkin;

6) nominalga nisbatan past chastota bilan aylantirilayotgan generatorlardan nominal kuchlanish olish maqsadida uning qo'zg'atish tokining ko'paytirilishi ham qo'zg'atuvchi chulg'amning o'ta qizishiga sabab bo'ladi;

7) mashina podshipnigining o'ta qizishiga uning yomon moylanishi yoki tasmaning normadan ortiqroq tortilishi sabab bo'ladi.

O'zgarmas tok mashinasi kollektorining o'ta qizishiga qoniqarsiz kommutatsiya hamda cho'tkaning qattiq materialdan bo'lishi yoki uni kollektorga qattiq bosilishi natijasida cho'tkalar ostida zo'r uchqunlanishning sodir bo'lishi sabab bo'ladi. Past quvvat koeffitsiyentiga ega bo'lgan yuklama bilan ishlaydigan sinxron generatorlaridagi magnitsizlantirish ta'sirini yo'qotish uchun uning qo'zg'atish chulg'amiga nominalga nisbatan kattaroq qo'zg'atish tokining berilishi natijasida rotor chulg'ami o'ta qizishiga boshqa tipdagi elektr mashinalarga taalluqli bo'lgan sabablardan tashqari quyidagilarni ham ko'rsatish mumkin:

1) elektr tarmog'idagi kuchlanishning nominalga nisbatan yuqori bo'lishi mashinaning po'lat qismidagi quvvat isrofining ko'payishi va, demak, uning o'ta qizishiga sabab bo'lishi mumkin;

2) nominal yuklamada ikki faza bilan ishlayotgan motorning faza toklarining qiymati nominalga nisbatan taxminan $\sqrt{3}$ marta katta bo'lib, uni o'ta qizitishi mumkin;

3) nominal yuklamada motorga beriladigan kuchlanishning qiymati nominalga nisbatan past bo'lsa, fazadagi toklarning qiymati nominalga nisbatan ortiq bo'lib, uni o'ta qizitishi mumkin;

4) yulduz sxema bilan ulanishi lozim bo'lgan motorni uchburchaklik sxema bilan ulansa, fazadagi kuchlanish va, demak, tok nominalga nisbatan $\sqrt{3}$ marta ortib, uni o'ta qizitishi mumkin.

Transformatorning o'ta qizishiga hamma elektr mashinalarga ta'alluqli sabablardan tashqari uning po'lat tunukalari (listlari) orasidagi yoki u listlarni bir-biriga zichlab tortib turuvchi bolt bilan listlar orasidagi izolatsiyaning yomonlashishi sabab bo'ladi. Bunda uyurma toklardan hosil bo'luvchi quvvat isrofi natijasida po'lat qismlardagi harorat shu darajagacha ko'tariladiki, hatto u boltni eritib yuborishi mumkin. Transformator bakidagi moy sathi pasayganda ham chulg'am o'ralgan po'lat o'zakning yog'dan tashqi qismining sovitilish sharoiti yomonlashib, transformator o'ta qizishi mumkin.

12.2. Elektr mashinalar dirillashining asosiy sabablari

Normal ishlab turgan elektr mashinada ham dirillash hodisasi kuzatiladi. Bunga turli-tuman mexanik va elektr hodisalar sabab bo'ladi. Agar turli aylanish chastotalarida ishlayotgan mashina dirillashidagi tebranish amplitudasining ikkilangan qiymati quyidagi jadvalda ko'rsatilgan ko'rsatgichlardan ortib ketmasa, ularni yo'l qo'yilgan darajadagi dirillash deyiladi.

Mashinaning minutiga aylanishlari soni	Yo'l qo'yiladigan dirillash, mm
750	0,12
1000	0,1
1500	0,08
3000	0,05

Dirillash natijasida mashinadagi ulanish joylari yemirilib, ular ishdan chiqishi hamda podshipniklar o'ta qizishi kuzatiladi. Elektr

mashina dirillashining mexanik sabablarining asosiysi quyidagilardan iborat bo'ladi:

- 1) aylanuvchi qismlarning muvozanat holatda bo'lmasligi;
- 2) bir valga ulanib ishlaydigan mashinalar valining bir-biriga noto'g'ri markazlanishi;

- 3) valning podshipnikka o'rnatiladigan joyi (bo'yinchasi) mashinaning fundamentga yomon mahkamlanishi.

Elektr mashina chulg'ami o'ramlarining o'zaro tutashib qolishida ham dirillash hodisasi sodir bo'ladi. Bunda qisqa tutashish toklaridan magnit asimmetriyasi hosil bo'lib, mashina statori bilan rotorining o'zaro tortishishi bir tekisda o'tmaydi va, demak, dirillash hodisasi vujudga keladi. Mashina rotor statorga nisbatan aniq markazlashtirilmaganda ham magnit asimmetriyasi vujudga kelib dirillash hodisasi ro'y beradi. Magnit asimmetriya natijasida kuchli dirillash hodisasi, asosan, o'zgaruvchan tok mashinalarida kuzatilib, o'zgarmas tok mashinalarida esa deyarli kuzatilmaydi. Dirillash sabablarini aniqlash uchun generatorlarni qo'zg'atish tokidan, motorlarni esa elektr tarmog'idan ajratiladi. Bundan so'ng o'z inersiyasi bilan aylanayotgan mashinada dirillash hodisasi kuzatilmasa, u holda, dirillashga magnit asimmetriyaning, aks holda esa mexanik nosozliklarning ta'siri aniqlanadi.

12.3. O'zgarmas tok generatorlarining asosiy nuqsonlari

O'zgarmas tok generatori quyidagi sabablarga ko'ra qo'zg'atilmasligi mumkin:

- 1) generator qutblarida qoldiq magnetizm yo'qolgan (ammo bunday holat kam uchraydi);

- 2) cho'tkalar geometrik neytral bo'yicha qo'yilmagani sababli o'z-o'zini qo'zg'atish uchun generatordagi kuchlanish yetarli bo'lmaydi;

- 3) yakorning teskari tomonga aylanishi yoki parallel qo'zg'atish chulg'amining yakorga noto'g'ri ulanishi natijasida qo'zg'atish chulg'amidagi tokdan hosil bo'lgan magnit oqimi qoldiq magnit oqimiga teskari yo'naladi. Bunday holda generatorni ishlatish uchun uning qo'zg'atish chulg'ami uchlarini yakorga o'zaro almashtirib ulash yoki yakorni teskari tomonga aylantirish kifoya;

- 4) kollektorga cho'tkalar yetarli kuch bilan bosilmasa yoki kollektor sirti iflos qatlam bilan qoplanib qolsa, kontakt qarshilik juda ham

ortib ketadi. Generatorning bunday nuqsonini aniqlash uchun cho'tkani bir oz ko'proq kuch bilan bosib, uning qo'zg'atilish yoki qo'zg'atilmashligini kuzatish kerak;

5) generatorning qo'zg'atish zanjirida uzilish bo'lsa, qo'zg'atish toki nolga tenglashib, mashina ishlamaydi;

6) yakor chulg'amida uzilish yoki uning o'ramlarida o'zaro tutashishlar bo'lsa, u holda ham generatorni qo'zg'atish imkoni bo'lmaydi;

7) qo'zg'atish chulg'ami zanjiridan rezistor qarshiligi chiqarilmaganligi sababli ham generatorni qo'zg'atish mumkin bo'lmaydi.

Ba'zi hollarda generator kuchlanishi nominalga nisbatan past bo'ladi. Bunga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

1) generator yakorining nominalga nisbatan past chastota bilan aylanishi;

2) cho'tkalar geometrik neytral bo'yicha o'rnatilmaganligi natijasida yakor chulg'aming parallel shoxobchalaridagi seksiyalarining bir qismida hosil bo'lgan e.yu.k. ning asosiy e.yu.k. ga qarshi yo'nalishligi;

3) qo'zg'atish chulg'ami zanjiridagi qarshilik kattaroq qiymatga ega va, demak, qo'zg'atish tokining kichik qiymatga egaligi;

4) yakor yoki qo'zg'atish chulg'ami o'ramlarida o'zaro tutashishlarning sodir bo'lishi;

5) aralash qo'zg'atishli generator chulg'amlarining ulanishi mos bo'lmasligi.

Cho'tkalar ostidagi uchqunlanishning normaldan yuqori bo'lishiga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

1) cho'tkalar neytral bo'yicha o'rnatilmagan;

2) mashina o'ta yuklanganda cho'tkalar ostidagi tok zichligi normaldagidan ortiq bo'lishligi;

3) kollektorga cho'tka bo'sh bosilganligi;

4) cho'tka noto'g'ri tanlanganligi;

5) yakor chulg'ami o'ramlarida o'zaro tutashishlar mavjudligi;

6) kollektor sirti iflos qatlam bilan qoplanganligi;

7) kollektorda katta yemirilish va shu kabi mexanik buzuvchiliklar borligi.

12.4. O'zgarmas tok motorlarining asosiy nuqsonlari

O'zgarmas tok motorining aylanmasligi yoki yomon aylanishiga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

1) saqlagichlar kuygan;

2) motorni elektr tarmog'iga ulaydigan o'tkazgichlarda, ishga tushirish rezistorida yoki mashina chulg'amlarining o'zida uzilish bor;

3) motorning parallel qo'zg'atish chulg'ami ishga tushirish rezistoridan keyin (12.1-rasm), ya'ni noto'g'ri ulangan;

4) cho'tkalar neytral bo'yicha o'rnatilmagan. Shu sababli, yakor chulg'ami parallel shoxobchalari seksiyalarining bir qismi qarama-qarshi qutblanishga ega bo'lib, bu seksiyalarning o'tkazgichlariga motor momentiga nisbatan teskari yo'nalgan kuchlar ta'sir etadi. Bunda motor yomon aylanib, cho'tkalar ostida kuchli uchqunlanish kuzatiladi;

5) qo'zg'atish chulg'ami zanjiridagi qarshilik haddan tashqari katta. Bunda qutblardagi magnit oqim kichik bo'lib, aylantiruvchi moment normadagiga nisbatan past bo'ladi;

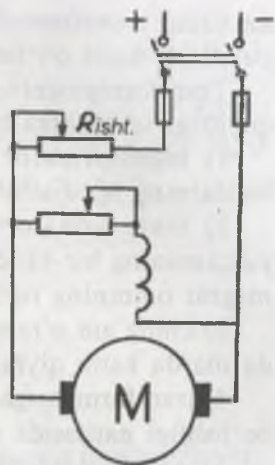
6) aralash qo'zg'atishli motorning qo'zg'atuvchi chulg'amlaridagi magnit oqimlar o'zaro qarama-qarshi bo'lsa, yuklama tokining ortib borishi bilan umumiy magnit oqim va, demak, aylantiruvchi moment kamayadi.

Nominal kuchlanish va yuklamada o'zgarmas tok motori chastotasining nominalga nisbatan past bo'lishiga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

1) qo'zg'atish chulg'ami zanjiridagi rezistor qarshiligi haddan tashqari kichik. Bunda magnit oqim katta qiymatga ega bo'lgani uchun chastota past bo'ladi;

2) cho'tkalar geometrik neytraldan birmuncha surilgan;

3) yakor chulg'amida yomon kontakt yoki uning o'ramlarida o'zaro tutashish bor.



12.1-rasm. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining noto'g'ri ulanish sxemasi.

12.5. Transformatorning asosiy nuqsonlari

Transformatorlar ishidagi nuqsonlarning asosiy sabablari: transformator ishlaganda uning po'lat o'zaklari guvillab turadi. Haqiqatan, po'lat o'zakning takrorlanib magnitlanishida uning zarrachalari goh o'zaro tortilishib siqilishida, goh itarilishib kengayishadi. Po'lat o'zak shaklining bunday o'zgarishlari uning boshlang'ich uzunligining yuz mingdan bir ulushini tashkil qilsa ham, ammo

natijada, transformatorni normal ishlashiga xos bo'lgan xarakterli guvillash hosil bo'ladi.

Transformatorning normal ishiga xarakterli bo'lmagan guvillash quyidagi sabablarga binoan sodir bo'lishi mumkin:

1) transformator po'lat o'zak listlarini tortib siqib turuvchi boltlarning bo'shashib ketishi;

2) transformatorning o'ta yuklanishi yoki uning fazalaridagi yuklamaning bir-biridan o'ta farqlanishi natijasida faza o'zaklaridagi magnit oqimning turli qiymatlarga ega bo'lishligi;

3) chulg'am o'ramlarida qisqa tutashgan o'ramlar borligi natijasida ularda katta qiymatli toklarning hosil bo'lishligi;

4) transformatorga beriluvchi kuchlanish nominalga nisbatan yuqori bo'lishligi natijasida magnit oqim qiymatining ko'payishi.

Transformator ichida quyidagi sabablarga binoan chirsillash hodisasi sodir bo'lishi mumkin:

1) o'ta kuchlanish natijasida transformator chulg'ami bilan uning korpusi orasida tutashish hosil bo'lsa;

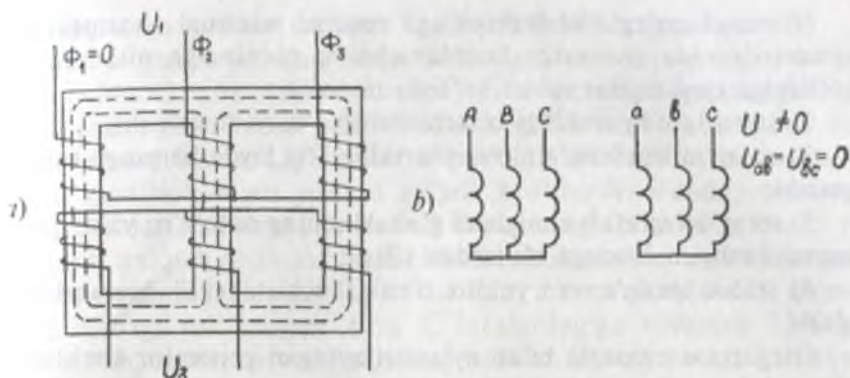
2) po'lat o'zak bilan bakning o'zaro yerga ulanish zanjirida uzilish bo'lsa, u holda po'lat o'zakda hosil bo'luvchi statik zaryadlari transformatorning korpusiga razryadlana boshlaydi.

Transformator ikkilamchi chulg'amidagi kuchlanishning normal qiymatli bo'lmasligiga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

1. Agar birlamchi fazalararo kuchlanishlar o'zaro teng bo'lib, ikkilamchi kuchlanishlar salt ish rejimida teng, yuklamada esa teng bo'lmasa, bu hodisa biror fazadagi chulg'amning ulanish joyidagi kontakt yomon yoki Δ/Y hamda Δ/Δ sxemasi bilan ulangan uch sterjenli transformatorning birlamchi chulg'amida uzilish bo'lganda sodir bo'ladi. Bunda ikki normal fazadagi magnit oqimlar uchinchi buzuq faza o'zagi orqali yopilib, salt ish rejimida ikkilamchi chulg'amda normal e.yu.k. hosil qiladi, yuklamada esa buzuq fazaning ikkilamchi chulg'amiga yetarli quvvatni o'tkazish imkoni bo'lmaydi va shu sababli bu fazadagi ikkilamchi kuchlanishning qiymati nominalga nisbatan pastroq bo'ladi.

2. Agar birlamchi fazalararo kuchlanishlar o'zaro teng bo'lib, ikkilamchi kuchlanishlar esa salt ish va yuklama rejimlarida ham teng bo'lmasa, bu hodisa Y/Y sxemasi bilan ulangan transformatorning birlamchi chulg'amida uzilish bo'lganda sodir bo'lishi mumkin (12.2-rasm, a).

Bunda normal fazalardagi magnit oqimlar uzilish sodir bo'lgan faza o'zagi orqali yopilib, uning ikkilamchi chulg'amida past qiymatli bo'lsa ham e.yu.k. hosil qiladi.



12.2-rasm.

a — birlamish va ikkilamchi chulg'amlari yulduz sxemasida ulangan transformatorning birlamchi chulg'amida uzilish bo'lganidagi magnit oqimlari; b — Y/Y yoki D/Y sxemalarida ulangan transformatorning ikkilamchi chulg'amida uzilish sodir bo'lishi.

3. Agar Y/Y yoki Δ/Y sxemasi bilan ulangan transformatorning ikkilamchi chulg'amida uzilish sodir bo'lsa, u holda faqat birgina fazalararo kuchlanish nolga teng bo'lmaydi, qolgan ikkita fazalararo kuchlanishlar nolga teng bo'ladi. Haqiqatan, agar transformatorning V fazasida uzilish sodir bo'lsa, u holda $U_{ac} \neq 0$ bo'lib, $U_{ab} = U_{bc} = 0$ bo'ladi (12.2-rasm, b).

Bunda normal fazalardagi magnit oqimlar uzilish sodir bo'lgan faza o'zagi orqali yopilib, uning ikkilamchi chulg'amida past qiymatli bo'lsa ham e.yu.k. hosil qiladi.

12.6. Sinxron mashinalarning asosiy nuqsonlari

Qo'zg'atgichdagi buzuvchiliklar, rotorning qo'zg'atuvchi chulg'ami zanjiridagi uzilish, halqa sirtining ifloslanishi va zanglashi natijasida kontakt qarshiligining haddan tashqari katta bo'lishi kabi sabablarga binoan sinxron generatori qo'zg'atilmassligi mumkin. Faza chulg'aming bir yoki bir necha g'altaning teskari ulanishida esa generatorning salt ish rejimidagi faza kuchlanishlari o'zaro teng bo'lmaydi.

Yulduz sxemasi bilan ulangan stator chulg'aming bir fazasida, uchburchaklik sxemada esa statorning ikki fazasida uzilish sodir bo'lsa, generatorning biror fazasidagi kuchlanish yo'qoladi.

Nominal qo'zg'atish tokiga ega rotorni nominal chastota bilan aylantirilganida generator kuchlanishning nominalga nisbatan past bo'lishiga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

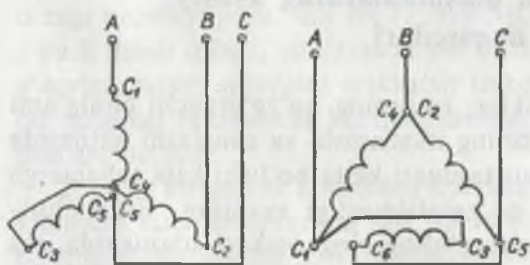
- 1) stator chulg'amidagi o'ramlarning o'zaro tutashishi;
- 2) qo'zg'atish chulg'am o'ramlarining ikki joyda korpusga tutashib qolishi;
- 3) rotor qo'zg'atish chulg'ami g'altaklarining noto'g'ri, ya'ni qutblar ketma-ketligini hisobga olmasdan ulash;
- 4) stator chulg'amini yulduz o'rniga uchurchaklik sxemasi bilan ulash.

O'zgarmas chastota bilan aylantirilayotgan generator kuchlanishi qiymatining tebranib turishiga markazdan qochma kuchlar ta'sirida qo'zg'atish zanjiridagi yomon kontakti goh paydo bo'lib, goh yo'qolishi sabab bo'ladi.

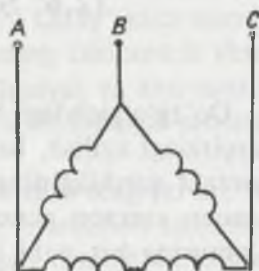
12.7. Asinxron motorlarning asosiy nuqsonlari

Elektr tarmog'iga ulangan asinxron motorning aylanmasligiga quyidagilar sabab bo'lishi mumkin:

- 1) bir yoki bir necha fazalardagi saqlagichlarning kuyishi;
- 2) stator chulg'ami yoki unga ulanadigan o'tkazgich simida uzilish borligi;
- 3) faza rotorli asinxron motor rotor chulg'amini ikki yoki uch fazasida uzilish bo'lishligi;
- 4) podshipnik ko'proq yedirilganligi (statorga rotor bir tomonlama tortilib (yopishib) qoladi);



12.3-rasm. Asinxron motor stator chulg'ami-ning noto'g'ri ulanish sxemalari.



12.4-rasm. Uchburchakli sxemasida ulangan stator chulg'amining fazasidagi uzilish.

5) motorga haddan tashqari katta yuklama berilganligi;

6) to'la yuklama bilan ishga tushirilgan motorning stator chulg'ami uchburchaklik sxemasi o'rniga yulduz sxemasi bilan ulanganligi.

Motorning bir fazasi teskari ulanib (12.3-rasm) qolsa, salt ish rejimida ham fazalardagi toklar nominalga nisbatan ortiq bo'lib, u kuchli guvillash bilan yomon aylana boshlaydi. Bunday motorni normal ishlatish uchun, dastavval faza chulg'amlarining boshi va oxirlarini aniqlab olish lozim. Uchburchaklik sxemasi bilan ulangan motorning bir fazasida uzilish bo'lsa ham u normal aylanadi, ammo B liniyadagi tok qolgan A va C fazalardagiga nisbatan 73% ga ko'p bo'lib, motor quvvati o'zining uchdan bir qiymatiga kamayadi (12.4-rasm).

ELEKTR YURITMA VA UNI AVTOMATIK BOSHQARISH

XIII BOB. ELEKTR YURITMA TQ'G'RISIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR VA UNING RIVOJLANISH TARIXI

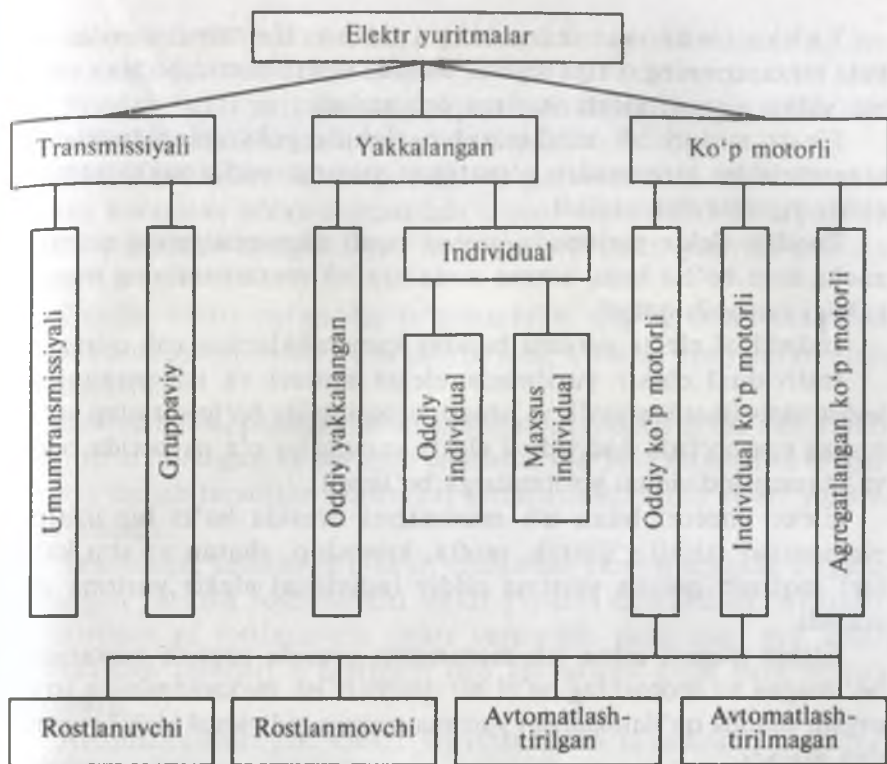
13.1. Elektr yuritma va uning ta'rifi

Har bir takomillashgan mashina uchta asosiy qismdan, ya'ni motor-mashina, uzatma va qurol-mashinadan iborat bo'ladi. Bunday takomillashgan mashina ishlab chiqarish agregati deb, uning uchinchi qismi qurol-mashina esa ish mashinasi yoki ish mexanizmi deyiladi. Ish mashinasi yoki mexanizmini berilgan tezlik bilan harakatlantiruvchi motor, uzatma va ularni boshqaruvchi sistema birgalikda yuritma deb ataladi. Mexanik harakat manbalarining turiga binoan yuritmalar qo'l, ot va mexanik yuritmalarga bo'linadi. Suv va bug'turbinalari hamda shamol, ichki yonuv va elektr motorlari bilan harakatlantiruvchi yuritmalar mexanik yuritmalar deb ataladi. Mexanik yuritmalardan eng afzali elektr motorli yuritma bo'lgani uchun statsionar ish mashinasi va mexanizmlarining asosiy yuritmasi sifatida elektr motorli yuritmadan foydalaniladi. Elektr motorli yuritma qisqacha elektr yuritma deb ataladi.

Elektr yuritma bilan elektr energiyasini mexanik energiyasiga aylantirib, bu mexanik harakatni elektr usulda boshqarish imkoni olinadi. Demak, elektr yuritma asosan elektr motori, uzatma va motori boshqaruvchi elektr apparatlardan iborat bo'ladi.

13.2. Elektr yuritmalarning klassifikatsiyasi

Elektr motori bilan harakatga keltiriladigan ish mashinalarining yoki ishlab chiqarish agregatlaridagi elektr motorlarning soniga qarab elektr yuritmalar transmissiyali, yakka motorli va ko'p motorli yuritmalarga bo'linadi. Transmissiyali elektr yuritma o'z navbatida umumtransmissiyali va gruppaviy, yakka motorli elektr yuritma esa oddiy va individual yakka motorli, ko'p motorli elektr yuritma ham



13.1-rasm. Elektr yuritmalar klassifikatsiyasi sxemasi.

oddiy va individual ko'p motorli yuritmalarga bo'linishi mumkin. Boshqarilish usuliga binoan elektr yuritmalar avtomatlashtirilgan va avtomatlashtirilmagan, texnologik talab hamda motor xususiyatlariga qarab esa rostlanadigan va rostlanmaydigan yuritmalarga bo'linadi (13.1-rasm).

Transmissiyali elektr yuritmalar. Motor harakatini po'lat arqon yoki tasmalar yordamida korxona sexlaridagi bosh transmissiyaga uzatuvchi yuritma umumtransmissiyali elektr yuritma deb ataladi. Bosh transmissiyadagi harakat tasmalar bilan transmissiya bo'laklari yoki ish mashinalariga uzatiladi.

Elektr motor harakatini bir qancha ish mashinalariga uzatuvchi yuritmani gruppaviy elektr yuritma deb ataladi.

Gruppaviy elektr yuritma umumtransmissiyaliga nisbatan afzal bo'lishiga qaramay, bu yuritmada ham elektr energiyasining mexanik taqsimlanish imkonlaridan to'la foydalanilmaydi. Shu sababli hozirgi paytda transmissiyali elektr yuritmalardan deyarli foydalanilmaydi.

Yakka motorli elektr yuritma. Har bir ish mashinasi yoki mexanizmining o'ziga tegishli alohida elektr motori bo'lgan yuritma yakka motorli elektr yuritma deb ataladi.

Elektr motori ish mashinasidan alohida yoki uning tuzilishiga o'zgartirishlar kiritmasdan o'rnatilgan yuritma oddiy yakka motorli elektr yuritma deb ataladi.

Bunday elektr yuritmada quvvat isrofi transmissiyaliga nisbatan ancha kam bo'lsa ham, ammo unda uzatish mexanizmining murakabligi saqlanib qoladi.

Individual elektr yuritma bunday kamchiliklardan xoli qilingan.

Individual elektr yuritmada elektr motori va ish mexanizmi konstruktiv jihatdan yaxlit va ishlash uchun qulay bo'lgan tashqi ko'rinishga ega bo'ladi. Individual elektr yuritmalarda o'z navbatida oddiy va maxsus individual yuritmalarga bo'linadi.

Elektr motori bilan ish mexanizmi orasida ba'zi bir uzatma elementlari (tishli g'ildirak, mufta, krivoship, shatun va shu kabilar) saqlanib qolgan yuritma oddiy individual elektr yuritma deb ataladi.

Elektr motori bilan ish mexanizmi orasida uzatish mexanizmi bo'lmagan va motorning ba'zi bir qismlari ish mexanizmining uzviy organi sifatida qo'llaniladigan yuritma maxsus individual elektr yuritma deb ataladi.

Shu sababli maxsus individual elektr yuritmalari ish mashinalari shovqinsiz, yengil, sodd konstruksiyali, ishlashga qulay, yuqori foydali ish koeffitsiyenti va avtomatlashtirish uchun katta imkonlarga ega bo'ladi.

Bunday elektr yuritmalarda elektr motorning ahamiyati ish mashinasining nomida ham o'z ifodasini topadi, ya'ni ularga "elektr" so'zi qo'shib yoziladi, masalan, elektr pardozlagich, elektr shpindel, elektr urchuq va hokazo.

Ko'p motorli elektr yuritmalar. Murakkab ish mashinasining ayrim ish organlariga mexanik energiyani bir markazdan taqsimlash har tomonlama noqulaylik tug'dirib, undagi quvvat isrofining katta bo'lishiga olib keladi.

Murakkab stanoklar yoki mashinalarning har bir ish organi alohida elektr motori bilan harakatga keltirilsa, ularni avtomatlashtirish va ishga tushirish ancha yengillashadi va qulaylashadi, uzatmaning konstruksiyasi esa soddalashadi.

Elektr motorlari ish organidan alohida o'rnatilgan bo'lsa, bunday mashina yoki mexanizm yuritmalari oddiy ko'p motorli elektr yuritmalar deb ataladi. Elektr motorlari murakkab mashinaning ish

organlariga bevosita o'rnatilsa, bunday yuritmani individual ko'p motorli elektr yuritma deb ataladi.

Bunday elektr yuritma maxsus stanoklarda, agregat va nusxa olish (kopirlash) stanoklarida keng qo'llaniladi.

Elektr motorlari sistemasiga ega bo'lgan bir necha ish mashinalarining kompleks ishlab chiqarishda o'zaro mos ishlashini ta'minlaydigan yuritmani agregatlangan ko'p motorli elektr yuritma deb ataladi.

Bunday elektr yuritmalar to'qimachilik, qog'oz ishlab chiqarish, bosmaxona mashinalari va stanoklarning avtomat liniyalarida keng qo'llaniladi.

Boshqarish apparatlari bilan avtomatik ravishda ishga tushiriladigan, to'xtatiladigan va berilgan chastota, tok yoki momentni o'zgartirmay saqlab turadigan yuritmani avtomatlashtirilgan elektr yuritma deb ataladi.

Texnologik talablarga binoan chastotasi keng miqyosda o'zgartiriladigan yuritma rostlanuvchi elektr yuritma deb ataladi. Avtomatlashtirilgan va rostlanuvchi elektr yuritmada yuqoridagi uch asosiy qismlardan tashqari o'zgartgich deb ataladigan qism ham bo'lishi mumkin.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritma bilan texnologik jarayonni takomillashtirish, uning talablarini to'la qondirish, ish unumini ko'tarish, mahsulot sifatini yaxshilash, uning tannarxini pasaytirish imkonlari yaratiladi.

13.3. Elektr yuritma rivojlanishining qisqacha tarixi

1838-yilda rus olimi *B. S. Yakobi* o'zi yasagan elektr motori bilan kemani harakatga keltirib birinchi elektr yuritmani yaratgan. Ammo u paytda tejamli tok manbalari yo'qligidan elektr yuritmani sanoatda qo'llash mumkin bo'lmadi. 1889—1891-yillarda rus injeneri *M. O. Dolivo-Dobrovolskiy* tomonidan uch fazali transformator, uch fazali asinxron motori va uch fazali sistemaning yulduz va uchburchaklik sxemalari kashf etilishi elektrotexnika va xususan elektr yuritmaning keskin rivojlanishida katta bosqich bo'ldi. Haqiqatan ham bu kashfiyotdan so'ng butun dunyoda elektr energiyasi ishlab chiqarish va undan foydalanish misli ko'rilmagan darajada o'sib bordi. Hozirgi paytda quvvati bir necha W dan bir necha ming kW gacha bo'lgan elektr yuritmalari yaratilgan va yaratilmoqda.

13.4. Mamlakatimizda elektr yuritmaning taraqqiyoti

1922-yilda professor *S. A. Rinkevich* rahbarligida Sankt-Peterburgdagi LETI institutida ochilgan “Sanoatni elektrlashtirish” ixtisosligi bo'yicha yetuk injenerlar tayyorlana boshlandi. *S. A. Rinkevich*ning 1925-yilda nashrdan chiqarilgan “Электрическое распределение механической энергии” degan kitobida elektr yuritmaning nazariy va amaliy tomonlari yoritilgan. Elektr yuritma nazariyasi va amaliyotining bundan keyingi taraqqiyoti prof. *V. K. Popovning* “Применение электродвигателей в промышленности” (1932—1939-у.) degan uch tomli kitobida, prof. *G. I. Nazarovning* “Электропривод в сельском хозяйстве” (1938-у.) darsligida hamda atoqli olimlar *D. P. Morozov, R. L. Aronov, A. T. Golovan, L. B. Geyler* va boshqalarning ishlarida o'z ifodasini topdi.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritmani rivojlantirishda akademiklardan *V. S. Kulebakin, M. P. Kostenko* hamda *A. G. Iosifyan, D. V. Vasilev, M. Z. Homudxonov* va boshqa olimlar tomonidan katta ishlar qilingan. Sho'ro hokimiyatining dastlabki yillaridayoq elektr yuritma bo'yicha ilmiy tekshirish ishlariga katta ahamiyat berildi. Ularning natijalari ishlab chiqarishning hamma sohalarida samarali qo'llana boshlandi. Hozirgi paytda esa sanoat, transport va qishloq xo'jaligida elektr yuritmadan foydalanish bo'yicha mamlakatimiz dunyoda oldingi o'rinlarga o'tib oldi.

13.5. Qishloq xo'jalik mashinalari elektr yuritmalari taraqqiyotining asosiy yo'nalishlari

Professor *G. I. Nazarov* taklif etgan klassifikatsiya sxemasi (13.1-rasm) dan elektr yuritmalarning turlarga bo'linishini, kelajakdagi taraqqiyotini va ularni takomillashtirish yo'llarini yaqqol ko'rish mumkin.

Qishloq xo'jalik mashinalarini dastaki yuritma, ot va mexanik yuritmalardan elektr yuritmalarga o'tkazishda ularning kinematik sxemalari, mexanik xarakteristikalari va ishlash rejimlari o'rganilgan.

Elektr yuritmalardagi o'tkinchi jarayonlarini chuqur o'rganish esa hozirgi zamon avtomatlashtirilgan elektr yuritma nazariyasi va amaliyotida katta ilmiy ahamiyat kasb etmoqda.

Kelajakda yaritiladigan qishloq xo'jalik mashinalari sistemasini ishlab chiqishda juda ko'p murakkab nazariy, tajriba, konstruktorlik va ekspluatatsion masalalarni hal etishga to'g'ri keladi. Bu masala-

larni to'g'ri hal etish bilan ishlab chiqarishga, texnik parametrlar va elektr yuritmalar sifatiga hamda qishloq xo'jalik mashinalari yuritmalari xarakteristikasiga ilmiy asoslangan talablar kompleksi aniqlab beriladi.

Qishloq xo'jalik mashinalari elektr yuritmalari taraqqiyotining asosiy yo'nalishlari:

1) qishloq xo'jalik mashinalari va potok liniyalari elektr yuritmalarining turg'un va o'tkinchi rejimlarda ishlashini chuqur tadqiqot etish;

2) yuqori aylanish chastotali elektr yuritmalar va yuqori chastotali tok manbalarini yaratishga oid ilmiy-tadqiqot ishlarini kuchaytirish;

3) traktor va kombaynlarga o'xshash mobil mashina hamda agregatlarga elektr yuritmalarni tatbiq etishga ko'proq ahamiyat berish;

4) avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarni boshqarishga tegishli texnik vositalarni ko'plab yaratish va takomillashtirish. Avtomatik boshqarish sxemalarida kontaktsiz apparat va qurilmalardan kengroq foydalanish;

5) turli rejimlarda ishlovchi qishloq xo'jalik mashinalari elektr yuritmalarini injenerlik hisoblash usullarini takomillashtirishdan iborat.

XIV BOB. ELEKTR YURITMALARNING O'TKINCHI REJIMLARI

14.1. Umumiy tushunchalar

Elektr yuritmaning bir turg'un holatdan ikkinchisiga o'tish jarayonidagi ish rejimi uning o'tkinchi rejimi deb ataladi.

Elektr yuritmani ishga tushirish, tormozlab to'xtatish, harakat yo'nalishini o'zgartirish kabi jarayonlar uning o'tkinchi rejimi hisoblanadi. Yuklamaning elektr tarmog'idagi kuchlanish yoki tok chastotasining keskin o'zgarishida ham elektr yuritma o'tkinchi rejimda ishlaydi. O'tkinchi rejimni yaxshi o'rganish bilangina elektr yuritmalar uchun motor va uni avtomatik boshqarish apparatlarini to'g'ri tanlash imkoni olinadi. Kamdan-kam ishga tushiriladigan va uzoq vaqt ishlaydigan elektr yuritmalardagina (nasos, ventilator va shu kabilarda) o'tkinchi rejim aytarliq ahamiyatga ega bo'lmaydi.

Elektr yuritmani ishga tushirish va to'xtatish kabi o'tkinchi rejim davrlarini o'zgartirish bilan texnologiyani takomillashtirish va, demak, ish mashinasi unumini ko'tarish, mahsulot sifatini yaxshilash imkoni olinadi. Elektr yuritmaning o'tkinchi rejimi uning elektr va mexanik

o'tkinchi jarayonlarining birgalikda yoki alohida o'tishi bilan xarakterlanadi.

Bunday rejim elektr motori va ish mexanizmining dinamikasi bilan bevosita bog'langani sababli, elektr yuritmalardagi o'tkinchi rejimni elektromexanik, elektromagnit va mexanik jarayonlarga bo'lish mumkin.

Elektromexanik o'tkinchi jarayonda elektr va mexanik parametrlarning o'zgarishi hisobga olinadi. Ammo xususiy hollarda, masalan, motor elektr zanjiriga ulanganda u darhol harakatlana olmaydi va bunda magnit oqim o'zining nominal qiymatiga erishgunga qadar faqat elektromagnit jarayongina sodir bo'lib, yakor aylangandan keyingina mexanik o'tkinchi jarayon sodir bo'ladi.

O'tkinchi rejimlarni hisoblashda quyidagi usullardan foydalaniladi. Agar aylantiruvchi va qarshilik momentlarining chastotaga bog'lanishining analitik ifodasi berilgan bo'lib, chulg'amning induktivligi $L = \text{const}$ va sistemaning inersiya momenti $J = \text{const}$ bo'lsa, u holda moment va e.yu.k. larning muvozanat tenglamasi tuzilib, ular birgalikda yechiladi va bu bilan o'tkinchi rejim parametrlarining o'zgarish qonunlarini analitik usulda hisoblanadi. Bunda L va J qiymatlar o'zgaruvchan bo'lsa, u holda hisoblashning grafoanalitik usulidan foydalaniladi. Aylantiruvchi va qarshilik momentlarining chastotaga bog'lanishining grafigi berilgan bo'lsa, hisoblashning grafik usulidan foydalaniladi.

Elektr yuritma juda ham murakkab va katta quvvatli bo'lsa, u holda o'tkinchi rejim uning kichik modelida tekshiriladi va o'xshashlik nazariyasi asosida modelda olingan bog'lanishlar haqiqiy elektr yuritma parametrlariga keltirilib hisoblanadi. Buni fizik modellash usuli deyiladi. Matematik modellash usuli bilan o'tkinchi rejimni hisoblashda elektr yuritma uchun tuzilgan differensial tenglamalar sistemasi elektron analog hisoblash mashinasiga berilib, undan elektr va mexanik parametrlarning vaqt bo'yicha o'zgarishlari egri chiziqlar shaklida olinadi.

14.2. O'tkinchi jarayon vaqtini analitik usul bilan hisoblash

O'tkinchi rejim vaqtini aniqlash uchun momentlar tenglamasidan quyidagi ifoda olinadi, ya'ni

$$dt = J \frac{d\omega}{M \pm M_c}. \quad (14.1)$$

(14.1) ifodani integrallab yuritma chastotasining ω_1 dan ω_2 gacha o'zgarishiga ketgan vaqtning quyidagi ifodasi topiladi:

$$t_{1-2} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{J d\omega}{M \pm M_c}. \quad (14.2)$$

Bu integralni yechish uchun aylantiruvchi va qarshilik momentlarining tezlik bilan bog'lanishini ifodalovchi analitik formula ma'lum bo'lishi lozim. Agar M , M_c va $J = \text{const}$ deb qabul qilinsa, o'tkinchi jarayonning vaqti quyidagicha aniqlanadi:

$$t_{1-2} = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M \pm M_c} = \frac{GD_2(n_2 - n_1)}{375(M \pm M_c)}, \quad (14.3)$$

bunda GD^2 — yuritma sistemasining motor valiga keltirilgan siltash momenti;

n_1 va n_2 — boshlang'ich va oxirgi chastotalar.

Bu ifoda bilan elektr motorlarini rezistor bilan ishga tushirish va tormozlab to'xtatish vaqtlarini aniqlash mumkin.

Elektr yuritmani ishga tushirishdagi o'tkinchi jarayon vaqti quyidagicha topiladi:

$$t_{\text{isht}} = \frac{GD^2 n_{sn}}{375(M_{o'r} - M_c)}. \quad (14.4)$$

Bunda boshlang'ich chastota $n_1 = 0$, oxirgi chastota $n_2 = n_{sn}$ deb qabul qilingan;

n_{sn} — qarshilik momenti M_c bilan aniqlanadigan turg'un chastota;

$M_c = \text{const}$ — berilgan qarshilik momenti;

$M_{o'r} = \text{const}$ — motorni ishga tushirish paytidagi aylantiruvchi momentning o'rtacha qiymati.

Motorni ishga tushirish jarayonidagi rezistorli xarakteristikalar grafigidan $M_{o'r}$ qiymati quyidagicha aniqlanadi:

1) o'zgarmas tok va faza rotorli asinxron motorlar uchun

$$M_{o'r} = \frac{M_{\text{maks}} + M_{\text{min}}}{2} \approx 1,7 M_n; \quad (14.5)$$

2) qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlar uchun

$$M_{o'r} = \frac{M_{\text{isht}} + M_{\text{maks}}}{2} \approx 1,5 M_n; \quad (14.6)$$

bunda M_n va M_{isht} — motorning nominal va ishga tushirish momentlari;

M_{maks} — o'ta yuklanish qobiliyatiga binoan aniqlanadigan aylantiruvchi momentning maksimal qiymati;

M_{min} — rezistor bilan ishga tushirishdagi minimal aylantiruvchi moment qiymati.

Elektr yuritmani ishga tushirish vaqtini aniqroq topish uchun (14.1) dagi M va M_c larning chastotaga bog'lanish ifodasi ma'lum bo'lishi kerak. Sistemaning inersiya momenti J ko'pincha o'zgarmas bo'ladi.

(14.1) ifodaga binoan, motorni turg'un chastotagacha aylantirib ishga tushirish vaqti cheksiz bo'ladi. Haqiqatan $M = M_c$ bo'lganda $n_2 = n_{\text{sn}}$ bo'lib, $t_{\text{isht}} = \infty$ bo'ladi.

Bu esa faqat ideal holga, ya'ni $M_0 = 0$ ga taalluqlidir. Haqiqatda esa salt ish momenti M_0 ning qiymati $M_0 > 0$ bo'ladi. Shunga binoan o'tkinchi rejim jarayonini $n_2 \approx 0,95 n_{\text{sn}}$ da tugaydi deb, chekli ishga tushirish vaqtining qiymati topiladi. Elektr tarmog'idan ajratilgan motorning o'z-o'zidan to'xtash vaqti (14.3) ga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$t_1 = \frac{GD^2 \cdot n_{\text{sn}}}{375 M_c}, \quad (14.7)$$

bunda $n_1 = n_{\text{sn}}$; $n_2 = 0$; $M = 0$ deb qabul qilingan.

Agar tabiiy ishqalanishga ko'ra, elektr yuritmaning to'xtash vaqti cho'zilib, texnologik talabni qondirmasa, u holda motorni elektr usul bilan tormozlash qo'llaniladi. Bunda motorning aylantiruvchi momenti M qarshilik momenti M_c tomon yo'nalgan bo'ladi. Demak, elektr yuritmaning tormozlanib to'xtash vaqti quyidagicha aniqlanadi:

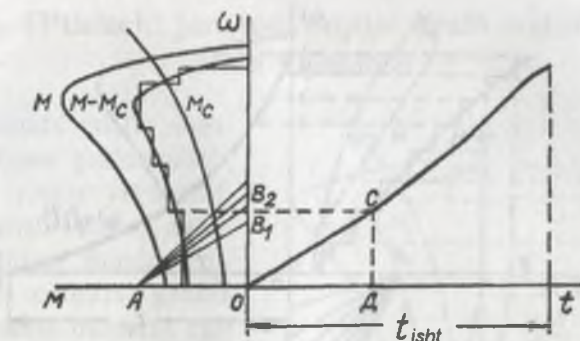
$$t_{\text{et}} = \frac{GD^2 \cdot n_{\text{sn}}}{375(M + M_c)}. \quad (14.8)$$

14.3. O'tkinchi jarayon vaqtini grafik usul bilan hisoblash

Agar M va M_c larning chastotaga bog'lanishlari murakkab bo'lib, ularning faqat grafiklari berilgan bo'lsa, u holda o'tkinchi jarayon vaqtini grafik usulda hisoblash uchun (14.1) dagi cheksiz kichik $d\omega$ va dt lar chekli kichik $\Delta\omega$ va Δt lar bilan belgilanib quyidagi ifoda olinadi:

$$M - M_c = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (14.9)$$

Bunda ma'lum Δt vaqt oralig'ida momentlar ayirmasi o'zgarmas qiymatga ega, ya'ni $M - M_c = \text{const}$ bo'ladi deb qabul qilinadi. 14.1-



14.1-rasm. Asinxron motorli elektr yuritmani ishga tushirish vaqtini grafik usulda hisoblash.

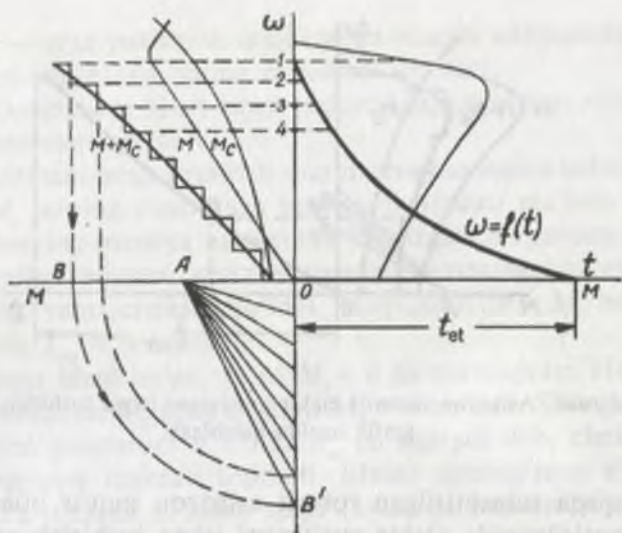
rasmda qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor bilan ventilator harakatlantirilganida elektr yuritmani ishga tushirish vaqtini grafik usulda aniqlash ko'rsatilgan.

Buning uchun (14.9) tenglamadan quyidagi proporsiya tuziladi:

$$\frac{M - M_c}{J} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (14.10)$$

Bu proporsiyaga binoan, dastavval, grafik usul bilan motor va mexanizm mexanik xarakteristikalarining ayirmasi, ya'ni dinamik moment $M_{\text{din}} = M - M_c$ quriladi. So'ngra chastotaning ma'lum $\Delta\omega$ o'zgarish oralig'ida M_{din} egri chizig'ining o'rtacha qiymatlari o'zgarimas bo'lgan pog'onali chiziqlar bilan almashtiriladi.

Qurish aniqligi pog'onalar soniga bog'liq, ularning soni qancha ko'p bo'lsa, qurish shuncha aniq chiqadi. So'ngra har bir pog'onadagi dinamik moment miqdori ordinata o'qiga o'tkaziladi. Bunda birinchi pog'ona uchun ordinata o'qida OB_1 , ikkinchi pog'ona uchun esa OB_2 va boshqa pog'onalar uchun ham shunday kesmalar olinadi. Ordinata o'qidagi B_1 , B_2 va h. k. nuqtalarni absissa o'qidagi A nuqta bilan biriktiriladi. Bu grafikdagi OA kesma yuritma sistemasining inersiya momenti J ga proporsional miqdor bo'lib, uni inersiya momenti masshtabida olinadi. So'ngra AB_1 kesmaga parallel qilib OC chiziq o'tkaziladi. Bu OC chiziq birinchi pog'onaga tegishli bo'lgan $\omega = f(t)$ egri chiziqni ifodalaydi. Haqiqatan AOB_1 uchburchaklikning ODC uchburchaklikligiga o'xshashligidan $\frac{OB_1}{OA} = \frac{CD}{OD}$, bunda $OB_1 = M_1 - M_{c1}$; $OA = J$ va $CD = \Delta\omega_1$ bo'lgani uchun OD kesma birinchi uchastkada-gi ishga tushirish vaqtini, ya'ni $OD = \Delta t_1$ ni ifodalaydi.



14.2-rasm. Asinxron motorli elektr yuritmani elektrodinamik rejimda tormozlab to'xtatish vaqtini grafik usulda hisoblash.

Shu kabi qurishlar asosida chastotaning o'tkinchi jarayonidagi $\omega = f(t)$ bog'lanish topilib, undan t_{isht} aniqlanadi. Bunda miqdorlar masshtabi uchun quyidagi proporsiyani tuzish mumkin:

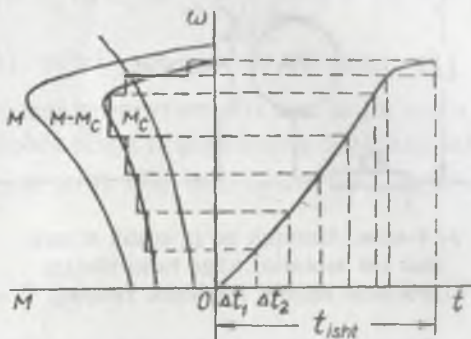
$$\frac{m_m}{m_\omega} = \frac{m_\omega}{m_t}, \quad (14.11)$$

bunda m_m , m_ω va m_t — tegishli aylantiruvchi moment, burchak chastota va vaqtga binoan qabul qilingan masshtablarning ma'lum qiymati. Bular asosida (14.11) proporsiyadan m_t masshtabini aniqlash mumkin. 14.2-rasmda asinxron motorni elektrodinamik usul bilan tormozlab to'xtatish vaqtini grafik usulda hisoblash ko'rsatilgan.

Bunda ham berilgan $\omega = f(M)$ va $\omega = f(M_c)$ larga binoan $M_{\text{din}} = M + M_c = f(\omega)$ qiymati aniqlanib, uni yuqoridagi singari chastotaning ma'lum bir $\Delta\omega$ oralig'ida o'rtacha qiymati o'zgarmas bo'lgan pog'onali chiziqlar bilan almashtiriladi. So'ngra boshlang'ich chastota ω_{sn} ga tegishli OB dinamik moment ordinata o'qiga o'tkaziladi. Natijada B' nuqta topilib uni A nuqta bilan birlashtiriladi. Bunda ham OA kesma inersiya momenti J ni ifodalaydi. 1 nuqtadan AB' chiziqqa parallel bo'lgan va 2 nuqtadan o'tgan chiziq bilan kesishgunga qadar davom etgan chiziq o'tkaziladi. Natijada yuqoridagi singari $\omega = f(t)$ olinadi, undan esa elektr usulda tormozlash bilan elektr yuritmani to'xtatish vaqti t_{el} topiladi.

14.4. O'tkinchi jarayon vaqtini grafoanalitik usul bilan hisoblash

14.3-rasmda yuzlar usuli deb ataladigan grafoanalitik usul bilan elektr yuritmani ishga tushirish vaqtini aniqlash ko'rsatilgan. Bunda ham, yuqoridagi singari, grafik usulda dinamik moment egri chizig'i, ya'ni $M_{\text{din}} = M - M_c = f(\omega)$ aniqlanadi. So'ngra ordinata o'qi o'zaro teng $\Delta\omega$ bo'laklarga, $\Delta\omega$ oralig'ida dinamik moment egri chizig'ini o'rtacha qiymati o'zgarmas bo'lgan qismlarga bo'linadi. Natijada har bir qism uchun alohida ifoda olinadi. Bundan dinamik momentning har bir o'zgarmas qismi ta'sirida chastotaning $\Delta\omega$ ga o'zgarish vaqti Δt quyidagicha aniqlanadi:



14.3-rasm. Elektr yuritmani ishga tushirish vaqtini grafoanalitik usulda hisoblash.

$$\Delta t = J \frac{\Delta\omega}{M - M_c} \quad (14.12)$$

(14.12) ifodadagi $\Delta\omega$ qiymati har bir qism uchun bir xil bo'lgani sababli elektr yuritmani ishga tushirish vaqtining umumiy qiymati quyidagi analitik ifodadan hisoblanadi:

$$t = \sum_1^m (\Delta t) = J \cdot \Delta\omega \sum_1^m \frac{1}{M - M_c} \quad (14.13)$$

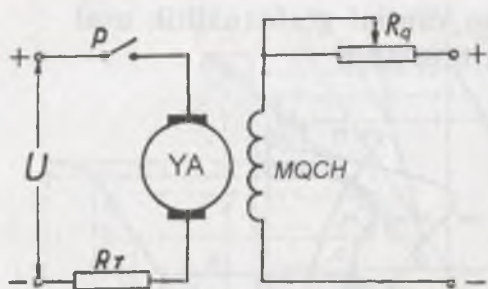
bunda m — qismlar soni;

$\Delta\omega = \text{const}$ — har bir qismdagi chastotaning o'zgarmas qiymati;

$M - M_c$ — har bir qismdagi dinamik moment qiymati.

14.5. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining ishga tushirish jarayondagi o'tkinchi rejimi

Ko'pincha elektr yuritma sistemasidagi o'tkinchi rejimni tekshirish uchun uning mexanik inersiyasigina hisobga olinadi. Mexanik inersiya sistemaning mexanik parametrlari bilan birga motor zanjiri-



14.4-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgar-
mas tok motorini ishga tushirishdagi
o'tkinchi rejimni tekshirish sxemasi.

dagi qarshilikning elektrome-
xanik xususiyatlariga binoan
aniqlanadi. Bunda motor
chulg'amlaridagi induktivlik-
dan hosil bo'ladigan elektro-
magnit inersiya mexanik
inersiyaga nisbatan juda ki-
chik bo'lgani uchun uni
hisobga olinmaydi.

14.4-rasmda mustaqil
qo'zg'atishli motorni rubilnik
yordamida ishga tushirish
sxemasi ko'rsatilgan.

Motorni ishga tushirish jarayonidagi o'tkinchi rejimni tekshirish-
da yakor zanjiri qarshiligi o'zgarmas, ya'ni $R = R_{ya} + R_l = \text{const}$ deb
qabul qilinadi. Bunda motorning magnit oqimi Φ elektr tarmog'ida-
gi kuchlanish U va qarshilik momenti M_s larni ham o'zgarmas, yakor
chulg'amining induktivligini esa nolga teng, ya'ni $L_{ya} = 0$ deb qabul
qilinadi va bular asosida ishga tushirish jarayoni uchun quyidagi elektr
va mexanik muvozanat tenglamalari tuziladi:

$$U = C_E \omega + i_{ya} R, \quad (14.14)$$

$$M = C_m i_{ya} = J \frac{d\omega}{dt} + M_c \quad (14.15)$$

Agar elektromagnit inersiya hisobga olinib, uni o'zgarmas, ya'ni
 $J_{ya} = \text{const}$ deb qabul qilinsa, u holda (14.14) quyidagicha ko'rinish-
ni oladi:

$$U = C_E \omega + i_{ya} R = J_{ya} \frac{di_{ya}}{dt}. \quad (14.16)$$

(14.15) dan i_{ya} ni topib, uni (14.14) ga qo'yiladi, so'ngra tengla-
maning chap va o'ng tomonlarini S_E ga bo'lib $\frac{U}{C_E} = \omega + \frac{JRd\omega}{C_E C_m dt} + \frac{M_c R}{C_E C_m}$
hosil qilinadi. Bu tenglamani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\omega_0 = \omega + T_m \frac{d\omega}{dt} + \Delta\omega_c \quad (14.17)$$

bunda $\omega_0 = \frac{U}{C_E}$ — ideal salt ish rejimidagi burchak chastotasi;
 $\Delta\omega_c$ — yuklama sababli motor chastotasining pasayishi;

$$T_m = \frac{JR}{C_E C_m}, \quad (14.18)$$

(14.18) ifodadagi T_m — vaqt o'lchov birligiga ega bo'lgani uchun uni sistemaning elektromexanik vaqt doimiysi deb ataladi.

Haqiqatan, J [kgm sek²]; R [Om] va $C_E = \frac{U}{\omega_0} \left[\frac{B}{1} \right]$, $C_m = \frac{M}{1} \left[\frac{\text{kGm}}{\text{A}} \right]$ bo'lgani uchun $T_m = \frac{JR}{C_E C_m}$ [sek], ya'ni vaqt o'lchov birligiga ega.

Agar moment bilan tok orasidagi proporsionallik har doim saqlanib turadi deb qabul qilinsa, u holda ishga tushirishning boshlang'ich paytida $C_m = \frac{M_q}{I_q}$ bo'lib, elektromexanik vaqt doimiysini quyidagicha ifodalash ham mumkin:

$$T_m = \frac{J\omega_0}{M_q}. \quad (14.19)$$

Inersiya momenti J ga teng bo'lgan yuklamasiz yuritmani qo'zg'almas holatdan $M = M_q = \text{const}$ bo'lgan moment bilan ideal chastota ω_0 gacha aylantirish uchun ketgan vaqt elektromexanik vaqt doimiysi deb ataladi.

Yakor zanjiri qarshiligining ortib borishi bilan M kamayib T_m ortib boradi. Shu bilan birga T_m ning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lmaydi.

(14.17) tenglamani yechish uchun uni quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{T_m} = \frac{\omega_0 - \Delta\omega_c}{T_m}.$$

Bu tenglamani burchak chastotasiga nisbatan yechib quyidagi olinadi:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_c + Ae^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (14.20)$$

bunda A — o'tkinchi rejimning boshlang'ich shartiga binoan aniqlanadigan integrallash doimiysi. Masalan, $t = 0$ bo'lganda chastota o'zining boshlang'ich ω_b qiymatiga teng, ya'ni $\omega = \omega_b$ bo'lib, integrallash doimiysi

$$A = \omega_b - (\omega_0 - \Delta\omega_c) = \omega_b - \omega_c$$

bo'ladi, bunda $\omega_c = \omega_0 - \Delta\omega_c$ — qarshilik momenti M_c bilan ishlayotgan motorning turg'un chastotasi.

Motorni ishga tushirish paytidagi o'tkinchi rejimda uning aylanish chastotasining vaqtga nisbatan o'zgarishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega = \omega_c + (\omega_b - \omega_c)e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (14.21)$$

Agar motorni qo'zg'almas holatdan boshlab ishga tushirilsa, (14.21) ifoda soddalashib, quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\omega = \omega_c \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (14.22)$$

Agar motor ideal salt ish rejimida ishga tushirilsa, u holda chastotaning turg'un qiymati ω_0 bo'lib, (14.22) tenglama quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (14.23)$$

Agar burchak chastotasi ω aylanish tezligi n ga almashtirilsa, quyidagi tenglamalar hosil qilinadi:

$$n = n_c + (n_b - n_c) e^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (14.24)$$

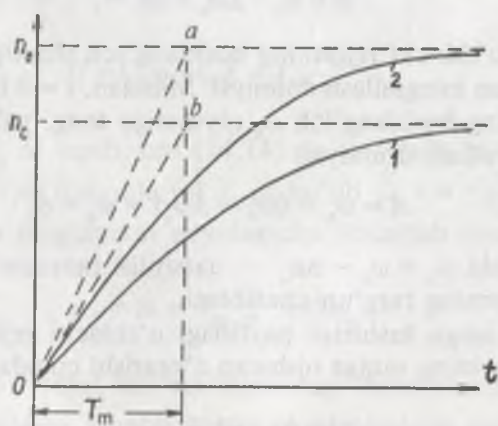
$$n = n_c \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right), \quad (14.25)$$

$$n = n_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (14.26)$$

Bunda T_m ning qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$T_m = \frac{GD^2 R}{375 C_m C_E} = \frac{GD^2 n_0}{375 M_q}. \quad (14.27)$$

14.5-rasmda (14.25) va (14.26) formulalar asosida qurilgan egri chiziqlari ko'rsatilgan.



14.5-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli motor chastotasini ishga tushirish jarayoni davrida o'zgarish egri chiziqlari.

Yuqoridagi o'tkinchi rejim tenglamalariga binoan, ishga tushirish jarayoni cheksiz katta vaqtda tugaydi, ya'ni $t = \infty$ bo'lganda $n = n_c$ bo'ladi.

Ammo $M_0 > 0$ bo'lgani uchun o'tkinchi rejim davri $t = (3 \div 5) T_m$ da tugaydi deb qabul qilinadi. Bunda chastota o'zining turg'un qiyamatidan faqat $2 \div 5\%$ ga kam bo'ladi. Haqiqatan (14.22) ifodaga binoan $t = \infty$ bo'lsa, $e^{-\frac{t}{T_m}} = 0$ bo'lib, $\omega = \omega_c$ bo'ladi. Shunga o'xshash $t = 3 T_m$; $e^{-3} \approx 0,05$ va $\omega \approx 0,95 \omega_c$ bo'lib, $t = 4 T_m$; $e^{-4} \approx 0,02$ va $\omega \approx 0,98 \omega_c$ bo'ladi. Agar $M = M_q = \text{const}$ ligida motor ishga tushirilsa, yuklama bo'lmaganda chastota oa , yuklama bo'lganda esa ob to'g'ri chiziqligi bo'yicha o'zgargan bo'lar edi (14.5-rasm).

2 egri chiziqlarga koordinata boshidan o'tkazilgan oa , urinmalaridan $n_0 a = n_c b$ kesmalarining vaqt masshtabida T_m ni ifodalashi aniqlanadi. Ishga tushirish paytida motor tokining o'zgarish qonuni (14.15) tenglamadan aniqlanadi:

$$i_{ya} = J \frac{d\omega}{dt \cdot c_m} + J_c \quad (14.28)$$

bunda $I_c = \frac{M_c}{C_m}$ — yuklama toki.

(14.17) tenglamadan $\frac{d\omega}{dt}$ hosila, ya'ni $\frac{d\omega}{dt} = -A \frac{e^{-\frac{t}{T_m}}}{T_m}$ ni olib uning qiymatini yuqoridagi tok tenglamasi (14.28) ga qo'ysak, yakor tokining ishga tushirish jarayonidagi o'zgarish qonuni topiladi:

$$i_{ya} = -\frac{JA}{C_m T_m} e^{-\frac{t}{T_m}} + I_c. \quad (14.29)$$

Agar bu jarayonning boshlanishida, ya'ni $t = 0$ bo'lganda $i_{ya} = i_b$ bo'lsa, u holda integrallash doimiysi $A = -\frac{C_m T_m}{J} \times (I_b - I_c)$ bo'ladi. Integrallash doimiysini (14.29) ga qo'yib, tokning o'zgarish qonunini ifodalaydigan quyidagi ifoda hosil qilinadi:

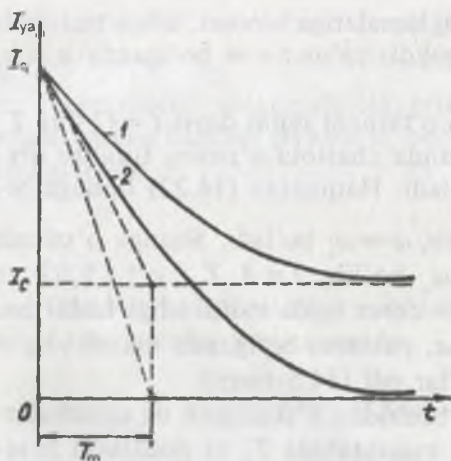
$$i_{ya} = I_c + (I_b - I_c) e^{-\frac{t}{T_m}}. \quad (14.30)$$

Tokning boshlang'ich qiymati quyidagicha topiladi.

Agar motor qo'zg'almas holatdan ishga tushirilsa, u holda $E = 0$ bo'lib, $I_b = I_q = \frac{U}{R}$ bo'ladi. Bunda (14.30) quyidagicha ifodalanadi:

$$i_{ya} = (I_q - I_c) e^{-\frac{t}{T_m}} + I_c. \quad (14.31)$$

Agar motor yuklamasiz ishga tushirilsa, ya'ni $I_c = 0$ bo'lsa, (14.31) ifoda soddalashib quyidagi ko'rinishni oladi.



14.6-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli motor tokini ishga tushirish jarayoni davrida o'zgarish egri chiziqlari.

$$i_{ya} = I_q e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (14.32)$$

14.6-rasmda motorning (14.31) va (14.32) ifodalarga binoan qurilgan, ishga tushirish davridagi tokining o'zgarishini ko'rsatuvchi 1 va 2 egri chiziqlar ko'rsatilgan.

Demak, motorning mexanik xarakteristikallari to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarsa va undagi yuklama qiymati o'zgarmasa, ya'ni $M_c = \text{const}$ $\omega = f(t)$ va $i = f(t)$ bog'lanishlar (14.5), (14.6) rasmlarda ko'rsatilgandek oddiy eksponensial bog'lanish bilan ifodalanadi. 14.7-rasmda mustaqil qo'zg'atishli

motorni rezistor vositasida ishga tushirishdagi o'tkinchi rejimining xarakteristikallari ko'rsatilgan. Bunda boshlang'ich tokning qiymati maksimal, ya'ni $I_b = I_{\text{maks}}$ bo'lib, chastota ortib borishi bilan uning qiymati kamayib boradi. Tok qiymati $I = I_{\text{min}}$ ga tenglashganda qarshilikning birinchi pog'onasi shuntlanib, tokning qiymati yana I_{maks} gacha ko'tariladi va h. k.

Motor tokining maksimaldan minimal qiymatgacha kamayishi uchun ketgan vaqt (14.30) formuladan aniqlanadi:

$$I_{\text{min}} = I_c + (I_{\text{maks}} - I_c) \cdot e^{-\frac{t_x}{T_m}}, \quad (14.33)$$

bunda t_x — reostatning biror pog'ona qarshiligida motor tokining I_{maks} dan I_{min} gacha o'zgarish vaqti;

T_{mx} — shu pog'onadagi vaqt doimiysi.

(14.33) dan t_x quyidagicha aniqlanadi:

$$t_x = T_{\text{mx}} \ln \frac{I_{\text{maks}} - I_c}{I_{\text{min}} - I_c}. \quad (14.34)$$

Agar ishga tushirish jarayonida $I_c = \text{const}$ bo'lsa, u holda (14.34) ifodaning logarifmi ham o'zgarmas bo'lib, t_x ning soddalashtirilgan ifodasi quyidagicha bo'ladi:

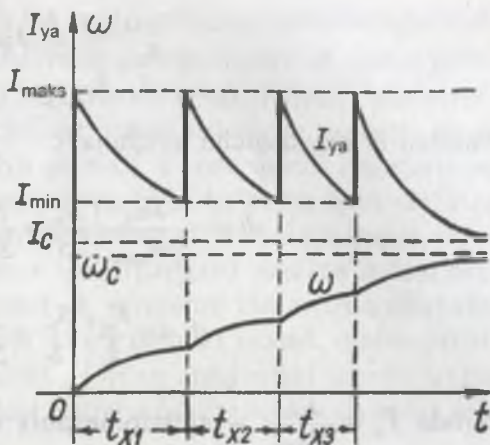
$$t_x = k T_{\text{mx}}. \quad (14.35)$$

Ma'lumki, motor chastotasi ortib borishi bilan, yakor ta'siridagi tashqi qarshilik pog'onalari shuntlanib boriladi. $T_{mx} = \frac{JR}{C_E C_m}$

bo'lgani uchun chastota ortib borishi bilan tashqi pog'ona qarshiligiga tegishli T_{mx} va t_x larning qiymati kamayib boradi, ya'ni $t_{x1} > t_{x2} > t_{x3}$ bo'ladi (14.7-rasm). Yakor zanjiridan rezistor qarshiligi oxirgi pog'onasining chiqarilganidan so'ng $t = (3 \div 4) T_{mx}$ vaqt o'tishi bilan chastota o'zining turg'un qiymatiga erishadi. Ishga tushirish paytida motordagi energiya isrofining qiymati $\Delta A_{isht} = \frac{J\omega_0^2}{2}$ [j] bo'ladi.

Motorni tormozlab to'xtatish jarayonidagi o'tkinchi rejimning $\omega = f(t)$ va $i_{ya} = f(t)$ tenglamalari ham yuqoridagi singari elektr va mexanik muvozanat tenglamalarini yechib topiladi.

Bunda boshlang'ich shartlar boshqacha bo'lgani uchun, integrallash doimiysining qiymati ham o'zgacha bo'ladi.



14.7-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli motorni rezistor vositasida ishga tushirishdagi o'tkinchi rejim xarakteristikalari.

14.6. Asinxron motorlarning o'tkinchi rejimlari

Asinxron motorlarning o'tkinchi rejimlarida ham elektromagnit inersiya mexanik inersiyaga nisbatan anchagina kichik bo'lgani uchun uni hisobga olinmaydi.

Agar motorni ishga tushirishda $M_c = 0$ va elektr tarmog'idagi kuchlanish o'zgarmas bo'lsa, u holda yuritmaning harakat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{2M_{maks}}{\frac{S_{kr}}{S} + \frac{S}{S_{kr}}} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (14.36)$$

bunda $\omega = \omega_0(1 - S)$ va, demak, $\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0 \frac{dS}{dt}$ bo'lib, (14.36) tenglama quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{2M_{\text{maks}}}{S_{kr} + S} = -J\omega_0 \frac{dS}{dt}$$

bundan dt quyidagicha aniqlanadi:

$$dt = -\frac{J\omega_0}{2M_{\text{maks}}} \left(\frac{S_{kr}}{S} + \frac{S}{S_{kr}} \right) dS \quad \text{yoki}$$

$$dt = -\frac{T_m}{2} \left(\frac{S_{kr}}{S} + \frac{S}{S_{kr}} \right) dS, \quad (14.37)$$

bunda $T_m = \frac{J\omega_0}{M_{\text{maks}}}$ — elektromexanik vaqt doimiysi. (14.37) ifodani integrallab motorni ishga tushirish vaqti aniqlanadi, ya'ni:

$$t_{\text{isht}} = \frac{T_m}{2} \int_{S_{\text{ovtir}}}^{S_b} \left(\frac{S_{kr}}{S} + \frac{S}{S_{kr}} \right) dS. \quad (14.38)$$

Qo'zg'almas holat, ya'ni $S = 1$ da ishga tushirish uchun vaqt quyidagicha topiladi:

$$t_{\text{isht}} = \frac{T_m}{2} \left(\frac{1-S_2}{2S_{kr}} + S_{kr} \ln \frac{1}{S} \right). \quad (14.39)$$

Agar $S = 0$ deb qabul qilinsa, u holda $t_{\text{isht}} = \infty$ bo'ladi.

Amalda sirpanish qiymati o'zining turg'un miqdoridan 0,05 ga nisbatan ko'pga farq qilmaganda motorni ishga tushirish jarayoni tugaydi deb qabul qilinadi.

Bunda yuklamasiz, ya'ni $M_c = 0$ bo'lgan motorni ishga tushirish vaqti quyidagicha aniqlanadi:

$$t_{\text{isht}} = \frac{T_m}{2} \left(\frac{1-0,05^2}{2S_{kr}} + S_{kr} \ln \frac{1}{0,05} \right).$$

Agar 0,05 ni kichik deb hisobga olinmasa, quyidagi ifodani olish mumkin:

$$\frac{t_{\text{isht}}}{T_m} = \frac{1}{4S_{kr}} + 1,5 S_{kr}. \quad (14.40)$$

Shunday qilib, ishga tushirish vaqtining nisbiy qiymati sirpanishning kritik qiymatiga, S_{kr} ning qiymati esa rotor zanjirining aktiv qarshiligiga bog'liq bo'ladi.

O'zgaras va o'zgaruvchan tok motorlarining o'tkinchi rejimlaridagi energiya isrofi $\frac{J\omega_m^2}{2}$ ni kamaytirish uchun, dastavval, elektr yuritmaning inersiya momenti J ni kamaytirish kerak. Inersiya momentini kamaytirish uchun ko'pincha, bitta motorni yarim quvvatli ikkita motor bilan almashtirish tavsiya qilinadi. Bunda motor rotorlarining diametri qisqarib, ularning umumiy og'irligi ko'paysa ham ularning umumiy J_m va, demak, GD_m^2 qiymati kamayadi. Bundan tashqari, rotor uzunlashtirilgan (ya'ni diametri qisqartirilgan) maxsus motorlarni ishlatish bilan ham GD_m^2 va, demak, J_m qiymatini kamaytirish mumkin. Elektr yuritma inersiya momenti J ning qiymati asosan, motor yakori yoki rotorining inersiya momenti J_m bilan aniqlanishi sababli uning kamaytirilishi o'tkinchi rejimdagi energiya isrofining kamayishiga olib keladi.

14.7. Elektr yuritmaning o'tkinchi jarayonlarini modellashtirish usuli bilan aniqlash

Elektr yuritma o'tkinchi jarayonlarini tekshirish, ularni boshqarish yo'llarini aniqlash uchun yuqorida ko'rilgan usullardan foydalanish bilangina doimo qoniqarli natijalarga erishish imkoni bo'lmaydi.

Shuning uchun hozirgi paytda murakkab elektr yuritmalarida so'dir bo'ladigan o'tkinchi jarayonlarni ularning modellarida tekshirish va o'rganish keng qo'llanilmoqda.

Elektr yuritmalar modelini fizik yoki matematik asosda yaratish mumkin. Fizik model yaratish uchun elektr yuritmani tashkil qiladigan elementlarning quvvati va gabaritini, ko'pincha kichiklashtirib, ayrim hollarda esa, kattalashtirib olinadi.

Bunda elektr yuritma modelidagi elementlar parametrlarining o'zaro nisbati haqiqiy yuritmaniki singari bo'lishi kerak. Shundagina fizik modeldagi hamma jarayonlarning fizikaviy xususiyatlari haqiqiy-niki singari bo'ladi. Bunday model ishini tekshirish natijasida matematik yo'l bilan hisobga olish mumkin bo'lmagan ba'zi bir ikkinchi darajali hodisalar ta'siri ham aniqlanishi mumkin.

Fizik modelning eng muhim tomonlari shundaki, u orqali haqiqiy qurilmaning turg'un va o'tkinchi jarayon rejimlarini amalda har tomonlama tekshirish, uni sozlash, kamchiliklarini tuzatish, nozik joylarini bilib olish, uni boshqarish mashqini yaxshilab o'rganish imkoni olinadi. Bunday tekshirishlarning haqiqiy qurilmada o'tkazilmasligi, modelda aniqlangan kamchiliklarni o'z vaqtida, ya'ni oldin-

dan yo'qotish imkoni juda katta iqtisodiy va texnik ahamiyatga ega bo'lgan masalalardan hisoblanadi.

Ammo yuritma modelini yaratishda ham birmuncha qiyinchiliklar bo'ladi. Masalan, katta quvvatli o'zgaras tok motori o'rniga nisbatan ancha kichik bo'lgan motor modelini yaratish kerak. Bunda modelning yakor qarshiligi haqiqiylikiga nisbatan ancha katta, qo'zg'atish chulg'ami induktivligi L_q va, demak, elektromagnit vaqt doimiy-
 si $T_e = \frac{L_q}{R_q}$ esa ancha kichik bo'ladi.

Model mashinaning yakor qarshiligini birmuncha kamaytirish uchun quvvati talabga nisbatan kattaroq bo'lgan mashina tanlanadi. Bunda model mashinasidan tok bo'yicha to'la foydalanilmaydi.

Modelda kerakli bo'lgan inersiya momentini hosil qilish uchun motorda yuklama vazifasini o'tovchi generator gabaritini talabga binoan tanlash yoki uning valiga qo'shimcha maxovik o'rnatish kerak bo'ladi.

Matematik model yasash uchun model strukturasi elementlaridagi jarayon haqiqiy jarayonni ifodalovchi matematik tenglamalar asosida o'tishi kerak. Ammo bu usulda matematik tenglamalar bilan ifodalab bo'lmaydigan uyurma tok, yakor reaksiyasi kabi hodisalar ta'sirini matematik model orqali hisobga olishning iloji yo'q. Ko'pincha, matematik model R , L va C elementlaridan tashkil topgan elektr zanjiri sxemalaridan iborat bo'ladi.

Haqiqatan, $M_c = 0$ bo'lganda mustaqil qo'zg'atishli motor toki va chastotasining ishga tushirish paytidagi o'zgarish qonunlari (mexanik va elektromagnit inersiyalarni hisobga olganda) R , L va C dan iborat elektr zanjiridagi o'tkinchi rejimga o'xshash bo'lib, ularni bir xil tipdagi quyidagi matematik tenglamalar bilan ifodalash mumkin:

$$\frac{d^2 i_{ya}}{dt^2} + \frac{di_{ya}}{T_{ya} dt} + \frac{i_{ya}}{T_e T_m} = 0,$$

$$\frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{d\omega}{T_e dt} + \frac{\omega}{T_m T_e} = 0.$$

Motor toki va chastotasining matematik ifodasi bo'lgan bu tenglamalarni ham yuqoridagi singari elektr va mexanik muvozanat tenglamalarini birgalikda yechish bilan topiladi. Bunda $T_e = \frac{L_{ya}}{R_{ya}}$ — elektromagnit vaqt doimiyi.

R , L va C elementlaridan iborat zanjir kuchlanishi o'zgaras elektr tarmog'iga ulanganida hosil bo'lgan tokning o'zgarish qonuni ham yuqoridagi tenglama singari ifodalanadi,

ya'ni

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{dI}{T_1 dt} + \frac{I}{T_1 T_2} = 0,$$

bunda $T_1 = \frac{L}{R}$; $T_2 = RC$ — vaqt doimiysi.

Yuqorida keltirilgan tenglamalarni solishtirish natijasida quyidagi xulosaga kelish mumkin; elektr yuritmaning inersiya momentiga ekvivalent miqdor sifatida sig'imni qabul qilsa bo'ladi. Demak, $C_e = \frac{J}{C_E C_m}$ bo'ladi. Hozirgi paytda yuqori darajali differensial tenglamalardan iborat murakkab masalalarni ham tez va katta aniqlik bilan elektron hisoblash mashinalarida yechilmoqda.

Elektr yuritmadagi hodisalarni tekshirish uchun esa, ko'pincha, analog deb ataluvchi elektron hisoblash mashinalaridan foydalaniladi. Bunda haqiqiy elektr yuritmaning ba'zi zanjirlarini bu mashinadagi kerakli qismlarga ulab, ulardagi o'tkinchi jarayonlarni bevosita o'rganish va, natijada, korrektirlovchi elementlarning ulanish joylarini aniqlash kabi masalalarni yechish ham mumkin.

Analog hisoblash mashinalari R , C elementlari va kuchaytirgichlardan tashkil topgan matematik modellardan iborat bo'ladi.

14.1-masala. Quvvati $P_n = 10$ kW, kuchlanishi $U_n = 220$ V, toki $I_n = 52,2$ A, aylanish chastotasi $n_n = 2250$ ayl/min, $R_{ya} = 0,065$ R_n va $GD^2 = 4,9$ Nm² bo'lgan o'zgarmas tok motorini ikki pog'onali qarshilik bilan ishga tushirishdagi $n = f(t)$ va $i_{ya} = f(t)$ lar hisoblansin. Bunda yuklama toki $I_c = 0,5$ I_n deb qabul qilinsin.

Yechish. Motorning nominal qarshiligi $R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{52,2} = 4,21$ Om bo'lib, $R_{ya} = 0,065 \cdot R_n = 0,274$ Ω bo'ladi.

Ishga tushirish rezistori pog'onalarining qarshiligi grafik usulda aniqlanadi (14.8-rasm).

Buning uchun $I_{maks} = 2I_n = 104,4$ A deb qabul qilinadi. Ikki pog'ona bilan ishga tushirish shartidan I_{min} ning qiymati 38 A bo'lishi aniqlanadi. 14.8-rasmda qurilgan grafikdan rezistor birinchi va ikkinchi pog'ona qarshiliklari aniqlanadi, ya'ni $R_{p1} = 1,35$ Ω , $R_{p2} = 0,49$ Ω bo'ladi.

E.yu.k. va moment koeffitsiyentlari quyidagicha aniqlanadi:

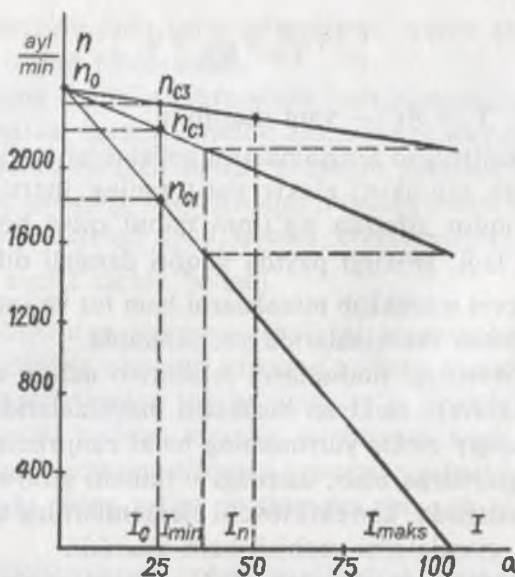
$$C_E = \frac{U - I_n R_{ya}}{n_n} = \frac{220 - 52,2 \cdot 0,274}{2250} = 0,09 \frac{B}{\text{ayl/min}}$$

$$C_m = 9,55 \quad C_E = 9,55 \cdot 0,09 = 0,86 \frac{H \cdot s}{A}.$$

Demak,

$$n_c = \frac{U}{C_E} = \frac{220}{0,09} = 2408 \frac{\text{ayl}}{\text{min}} \text{ bo'ladi.}$$

$n = f(t)$ va $i_{ya} = f(t)$ lar quyidagi formulalar bilan hisoblanadi.



14.8-rasm. Ishga tushirish reostati pog'onalari qarshiligini grafik usulda aniqlash.

Chastotaning birinchi qarshilik pog'onasidagi o'zgarish qonuni quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$n = n_{c1} + (n_{b1} - n_{c1})e^{-\frac{t}{T_m}} = n_{c1} + (0 - n_{c1})e^{-\frac{t}{T_m}},$$

bunda:

$$T_m = \frac{GD^2 \cdot R_l}{375 C_E C_m} = 0,35 \text{ sek}; R_l = R_{ya} + R_{p2} + R_{p1} = 2,11 \Omega.$$

Yuklama toki $I_c = 0,5 I_n$ ga tegishli turg'un chastota n_{c1} grafikdagi masshtabga binoan aniqlansa, $n_{c1} = 1812 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'ladi.

Demak, ishga tushirishning birinchi pog'onasida $n = f(t)$ ni hisoblash formulasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n = 1812 - 1812 e^{-\frac{t}{0,35}};$$

$i_{ya} = f(t)$ ni esa quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$i_{ya} = I_c + (I_{maks} - I_c) e^{-\frac{t}{T_{m1}}} = 26,1 + (104,4 - 26,1) e^{-\frac{t}{0,35}} = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,35}}$$

Birinchi pog'onadagi ishga tushirish vaqti

$$t_1 = T_{m1} \ln \frac{I_{\text{maks}} - I_c}{I_{\text{min}} - I_c} = 0,35 \ln \frac{104,4 - 26,1}{38 - 26,1} = 0,65 \text{ sek.}$$

Shunday qilib, hisoblash formulalaridagi vaqt o'rniga $t = 0 \div 0,65$ sek gacha bo'lgan turli qiymatlar berib, quyidagi jadval tuziladi va undan $n = f(t)$ va $i_{ya} = f(t)$ egri chiziqlarini qurish mumkin.

1 - j a d v a l

№№	t	n	i_{ya}
	sek	ayl/min	A
1	0	0	104,4
2	0,2	762	70,1
3	0,4	1236	50,9
4	0,6	1491	40
5	0,65	1538	38

Ikkinchi pog'onada

$$n = n_{c2} + (n_{b2} - n_{c2}) e^{-\frac{t}{T_{m2}}},$$

$$I_{ya} = I_c + (I_{\text{maks}} - I_c) e^{-\frac{t}{T_{m2}}};$$

$$R_2 = R_{ya} + R_{p2} = 0,76 \text{ Om}; \quad T_{m2} = \frac{GD^2 R^2}{375 C_{ECm}} = 0,125 \text{ sek.}$$

Turg'un chastotaning qiymati

$$n_{c2} = 2192 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$$

Ikkinchi pog'onadagi vaqt

$$t_2 = T_{m2} \ln \frac{I_{\text{maks}} - I_c}{I_{\text{min}} - I_c} = 0,36 \text{ sek.}$$

Demak, hisoblash formulari: $n = 2191 + (1538 - 2192) e^{-\frac{t}{0,125}} = 2192 - 654 e^{-\frac{t}{0,125}}$; $i_{ya} = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,125}}$ bo'ladi.

Bu ma'lumotlar asosida topilgan hisoblash natijalari 2-jadvalda ko'rsatilgan.

2 - j a d v a l

№№	t	n	i_{ya}
	sek	ayl/min	A
1	0	1538	104,4
2	0,05	1760	78,6
3	0,1	1898	61,3
4	0,15	1995	49,7
5	0,24	2093	38

Tabiiy xarakteristikadagi hisoblash formulalari ham yuqoridagi singari bo'ladi, ya'ni

$$R_j = R_a = 0,274 \, \Omega;$$

$$n_{c3} = 2330 \cdot \frac{\text{ayl}}{\text{min}};$$

$$i_{ya} = 26,1 \div 78,3 e^{-\frac{t}{0,045}}$$

$$T_{m3} = \frac{4,9 \cdot 0,274}{375 \cdot 0,09 \cdot 0,86} = 0,045 \text{ sek.}$$

$$n = 2330 - 237 e^{-\frac{t}{0,045}};$$

$$t_3 = 4 T_{m3} = 0,18 \text{ sek.}$$

Hisoblash natijalari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

№№	t	n	i_{ya}
	sek	ayl/min	A
1	0	2093	104,4
2	0,05	2252	51,2
3	0,1	2304	34,6
4	0,18	2326	27,5

14.2-masala. Quvvati $P_n = 15 \text{ kW}$, $n_c = 1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$, $S_n = 2,86\%$, $\lambda = 2,4$ va $GD_m^2 = 0,9 \text{ kgm}^2$ bo'lgan asinxron motorli elektr yuritmani ishga tushirish, tormozlash (teskari ulash bilan) va reverslash vaqtlarini aniqlang.

Mexanizm siltash momentining motor valiga keltirilgan qiymati $GD_{mex}^2 = 0,4 \text{ kgm}^2$ bo'lib, uning qarshilik momenti esa $M_s = 3 \text{ kgm}$.

Yechish 1. Motorning nominal aylanish chastotasi:

$$n_n = n_c(1 - S_n) = 1500(1 - 0,0286) = 1457 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}.$$

$$2. \text{ Motorning nominal momenti } M_n = \frac{975 P_n}{n_n} = \frac{975 \cdot 15}{1457} = 10,05 \text{ kgm}.$$

$$3. \text{ Kritik sirpanish } S_{kr} = S_n(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,028(2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,131.$$

4. Motorni ishga tushirish momenti ($S = 1$ ga teng bo'lganda)

$$M_b = \frac{2 \cdot M_{maks}}{\frac{1}{S_{kr}} + \frac{S_k}{1}} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10,05}{\frac{1}{0,131} + \frac{0,131}{1}} = 6,22 \text{ kgm}.$$

5. Ishga tushirish paytidagi o'rtacha moment

$$M_{o'r} = \frac{M_{maks} + M_b}{2} = \frac{2,4 \cdot 10,05 + 6,22}{2} = 15,15 \text{ kgm}.$$

6. Elektromexanik vaqt doimiysi

$$T_m = \frac{J\omega_c}{M_{\text{maks}}} = \frac{(GD_m^2 + CD_{\text{mex}}^2)\pi \cdot n_c}{4 \cdot g \cdot M_{\text{maks}} \cdot 30} = \frac{1,3 \cdot 3,14 \cdot 1500}{4 \cdot 9,81 \cdot 24,12 \cdot 30} = 0,216 \text{ sek.}$$

7. Motorni ishga tushirish vaqti

$$t_{\text{isht}} = T_m \left(\frac{1}{4S_{\text{kr}}} + \frac{3}{2} S_{\text{kr}} \right) \frac{M_{\text{o'r}}}{M_{\text{o'r}} - M_c} = 0,54 \text{ sek.}$$

8. Teskari ulash bilan motorni tormozlashda $s = 2$, tormozlash momenti

$$M_{c=2} = \frac{2M_{\text{maks}}}{\frac{2}{S_{\text{kr}}} + \frac{S_{\text{kr}}}{2}} = \frac{2024,12}{\frac{2}{0,131} + \frac{0,131}{2}} = 3,16 \text{ kgm.}$$

9. Tormozlash paytidagi o'rtacha moment

$$M_{\text{o'r}} = \frac{M_b + M_{c=2}}{2} = \frac{6,22 + 3,16}{2} = 4,7 \text{ kgm.}$$

10. Tormozlash vaqti

$$t_{\text{et}} = T_m \left(\frac{3}{4S_{\text{kr}}} + 0,345S_{\text{kr}} \right) \frac{M_{\text{o'r}}}{M_{\text{o'r}} - M_c} = 0,76 \text{ sek.}$$

11. Reverslash vaqti

$$t_r = t_{\text{isht}} + t_{\text{et}} = 0,54 + 0,76 = 1,3 \text{ sek.}$$

XV BOB. ELEKTR YURITMA SISTEMASINI TANLASH

15.1. Umumiy tushunchalar

Har bir takomillashgan ish mashinasining konstruksiyasi uning uchun tanlangan elektr yuritma sistemasini hisobga olib yaratiladi. Elektr yuritma hamda motor turlari va quvvatlarini, ularning boshqaruvchi apparatlari va sxemalarini berilgan kinematik sxema, texnologik rejim parametri va talablari asosida aniqlash ish mashinasiga elektr yuritma sistemasini tanlash deb ataladi. Texnologik rejim parametrlari berilgan bo'lishi, yoki ularni hisoblab yoxud o'lchab topish mumkin, ular ish mashinasini ishga tushirish, turg'un ishlash va reverslanish yoki tormozlanib to'xtash paytlarida uning yuklamasi va chastotasining o'zgarish diagrammalari bilan aniqlanadi. Ish mashinasi chastotasining rostanish diapazoni va silliqiligi, berilgan chastotaning o'zgarmay saqlanishi, chastotaning o'zgarishi bilan quvvat yoki momentning o'zgarmay saqlanishi hamda ish mashinasi o'rnatilgan muhit ko'rsatkichlari kabi texnologik talablar elektr yuritma sistemasini tanlashda hisobga olinadi. Bunda yuklama diagrammasiga

binoan dastavval motorning quvvati taxminan aniqlanib, so'ngra u bo'yicha katalogdan motor tanlanadi. Tanlangan motor va elektr yuritma sistemasi parametrlarini hisobga olib berilgan texnologik rejim uchun motor quvvati qayta hisoblanadi. Agar motor quvvati talabdagiga nisbatan kichik bo'lsa, u holda ish mashinasi imkonidan to'la foydalanib bo'lmaydi. Bunda ish mashinasi quvvatidan to'la foydalanish uchun motorni nominaldan ortiq bo'lgan quvvat bilan ishlatish kerak. Bu esa motor chulg'am izolatsiyasining qizib ketishiga va natijada uning tezda ishdan chiqishiga olib keladi. Agar motor quvvati talabdagiga nisbatan katta bo'lsa, u holda elektr yuritma-niing iqtisodiy va texnik ko'rsatkichlari pasayib, motor narxi va undagi quvvat isrofi ortadi. Bunda o'zgaruvchan tok motorlarining quvvat koeffitsiyenti ham normadagiga nisbatan pasayib ketadi.

Elektr yuritma sistemasi to'g'ri tanlanganidagina ish mashinasi va motor quvvatidan to'la hamda optimal foydalaniladi.

Sanoat, transport, qishloq xo'jaligi va boshqa sohalarda elektr yuritmadan juda keng foydalanganligi sababli uni to'g'ri tanlash xalq xo'jaligi ahamiyatiga ega bo'lgan masalalar qatoriga kiradi. Ish ma-shinasi, ko'pincha, o'zgaruvchan yuklama bilan ishlaydi. Bunda elektr motoridan o'tadigan yuklama tokining qiymati ham turlicha bo'ladi. Motor chulg'amidan elektr toki o'tishi bilan u qiziy boshlaydi. Bun-da chulg'amning qizishiga befoйда sarflangan issiqlik energiyasining miqdori quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q = 0,24 \Delta Pt = 0,24 P Rt, \quad (15.1)$$

bunda 0,24 — elektr energiyani issiqlik energiyasiga o'tkazuvchi ek-
vivalent koeffitsiyent.

Demak, motordan ajraladigan issiqlik miqdori uning chulg'ami-dagi yuklama tokining kvadratiga proporsional bo'ladi.

Agar texnologik talabga ko'ra, motor tez-tez ishga tushirilib va to'xtatilib turilsa, u holda bu o'tkinchi rejimlarda motor chulg'ami-dagi tokdan hosil bo'luvchi quvvat isrofi va demak, undan ajraladi-gan issiqlik energiyasi miqdori motorni boshqaruvchi sistemaga ham bog'liq bo'ladi.

Motorning ishlash vaqtida hosil bo'lgan issiqlik energiyasining bir qismi tashqi muhitga berilib turiladi. Demak, ma'lum vaqtdan so'ng motorda ajralayotgan issiqlik energiyasi uning tashqi muhitga uzata-yotgan issiqlik energiyasi qiymatiga tenglashishi mumkin. Bunda motorning qizish jarayoni turg'un holatga o'tib, uning harorati o'zgar-mas qiymatga ega bo'ladi.

Bu haroratining normal qiymati chulg'amlar qoplangan izolatsiya materialining turi va sifati bilan aniqlanadi. O'ta yuklanish sababli motor normadan ortiqroq qizib ketsa, uning chulg'am izolatsiyasi tezda ishdan chiqadi va natijada motorning xizmat davri keskin kamayadi. Motorning quvvati izolatsiyaning normal qizish darajasi bilan aniqlanadi. Demak, katalogdan tanlangan motorning quvvati hisoblab topilgan qiymatga teng yoki undan bir oz katta bo'lishi kerak. Katalogdan tanlangan motor parametrlari o'ta yuklanish (maksimal), ishga tushirish momentlari bilan solishtiriladi. Bunda berilgan yuklama diagrammasida ko'rsatilgan eng katta yuklama momenti va talab qilinadigan ishga tushirish momenti katalogdan tanlangan motorning maksimal va ishga tushirish momentlaridan kamroq bo'lishi kerak. Motorning qizishi uning ishlash paytida sodir bo'luvchi quvvat isrofi ΔP bilan aniqlanadi, ya'ni

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1(1 - \eta) = \Delta P_{-n} X^2 + \Delta P_{-} = \Delta P_{-} + \Delta P = , \quad (15.2)$$

bunda P_1 — motorga berilgan quvvat;

P_2 — motor validagi quvvat;

η — motorning foydali ish koeffitsiyenti;

ΔP_{-} — motorning po'lat qismlaridagi uyurma tok va aylanuvchi qismlaridagi ishqalanishdan sodir bo'ladigan o'zgarma qiymatli, ya'ni yuklamaga bog'liq bo'lmagan quvvat isroflari;

ΔP_{-n} — motor chulg'amlaridagi tokdan hosil bo'lgan quvvat isrofining nominal qiymati. Buning qiymati yuklamaga bog'liq bo'lib, yuklanish koeffitsiyenti X ning kvadratiga to'g'ri proporsional bo'ladi;

$X = \frac{P}{P_n}$ — yuklanish koeffitsiyenti;

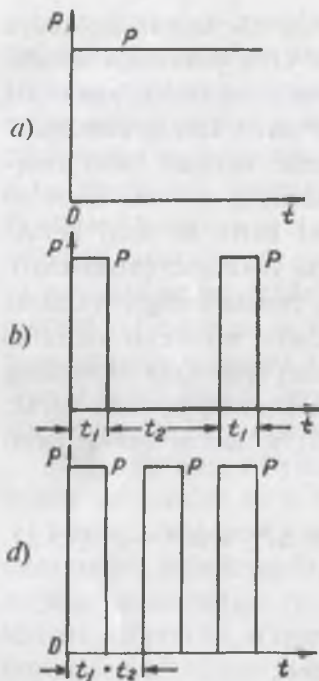
P_n — motor validagi quvvatning nominal qiymati.

Motorning qizish va sovish jarayoni, asosan, elektr yuritmaning ish rejimiga bog'liq bo'ladi.

15.2. Elektr yuritmaning ish rejimlari

Elektr yuritma yuklamasi, ko'pincha, o'zgaruvchan bo'ladi.

Ammo u uzoq muddatli o'zgarma yoki o'zgaruvchan yuklamada hamda qisqa muddatli va takrorlanuvchi qisqa muddatli rejimlarda ham ishlaydi. 15.1-rasm, a da uzoq muddatli o'zgarma yuklama bilan ishlaydigan ish mashinasining yuklama diagrammasi ko'rsatilgan. Bunday yuklama rejimini, ko'pincha, ventilator, nasos, trans-



15.1-rasm. Ish mashinasining:

a — uzoq muddatli; *b* — qisqa muddatli; *d* — takrorlanuvchi qisqa muddatli rejimlardagi yuklama diagrammalari.

portyor kabi mexanizmlarda uchratish mumkin. Uzoq muddatli ish rejimida motor o'zining normal haroratigacha qiziy oladi. 15.1-rasm, *b* da qisqa muddatli ish rejimiga tegishli yuklama diagrammasi ko'rsatilgan. Bunda t_1 ish vaqtida P quvvatga tanlangan motor o'zining normal haroratigacha qiziy olmaydi. Ammo elektr tarmog'idan ajratilgan motor harorati t_2 davrda (pauza) tashqi muhit haroratigacha soviy oladi.

Tashqi muhit harorati, odatda 35° ga teng deb qabul qilinadi. Qisqa muddatli ish rejimi ko'pchilik stanoklarning yordamchi mexanizmlari va shu kabilarda uchraladi.

15.1-rasm, *d* da takrorlanuvchi qisqa muddatli ish rejimiga tegishli yuklama diagrammasi ko'rsatilgan. Bunda P quvvatga tanlangan motor t_1 ish davrida o'zining normal haroratigacha qiziy olmaydi, t_2 da esa uning harorati tashqi muhitnikigacha soviy olmaydi. Bunday ish rejimi, ko'pincha, kran va stanoklarda uchraydi.

15.3. Motorning uzoq muddatli o'zgarmas yuklama bilan ishlash rejimidagi qizish va sovish jarayonlari

Motorning ish jarayonida uning turli, ya'ni cho'yan korpusi, po'lat magnit sistemasi, mis chulg'amlari va izolatsiyalovchi materialdan iborat qismlari har xil harorat bilan qiziydi.

Bunda motorning qizish jarayonini hisoblash juda ham murakkab bo'ladi. Qizish jarayonini osonroq hisoblash uchun turli qismlardan iborat bo'lgan motorni ekvivalent issiqlik sig'imiga ega bo'lgan bir xil materialdan iborat deb qabul qilinadi. Bunda motorning qizish jarayonini issiqlik balansining quyidagi differensial tenglamasi bilan ifodalash mumkin:

$$Qd\tau = A\tau dt + C d\tau, \quad (15.3)$$

bunda Q — motordagi quvvat isrofidan har bir sekunda hosil bo'luvchi issiqlik qiymati, $\frac{\text{kal}}{\text{sek}}$ yoki $\frac{\text{J}}{\text{sek}}$;

τ — motor haroratining tashqi muhit haroratidan yuqoriligi, ya'ni motorning qizish darajasi; grad;

A — motor bilan tashqi muhit o'rtasidagi harorat farqi 1 gradusga teng bo'lganda, uning sathidan bir sekunda tashqi muhitga tarqaladigan issiqlik miqdori, $\frac{\text{kal}}{\text{sek grad}}$ yoki $\frac{\text{J}}{\text{sek grad}}$.

C — motor issiqlik sig'imi, $\frac{\text{kal}}{\text{sek}}$ yoki $\frac{\text{J}}{\text{sek}}$.
 t — vaqt, sek.

Motorning qizish jarayoni $\tau = f(t)$ bog'lanish bilan xarakterlanib, uni (15.3) ifodadan quyidagicha aniqlanadi:

$$dt = \frac{C d\tau}{Q - A\tau}. \quad (15.4)$$

(15.4) ni integrallab, quyidagi topiladi:

$$t = \frac{C}{A} \ln(Q - A\tau) + K, \quad (15.5)$$

bunda K — integrallash doimiysi bo'lib, uni boshlang'ich shartga binoan, ya'ni $t = 0$ bo'lganda $\tau = \tau_0$ bo'ladi deb aniqlanadi: $K = \frac{C}{A} \ln(Q - A\tau_0)$; K ning qiymatini (15.5) ga qo'yib quyidagi ifoda hosil qilinadi:

$$t = -\frac{C}{A} \ln \frac{Q - A\tau}{Q - A\tau_0}. \quad (15.6)$$

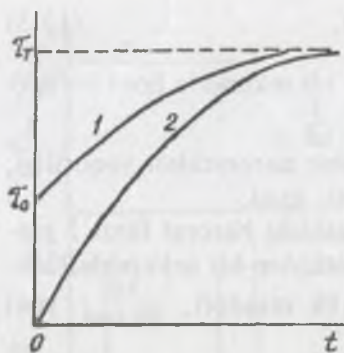
(15.6) ni τ ga nisbatan yechib, quyidagi olinadi:

$$\tau = \frac{Q}{A} \left(1 - e^{-\frac{At}{C}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{At}{C}}. \quad (15.7)$$

(15.7) dagi $\frac{Q}{A} = \tau_r$ va $\frac{C}{A} = T_q$ deb, motorning qizish jarayonini xarakterlaydigan tenglama hosil qilinadi:

$$\tau = \tau_r \left(1 - e^{-\frac{t}{T_q}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T_q}}. \quad (15.8)$$

bunda τ_r — motorning turg'un ish rejimidagi qizish harorati;
 T_q — qizishning vaqt doimiysi.



15.2-rasm. Elektr motorning qizish egri chiziqlari.

qilinadi.

Qizishning vaqt doimiysi T_q quyidagicha talqin qilinadi. Bu vaqt davomida motor tashqi muhitga issiqlik tarqatmasdan, uning harorati turg'un qiymatgacha ko'tariladi. Haqiqatan $A = 0$ bo'lganda (15.3) tenglama quyidagicha ifodalanadi:

$$Q dt = C d\tau. \quad (15.10)$$

Agar $\tau_0 = 0$ bo'lsa, (15.10) dan quyidagi olinadi:

$$t = \frac{C}{Q} \tau. \quad (15.11)$$

(15.11) ga $\tau = \tau_r = \frac{Q}{A}$ ni qo'yib, motorning turg'un haroratgacha qizishi uchun ketgan vaqt t_1 aniqlanadi:

$$t_1 = \frac{C}{Q} \tau_r = \frac{C}{A} = T_q. \quad (15.12)$$

Agar real sharoit hisobga olinsa, ya'ni muhitga motordagi issiqlikning bir qismi tarqalib turiladi deyilsa, u holda T_q vaqt davomida motor harorati $\tau = 0,632 \tau_r$ gacha qiziydi.

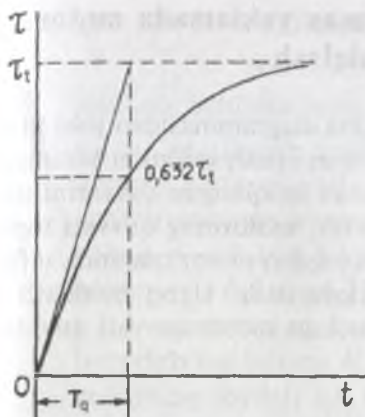
Haqiqatan (15.9) tenglamadagi t o'rniga T_q qo'yilsa, yuqoridagi ifoda, ya'ni $\tau = \tau_r \left(1 - e^{-\frac{T_q}{\tau_r}}\right) = 0,632 \tau_r$ olinadi.

Tajriba asosida qurilgan $\tau = f(t)$ egri chizig'idan T_q ning qiymatini aniqlashda yuqorida olingan ifodadan foydalaniladi. 15.3-rasmda tajriba bilan topilgan $\tau = f(t)$ egri chizig'iga urinma o'tkazib, T_q ning qiymatini aniqlash ko'rsatilgan. Yakorining diametri 160÷600 mm bo'lgan o'zgarmas tok mashinalari uchun qizishning vaqt doimiysi taxminan $T_q = 25 \div 90$ min; yakorining diametri 100÷400 mm bo'lgan

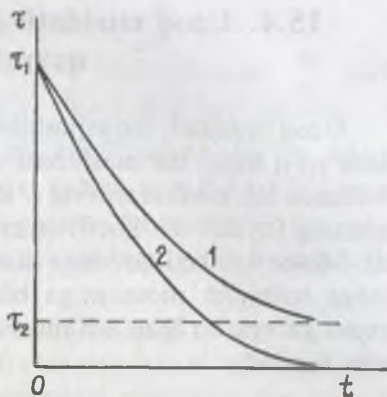
Agar $t = 0$ bo'lganda $\tau_0 = 0$ bo'lsa, u holda (15.8) quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau = \tau_r \left(1 - e^{-\frac{t}{T_q}}\right). \quad (15.9)$$

15.2-rasmda (15.8) va (15.9) ifodalar asosida qurilgan $\tau = f(t)$ egri chiziqlari ko'rsatilgan. Bu tenglamalarga binoan, motor o'zining turg'un holatdagi normal harorati τ_r ga ega bo'lishi uchun vaqt cheksiz katta, ya'ni $t = H$ bo'lishi kerak. Amalda esa bu vaqt $t \approx 3 \div 4 T_q$ ga teng deb qabul



15.3-rasm. Qizish egri chizig'idan grafik usulda motorning qizish doimiysini aniqlash.



15.4-rasm. Elektr motorining sovish egri chiziqlari.

yopiq MΠ tipidagi mashinalar uchun $T_q = 65 \div 270$ min bo'lib, rotorining diametri $105 \div 140$ mm bo'lgan qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlar uchun $T_q = 11 \div 22$ min; rotorining diametri $160 \div 600$ mm bo'lgan faza rotorli motorlar uchun esa $T_q = 25 \div 90$ min bo'ladi. Elektr tarmog'idan ajratilgan yoki kamroq yuklamaga o'tkazilgan motorning sovish jarayonidagi $\tau = f(t)$ bog'lanishini topish uchun (15.8) ifodadan foydalanish mumkin. Buning uchun $\tau_0 = \tau_1$ va $\tau_1 = \tau_2$ deb, quyidagi tenglama olinadi:

$$\tau = \tau_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_q}} \right) = \tau_1 e^{-\frac{t}{T_q}}. \quad (15.13)$$

Agar $\tau_2 = 0$ bo'lsa, u holda (15.3) tenglama quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau = \tau_1 e^{-\frac{t}{T_q}}, \quad (15.14)$$

15.14-rasmda motorning (15.13) va (15.14) ifodalar asosida qurilgan sovish egri chiziqlari ko'rsatilgan.

Shunday qilib, quvvati to'g'ri aniqlangan motorning turg'un ish rejimidagi harorati $\tau_1 = \tau_{\text{norm}}$ bo'lishi kerak. Bunda τ_{norm} motorning chulg'am izolatsiyasi tipiga binoan aniqlangan normal qizish harorati.

15.4. Uzoq muddatli o'zgarmas yuklamada motor quvvatini aniqlash

Uzoq muddatli ish rejimining yuklama diagrammasidan yoki hisoblash yo'li bilan ish mashinasi quvvatini aniqlash mumkin bo'lmagan hollarda ish mashinasining o'lchash bilan aniqlangan quvvatini uzatmaning foydali ish koeffitsiyentiga bo'lib, motorning quvvati topiladi. Motor validagi quvvatga binoan katalogdan motor tanlanib, u faqat ishga tushirish momentiga binoan tekshiriladi. Uzoq muddatli ish rejimiga ega bo'lgan ish mashinalari uchun motor quvvati quyidagicha topiladi.

Ventilator uchun motor quvvatini aniqlash

Ventilator parrakli yoki markazdan qochma kuchga asoslangan konstruksiyada tuzilib, ish unumi $Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{sek}} \right]$ va bosimi H [mm suv ustuni] bilan xarakterlanadi.

Markazdan qochma kuchga asoslangan ventilatorlar past bosimli ($H \leq 100$ mm suv ustuni); o'rta bosimli ($H \leq 100 \div 400$ mm suv ustuni) va yuqori bosimli ($H \geq 400$ mm suv ustuni) qilib chiqariladi. Ventilator quvvati quyidagi mulohazalar asosida topiladi.

Agar solishtirma og'irligi $\gamma \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ bo'lgan havoni ko'ndalang kesimi $F [\text{m}^2]$ bo'lgan trubadan $v \left[\frac{\text{m}}{\text{sek}} \right]$ tezlikda o'tkazish lozim bo'lsa, u holda bir sekundda haydalgan havo og'irligi q quyidagicha aniqlanadi:

$$q = Fv\gamma. \quad (15.15)$$

Havoning massasi

$$m = \frac{q}{g} = \frac{Fv\gamma}{g}$$

Havonining ventilatordan oladigan kinetik energiya zapasi:

$$A = \frac{mv^2}{2} = \frac{Fv^3\gamma}{2g}. \quad (15.16)$$

Bu ifodani ventilator va uzatmaning foydali ish koeffitsiyentlariga bo'lib, motor validagi quvvat quyidagicha aniqlanadi:

$$P_m = \frac{QH}{102\eta_b\eta_u} \text{ kW}, \quad (15.17)$$

bunda $Q = Fv$ — ventilatorning ish unumi, $\frac{m^3}{\text{sek}}$;
 $H = \gamma \frac{v^2}{2g}$ — ventilatorning umumiy tezlik bosimi, $\frac{kg}{m^2}$ yoki mm suv ustuniga teng bo'ladi ($1 \frac{kg}{m^2} = 1 \text{ mm suv ustuni}$)

η_v — ventilatorning foydali ish ko'effitsiyenti bo'lib, uning qiymati katta quvvatli ventilator uchun $\eta_v = 0,4 \div 0,75$, markazdan qochma kuchga asoslangan o'rta quvvatli ventilator uchun $\eta_v = 0,3 \div 0,5$ va kichik quvvatdagi parrakli ventilator uchun $\eta_v = 0,2 \div 0,35$ bo'ladi.

η_u — uzatmaning foydali ish ko'effitsiyenti. Parrakli ventilyatorlarning bosimi $H = 4 \div 10$ mm suv ustuni bo'ladi. Uzatmalarning foydali ish ko'effitsiyentlari uzatma turiga binoan aniqlanadi. Agar $H \left[\frac{H}{m^2} \right]$ da olinsa, $P_m = \frac{QH}{10^3 \cdot \eta_b \cdot \eta_u}$ kW bo'ladi.

Shunday qilib, (15.15) ifodaga binoan ventilatorning ish unumi havo tezligining birinchi darajasiga proporsional bo'ladi ($F = \text{const}$ bo'lganda). Havoning tezligi ventilatorning aylanishiga bevosita bog'liqligi sababli ventilatorning ish unumi ham uning bir minutdagi aylanishlari soniga to'g'ri proporsionaldir:

$$q = Fv\gamma \equiv n. \quad (15.18)$$

(15.16) ifodaga binoan ventilator quvvati havo tezligining va, demak, aylanish chastotasining kubiga proporsional bo'ladi:

$$P \equiv v^3 \equiv n^3. \quad (15.19)$$

Moment $M = \frac{9550 P_n}{n_n}$ bo'lganidan aylantiruvchi moment qiymati tezlikning kvadratiga proporsional, ya'ni

$$M \equiv n^2. \quad (15.20)$$

(15.17) ga binoan ventilator bosimi ham aylanish chastotasining kvadratiga proporsional bo'ladi, ya'ni

$$H \equiv n^2 \quad (15.21)$$

Ventilatorlarni yuqoridagi ifodalarga rioya qilib ishlatish shart. Aks holda, ya'ni ventilator ish jarayonida o'zi uchun loyihalangan miqdorlar bilan ishlamas, uning ish unumi, bosimi va quvvati (15.18), (15.19), (15.20) va (15.21) lar asosida qayta hisoblanishi kerak.

Nasoslar uchun motor quvvatini aniqlash

Qishloq xo'jaligidagi yer massivlarini sug'orish, qishloq aholisi va fermalarni suv bilan ta'minlash, vertikal, gorizontaal drenaj va shu kabi irrigatsiya inshootlari uchun porshenli va markazdan qochma kuchga asoslangan nasoslar, zanjirli va vintli suv ko'targichlari hamda charxpalaklardan foydalaniladi. Texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarga binoan elektr motori bilan harakatga keltiriladigan markazdan qochma kuchga asoslangan nasoslar suvni uzatish uchun eng qulay ish mashinalaridan hisoblanadi. Qishloq xo'jaligiga berilayotgan elektr energiyasining yarmidan ko'p qismi nasoslarning elektr yuritmasiga sarflanadi. Nasos motorining quvvati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$P_m = \frac{Q\gamma H}{102\eta_n\eta_y} \text{ kW}, \quad (15.22)$$

bunda Q — nasosning ish unumi, $\frac{\text{m}^3}{\text{sek}}$;

γ — suyuqlikning solishtirma og'irligi (suv uchun $= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$);

H — suyuqlikning nasos bilan umumiy ko'tarilish balandligi, m; H ning miqdori $H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$ lardan iborat bo'lib, bu yerda

H_1 — suvning so'rilish balandligi, uning qiymati suv manbai yuzasidan nasos o'qigacha bo'lgan masofa bilan o'lchanadi;

H_2 — suvni nasos o'qidan to u bilan ta'minlanadigan punktning eng baland nuqtasigacha ko'tarish uchun kerak bo'lgan gidrostatik bosim; H_3 — suvni so'ruvchi va haydovchi trubalar hamda ulardagi burilishlar va ventillarda yo'qotiladigan bosim isroflarini hisobga oladigan bosim; H_4 — trubadagi suvning undan berilgan tezlikda chiqishini ta'minlaydigan erkin bosim;

$\eta_n\eta_y$ — nasos va uzatmaning foydali ish koeffitsiyentlari.

Nasosning ish unumi, odatda, iste'molchi tomonidan hisoblanadi va berilgan bo'ladi.

Nasos bilan haydaladigan suyuqlikning solishtirma og'irligi ma'lumotnomalardan olinadi. H_1 miqdorining nazariy qiymati atmosfera bosimi bilan suv haroratiga bog'liq bo'ladi (quyidagi 1 va 2-jadval-larga qarang).

Nasos o'rnatilgan joyning dengiz sathidan balandligi, m	0	100	200	300	400	500	600	800
Atmosfera bosimi, m suv ustuni	10,3	10,2	10,1	9,9	9,8	9,7	9,6	9,4

2 - j a d v a l

Suv harorati, °C	0	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Suv bug'ining bosimi, m suv ustuni	0,06	0,12	0,17	0,24	0,32	0,43	0,75	1,3	2,3	2,4

Demak, suv haroratining ortib borishi bilan bug'lanish ham kuchayishi sababli so'rish balandligi pasayib boradi. Shunga binoan, katta quvvatli nasoslarning o'qi bilan suv manbaining eng pastki sirti orasidagi balandlik amalda $6 \div 7$ metrdan, kichik quvvatli nasoslarda esa $4 \div 5$ metrdan ortiq bo'lmaydi. Agar suv manbaining sirti keskin o'zgaradigan bo'lsa, u holda nasos stansiyasini maxsus qayiq ustiga o'rnatiladi.

Nasoslarning suv so'rish trubalarining pastki uchi bilan suv manbaining eng pastki sirti orasidagi balandlik $0,5$ metrdan kam bo'lmashligi lozim.

Chuqur quduqlardan suv tortish uchun, ko'pincha, porshenli nasoslardan foydalaniladi. Bu nasoslarni suv sirtidan kerakli bo'lgan balandlikda o'rnatish imkoni bor.

Bunda elektr motorini yer yuzasiga o'rnatib u bilan nasos uzun shtangali krivoship mexanizmi orqali bog'lanadi. Nasos orqali haydalgan suvning trubalardan chiqish tezligi markazdan qochma kuchga asoslangan nasoslar uchun $v \leq 0,5 + 2,5 \frac{m}{sek}$, porshenli nasoslar uchun esa so'rish trubasida $v \leq 0,75 + 0,8 \frac{m}{sek}$, haydash trubasida $v \leq 0,75 + 1,5 \frac{m}{sek}$ bo'ladi. H_3 bosimning trubaning to'g'ri uchastkasidagi qismi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$h_{to'g'ri} = \lambda \frac{Lv^2}{d2 \cdot g} \quad [m. \text{ suv ustuni}], \quad (15.23)$$

bunda L — truba to'g'ri uchastkasining uzunligi, m;

d — truba diametri, m;

v — suv tezligi, $\frac{m}{sek}$;

λ — trubadan chiqayotgan suv tezligiga bog'liq koeffitsiyent.

Buning qiymati turli chastotalar uchun jadvaldan topiladi (ma-

salaga qarang). Burilish va ventillardagi bosim isrofi ham (15.23) ifodaga o'xshash ifodalar bilan aniqlanadi (masalaga qarang).

Erkin bosim qiymati $H_4 = 6 \div 7$ m suv ustuniga teng deb qabul qilinadi.

Taqribiy hisoblashlarda markazdan qochma kuchga asoslangan nasos foydali ish koeffitsiyentini past bosimli ($H \leq 15$ m) nasoslar uchun $\eta_n = 0,25 \div 0,6$, o'rta bosimli ($H > 40$ m) nasoslar uchun $\eta_n = 0,4 \div 0,8$ ga teng deb olish mumkin.

Porshenli nasoslarning foydali ish koeffitsiyentlari markazdan qochma kuchga asoslangan nasoslarnikiga nisbatan taxminan 10% ga yuqoridir. Markazdan qochma kuchga asoslangan nasoslar aylanish chastotasining o'zgarishi bilan ularning ish unumi, bosimi va iste'mol qiladigan quvvati ventilatorlarniki singari quyidagicha o'zgaradi, ya'ni

$$Q \equiv n \quad (15.24)$$

$$H \equiv n^2 \quad (15.25)$$

$$P \equiv n^3 \quad (15.26)$$

Agar nasosning so'rish balandligi kamayib borsa, motorning yuklamasi ortib boradi.

Bunda motor o'ta yuklanmasligi uchun nasos ish unumini kamaytirish lozim. Buning uchun esa motor chastotasini kamaytirish yoki so'rish trubasining ko'ndalang kesimini maxsus klapan bilan kich-raytirish kerak.

Markazdan qochma nasoslarda klapan va porshenlar bo'lmaganligidan ularning ishlashdagi ishonchligi ancha yuqori bo'ladi. Bunday nasoslar $1000 \div 3000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ chastotalarga hisoblanib, elektr motorlari bilan bevosita aylantiriladi. Shuning uchun nasos stansiyalari ixcham va shovqinsiz ishlaydigan konstruksiyada bo'ladi. Markazdan qochma nasosni ishga tushirish uchun haydovchi trubadagi ventil yopiq bo'lishi kerak. Motor chastotasi o'zining nominal qiymatiga erishganidan so'ng ventolni ochish mumkin. Nasosni ishga tushirish oldidan uning kamerasini va so'rish trubalarini suv bilan to'ldirish lozim. Porshenli nasoslarning ish unumi va quvvati motorning aylanish chastotasiga to'g'ri proporsionaldir. Porshen va berilayotgan suvning chastotasi o'zgaruvchan bo'lganligi sababli motor quvvati pulsatsiyalanib turadi. Shunga ko'ra, bunda inersiya kuchlari haddan tashqari ortib ketmasligi uchun porshenning harakat soni chegaralanadi.

Kichik quvvatli nasoslar uchun porshenning harakat soni minutiga 30÷60 dan, o'rta quvvatli nasoslarda 50÷200 dan va katta quvvatli nasoslarda 100÷300 dan ortiq bo'lmashligi kerak. Bunday nasoslar to'la bosimda ishga tushirilishi sababli motor ishga tushirish momentining katta bo'lishi talab qilinadi.

15.1-masala. Bir sutkada 4 soat ishlab, 50 m³ suvni 22 metr balandlikka chiqarib berish uchun kerak bo'lgan markazdan qochma nasos uchun motor quvvati aniqlansin.

Berilgan 22 m balandlikka H_1 , H_2 va H_4 masofalar kiradi.

Bunda H_1 — suv sirtining eng pastki nuqtasidan nasos o'qigacha bo'lgan masofa;

H_2 — nasos o'qidan suv ko'tariladigan eng baland nuqtagacha bo'lgan masofa;

H_4 — suvning trubadan berilgan tezlikda chiqishini ta'minlaydigan bosim.

Demak, $H_1 + H_2 + H_4 = 22$ m. Trubaning uzunligi $L = 200$ m bo'lib, u uchta ventil va uchta burilishga ega. Trubaning diametri $d = 65$ mm.

Yechish. 1) Nasosning 1 sekunddagi ish unumi $Q_{\text{sek}} = \frac{Q_{\text{sutka}}}{4 \cdot 3600} = \frac{50}{14400} = 0,0035 \frac{\text{m}^3}{\text{sek}}$.

2) Trubaning to'g'ri qismidagi bosim isrofi

$$h_{\text{to'g'ri}} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad [\text{metr suv ustuni}],$$

bunda

$$v = \frac{Q_{\text{sek}}}{\pi n^2} = \frac{0,0035 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,065^2} = 1,06 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$$

suvning trubadan chiqish tezligi.

λ — trubadagi suv tezligiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent. Uni quyidagi jadvaldan aniqlanadi:

№№	v	λ
	$\frac{\text{m}}{\text{sek}}$	
1	0,05	0,057
2	0,1	0,044
3	0,2	0,036
4	0,3	0,032
5	0,5	0,028
6	1	0,024
7	2	0,021
8	3	0,02
9	6	0,018

№№	$\frac{d}{R}$	ξ
1	0,1	0,13
2	0,2	0,138
3	0,3	0,158
4	0,4	0,21
5	0,5	0,29
6	0,6	0,44
7	0,8	0,98
8	1	1,98

Demak, $v = 1,06 \frac{\text{m}}{\text{sek}}$ ga tegishli $\lambda = 0,024$ bo'lib, $h_{\text{to'g'ri}} = 0,024 - \frac{200 \cdot 1,06^2}{0,065 \cdot 2 \cdot 9,81} = 4,2$ [metr suv ustuni] bo'ladi. Ventil va burilishlardagi bosim isrofi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$h_{\text{bur}} = 3\xi \frac{v^2}{2g} \text{ m. suv ustuni,}$$

bunda ξ — truba parametrlariga binoan quyidagi jadvaldan aniqlanadigan koef-fitsiyent;

d — truba diametri;

R — trubaning ichki burilish radiusi;

$\frac{d}{R} = 0,3$ deb qabul qilinsa, u holda $\xi = 0,158$ bo'lib, burilishlardagi bosim isrofi

$$h_{\text{bur}} = 3\xi \frac{v^2}{2g} = 3 \cdot 0,158 \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 0,027 \text{ m.}$$

suv ustuni bo'ladi.

Ventil uchun $\xi = 0,49$ deb qabul qilinsa, $h_{\text{ven}} = 3 \cdot 0,49 \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 0,09$ m. suv ustuni. Demak, $H_3 = h_{\text{to'g'ri}} + h_{\text{bur}} + h_{\text{ven}} = 4,2 + 0,027 + 0,09 = 4,56$ m. suv ustuni bo'lib, suvning umumiy ko'tarish balandligi $H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = 22 + 4,56 = 26,56$ m. suv ustuni bo'ladi.

Shunday qilib, umumiy bosim, ya'ni $H = 26,56$ metr suv ustuni va ish unumi Q ga binoan katalogdan kerakli tipdagi nasos tanlanadi. So'ngra bu nasos uchun motordan talab qilinadigan quvvat, ya'ni $P_m = \frac{Q \cdot H}{10^3 \eta_n \eta_g}$ aniqlanadi, bunda $\gamma = 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$ — suvning solishtirma og'irligi;

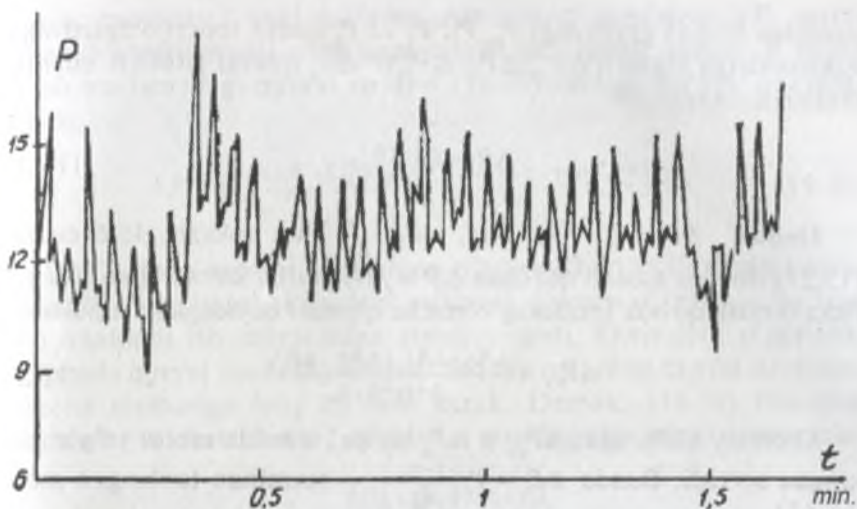
$Q = 0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{sek}}$ — tanlangan nasosning ish unumi;

$H = 29$ m suv ustuni — tanlangan nasosning umumiy bosimi.

$\eta_n = 0,5$ — tanlangan nasosning foydali ish koeffitsiyenti. Tanlangan nasos $1450 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ ga mo'ljallangani uchun motorni ham shu chastotaga tanlash lozim. Bunda uzatmaning f. i. k. $\eta_g = 1$ bo'ladi. Shunday qilib, $P_m = \frac{0,004 \cdot 9810 \cdot 29}{0,5 \cdot 1 \cdot 10^3} = 2,3 \text{ kW}$ ga binoan, nasos uchun katalogdan AO2-32-4 tipli, quvvati $P_n = 3 \text{ kW}$, chastotasi $n = 1450 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lgan asinxron motor tanlanadi.

15.5. Uzoq muddatli o'zgaruvchan yuklamada motor quvvatini aniqlash

O'zgaruvchan yuklamada motor quvvatini uning qizish darajasi-ga binoan aniqlash ancha murakkab bo'ladi. 15.5-rasmda qishloq xo'jalik mahsulotlarini yanchadigan mashinaning yuklama diagram-masi ko'rsatilgan. Bunday o'zgaruvchan yuklamali diagrammadan quvvatning o'rtacha arifmetik qiymatini topib, so'ngra unga binoan



15.5-rasm. Yanchish mashinasining yuklama diagrammasi.

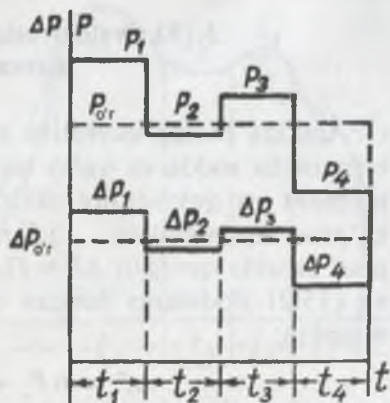
motor quvvatini aniqlash, albatta, noto'g'ri bo'ladi. Haqiqatan, (15.1) ifodaga binoan, motorda hosil bo'ladigan quvvat isrofi va, demak, undan ajraladigan issiqlik energiyasi miqdori tokning kvadratiga proporsionaldir. Shuning uchun o'zgaruvchan yuklamada motor quvvatini quyidagi usullar bilan aniqlash qulayroq bo'ladi.

1. O'rtacha isrof usuli

Bu usul motorda ajraladigan quvvat isrofining o'rtacha qiymatini aniqlashga asoslangan.

15.6-rasmda yuklama qiymati pog'onali o'zgaradigan uzoq muddatli ishlash rejimining grafigi ko'rsatilgan.

O'rtacha isrof usuliga binoan, dastavval, grafikdagi quvvatning o'rtacha arifmetik qiymati, P_{or} , aniqlanadi va uni 1,1 ÷ 1,8 ga teng bo'lgan zaxira koeffitsiyentiga ko'paytirib, u bo'yicha katalogdan motor taxminan tanlanadi. Tanlangan motorning katalogda keltirilgan $\eta = f(P)$ bog'



15.6-rasm. Uzoq muddatli ishlash rejimining grafigi.

lanishiga binoan grafikdagi P_1, P_2, P_3 va P_4 lardan iborat o'zgaruvchan yuklamalarga tegishli $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ va ΔP_4 quvvat isroflari quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\Delta P = P \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right). \quad (15.27)$$

Demak, $\Delta P_1 = P_1 \left(\frac{1-\eta_1}{\eta_1} \right)$; $\Delta P_2 = P_2 \left(\frac{1-\eta_2}{\eta_2} \right)$ va hokazo. 15.6-rasmda (15.27) ifodaga asosan qurilgan $\Delta P = f(t)$ grafigi ko'rsatilgan. Bu grafikka binoan quvvat isrofining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P_{or} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3 + \Delta P_4 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (15.28)$$

Shunday qilib, agar $\Delta P_{or} \leq \Delta P_n$ bo'lsa, u holda motor to'g'ri tanlangan bo'ladi. Bunda $\Delta P_n = P_n \left(\frac{1-\eta_n}{\eta_n} \right)$ — taxminan tanlangan motor quvvati isrofining katalogdan olingan nominal qiymati. Agar $\Delta P_{or} > \Delta P_n$ bo'lsa, u holda tanlangan motordan bir shkala katta quvvatli boshqa motor olinib, uni yuqoridagi singari qayta tekshiriladi.

Qizish haroratiga binoan to'g'ri tanlangan, ya'ni $\Delta P_n \geq \Delta P_{or}$ bo'lgan motor o'ta yuklanish va ishga tushirish momentlari bo'yicha tekshiriladi va shu bilan motor tanlash tugaydi. Bunda maksimal va minimal qiymatli quvvat isroflari o'rniga ularning o'rtacha qiymati olingan bo'lsa, bu usul bilan motor quvvatini hisoblash va tanlash yetarli darajada aniq bo'ladi. Ammo motor kataloglarida turli yuklamalarga tegishli η qiymati ko'pincha berilmaydi. Shu sababli bu usul amalda kam qo'llaniladi.

2. Ekvivalent miqdorlar usuli bilan motor quvvatini aniqlash

Amalda motor quvvatini aniqlashda yuqoridagi usulga nisbatan birmuncha sodda va qulay bo'lgan ekvivalent miqdorlar, ya'ni tok, moment va quvvatning ekvivalent miqdoriga asoslangan usuldan ko'proq foydalaniladi. 15.6-rasmda ko'rsatilgan yuklama diagrammasi asosida qurilgan $\Delta R = f(t)$ ning har bir pog'onasi uchun (15.1) va (15.2) ifodalarga binoan quvvat isrofini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\Delta P_x = \Delta P_{\Sigma} + \Delta P_{\Delta} = \Delta P_{\Sigma} + \delta I_x^2, \quad (15.29)$$

bunda δ — motor chulg'ami qizishi bilan uning qarshiligi o'zgarishini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

Agar motordagi turli yuklamalarda quvvat isrofining ΔP_{Σ} qismi hamda δ koeffitsiyenti o'zgarmas qoladi deb qabul qilinsa, u holda har bir yuklamadagi quvvat isrofini (15.28) ifodaga qo'yib, quyidagi olinadi:

$$\Delta P_{\Sigma} + \delta I_{\Sigma}^2 \frac{(\Delta P_{\Sigma} + \delta I_1^2)t_1 + (\Delta P_{\Sigma} + \delta I_2^2)t_2 + \dots + (\Delta P_{\Sigma} + \delta I_4^2)t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (15.30)$$

(15.30) ifoda asosida motorning o'zgaruvchan yuklamadagi uzoq muddatli ish rejimini ekvivalent yuklama qiymati o'zgarmas bo'lgan uzoq muddatli ish rejimi bilan almashtiriladi. Ekvivalent o'zgarmas yuklamada quvvat isrofining qiymati haqiqiy rejimdagi quvvat isrofining o'rtacha qiymatiga teng bo'lishi kerak. Demak, (15.30) ifodadan foydalanib, ekvivalent tok I_e qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + I_4^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}, \quad (15.31)$$

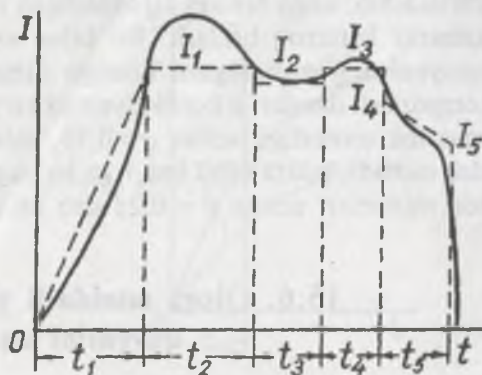
bunda I_1, I_2, I_e va I_4 — taxminan tanlangan motorning turli yuklamalar bilan ishlashiga tegishli toklari. (15.31) ifodaga binoan katalogdan motor tanlanib, uning nominal toki hisoblangan ekvivalent tok qiymatiga teng yoki undan bir oz katta bo'lishi lozim, ya'ni $I_e \leq I_n$. 15.7-rasmda berilgan egri chiziqli $I = f(t)$ grafigini unga ekvivalent bo'lgan to'g'ri chiziqli qismlardan iborat grafik bilan almashtirish va undan I_e ni topish ko'rsatilgan. Grafikning uch burchakli qismi uchun I_{e1} quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{e1} = \frac{I_1}{\sqrt{3}}, \quad (15.32)$$

trapetsiya shaklli qismi uchun esa,

$$I_{e2} = \sqrt{\frac{I_4^2 + I_4 I_5 + I_5^2}{3}} \quad (15.33)$$

Motor quvvatini aniqlashda, ko'pincha, moment yoki quvvat asosida qurilgan yuklama diagrammalaridan foydalaniladi. Bunda ekvivalent moment yoki quvvatni ekvivalent tok singari ifodadan aniqlash mumkin. Haqi-



15.7-rasm. Egri chiziqli yuklama diagrammasini unga ekvivalent bo'lgan to'g'ri chiziqli diagramma bilan ifodalash.

qatan, magnit oqimi $\Phi = \text{const}$ bo'lgan mustaqil qo'zg'atishli o'zgar-
mas tok motori va shu singari boshqa motorlar uchun $I \equiv M$ va elek-
tromagnit moment, taxminan, motor validagi momentga teng deb,
(15.31) ifodadan ekvivalent moment formulasini olish mumkin:

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (15.34)$$

Bunda o'zgaruvchan tok motori uchun quvvat koeffitsiyenti turli
yuklamalarda ham o'zgarmas bo'ladi deb qabul qilinadi.

Mexanik xarakteristikasi qattiq bo'lgan motorlarning chastotasi
yuklama o'zgarishi bilan deyarli o'zgarماسligi sababli ular uchun ek-
vivalent quvvat formulasi quyidagicha ifodalanadi:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (15.35)$$

Bu usuldan asosan mustaqil qo'zg'atishli o'zgarماس tok va qisqa
tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarda foydalaniladi. Ekvivalent
miqdor usullaridan eng anig'i ekvivalent tok usuli hisoblanadi. Ammo
yuklama diagrammalarida, ko'pincha, moment yoki quvvat ko'rsatiladi.

Ekvivalent miqdorlar usulida ochiq va o'zini sovitib turadigan
tuzilishdagi motorlar uchun qizish doimiysi $T_q = \text{const}$ bo'ladi deb qabul
qilinadi. Agar motorni ishga tushirish, tormozlab to'xtatish va pauza
paytlarida uning sovish jarayoni normal chastotadagiga nisbatan sust-
lashsa, u holda (15.31), (15.34) va (15.35) ifoda maxrajlarini yuqoridagi
jarayonlarga tegishli vaqtlari 1 dan kichik bo'lgan α va β koeffitsiyent-
lariga ko'paytiriladi. Bunda ekvivalent miqdorning qiymati nisbatan
kattalashib, unga binoan tanlanadigan motor quvvati va, demak, uning
gabariti kattaroq bo'ladi. Bu bilan esa $n < n_n$ chastotalarda sovish
jarayonining sustlashgani hisobga olingan bo'ladi. Ishga tushirish va
tormozlash davrlari α koeffitsiyentga ko'paytirilib, uning qiymati o'zgar-
mas tok motorlari uchun $\alpha \approx 0,75$, asinxron motorlari uchun $\alpha = 0,5$
deb olinadi, pauza vaqti esa β ga ko'paytirilib, uning qiymati o'zgarماس
tok motorlari uchun $\beta = 0,25$ deb olinadi.

15.6. Qisqa muddatli yuklamada motor quvvatini aniqlash

Qisqa muddatli rejimda ishlaydigan ko'pgina mexanizmlarning
ishga tushirish momentlari nominalga nisbatan bir oz katta bo'ladi.
Shu sababli 15, 30 va 60 minutli ish davrlari bilan xarakterlanadi-

gan qisqa muddatli ish rejimiga mexanik jihatdan pishiqroq ishlangan maxsus motorlar ishlatiladi. 15.8-rasmda ishga tushirish vaqti t_1 va turg'un chastota bilan qisqa muddatli ishlash vaqti t_2 bo'lgan mexanizmning yuklama diagrammasi ko'rsatilgan.

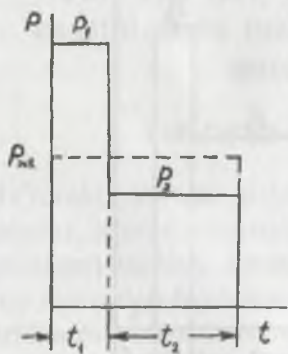
Bu diagramma asosida dastavval ekvivalent quvvat aniqlanib, so'ngra unga va ish davriga binoan katalogdan qisqa ish rejimiga mo'ljallangan motor tanlanadi. Qisqa muddatli rejim uchun uzoq muddatli yuklamaga hisoblangan oddiy motorlardan foydalanish ham mumkin.

Agar uzoq muddatli yuklamaga mo'ljallangan motor qisqa muddatli ish rejimida qo'llanilsa, uni birmuncha ko'proq yuklama bilan ishlatish mumkin, lekin bunda motorning o'ta yuklanish bo'yicha zaxirasi 1,6 dan kam bo'lmasligi lozim. Ammo bunda ham, motordan, uni qizishi bo'yicha to'la foydalanilmaydi. Shunga ko'ra, qisqa muddatli ish rejimlariga maxsus shu rejimga mo'ljallangan motor qo'llash tavsiya qilinadi.

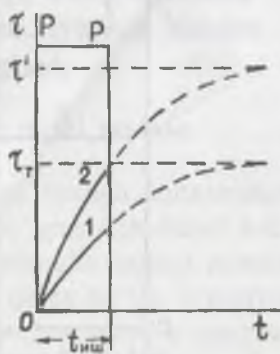
15.7. Takrorlanuvchi qisqa muddatli yuklamada motor quvvatini aniqlash

15.9-rasmda takrorlanuvchi qisqa muddatli ish rejimiga tegishli yuklama diagrammasi va bu rejimda motorning qizish jarayoni ko'rsatilgan.

Bunday rejim ishlash davrining nisbiy uzunligi deb ataluvchi PB yoki ξ koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi, ya'ni



15.8-rasm. Qisqa muddatli ishlash rejimining grafigi.



15.9-rasm. Takrorlanuvchi qisqa muddatli ishlash rejimining grafigi va bu rejimda motorning qizish va sovish egri chiziqlari.

$$\Pi B\% = \left(\frac{t_{ish}}{t_{ish} + t_0} \right) 100 = \frac{t_{ish}}{t_{sikl}} 100 = \xi \cdot 100, \quad (15.36)$$

bunda t_{ish} — motorning R yuklama bilan ishlash davri;
 t_0 — motorning elektr tarmog'idan ajratilgan yoki yuklamasiz ishlash davri.

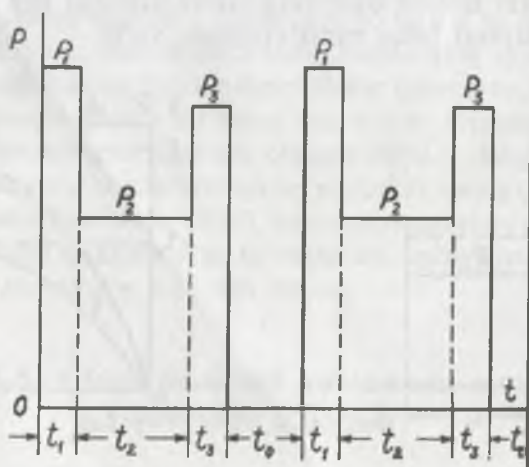
$t_{sikl} = t_{ish} + t_0$ — takrorlanuvchi sikl davri bo'lib, uning qiymati 10 minutdan ortiq bo'lmaydi deb qabul qilinadi.

Demak, bu rejimda motorni ishga tushirish va uni tormozlab to'xtatish jarayonlari tezda takrorlanib turishi sababli, uning uchun qo'llaniladigan motor mexanik jihatdan ancha zo'raytirilgan bo'lib, katta qiymatli ishga tushirish va maksimal momentlarga ega bo'lishi kerak.

Bunday rejim uchun ham maxsus motorlar chiqarilib, ularning parametrlari kataloglarda turli standart PB, ya'ni $PB\% = 15, 25, 40$ va 60 lar uchun keltirilgan bo'ladi.

Agar yuklama diagrammasidagi ish davri bir necha pog'onalardan iborat bo'lsa (15.10-rasm), u holda motor quvvati yaqin va katta standart PB ga keltirilgan ekvivalent miqdorga binoan katalogdan tanlanadi. Biror ξ_x ga ega ekvivalent P_{ex} quvvatni standart PB ga quyidagicha keltiriladi:

$$P_{15} = P_{ex} \sqrt{\frac{\xi_x}{0.15}} \quad \text{yoki} \quad P_{25} = P_{ex} \sqrt{\frac{\xi_x}{0.25}} \quad (15.37)$$



15.10-rasm. Motor quvvatini standart PB% ga keltirib hisoblashga doir diagramma.

Demak, 15.10-rasmdagi diagrammaga binoan $\xi_x = \frac{t_1+t_2+t_3}{t_1+t_2+t_3+t_0}$ bo'lib,

$P_{ex} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$ bo'lsa, u holda bunday rejim uchun motor quvvati (15.37) ifoda asosida aniqlanib, so'ngra $PB\% = 15$ yoki 25 ga binoan katalogdan tanlanadi. Agar yuklama diagrammasidan aniqlangan $\xi > 0,6$ bo'lsa, u holda bunday mexanizmga uzoq muddatli ish rejimiga hisoblangan normal tipdagi motorni qabul qilish tavsiya qilinadi. Normal tipli motor uchun ekvivalent miqdor qiymatini aniqlashda t_0 ni ham hisobga olinadi, ya'ni $P_{ex} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0}}$ bo'ladi,

so'ngra (15.37) asosida P_{ex} qiymati uzoq muddatli rejimga tegishli motor quvvati P_{100} ga keltiriladi, ya'ni $P_{100} = P_{ex} \sqrt{\frac{\xi}{1,0}}$ va bu P_{100} ga binoan katalogdan motor tanlanadi. Agar $\xi < 0,1$ bo'lsa, u holda bunday mexanizmga qisqa muddatli ish rejimiga hisoblangan maxsus motorni qabul qilish tavsiya etiladi. Agar yuklama diagrammasi har xil qiymatiga ega bo'lgan t_{ish} va t_0 lardan iborat bo'lsa, u holda ξ_x qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\xi_x = \frac{\Sigma t_{ish}}{\Sigma t_{ish} + \Sigma t_0} \quad (15.38)$$

Bunda umumiy sikl davri bir necha soatlardan iborat bo'lishi ham mumkin (GOST ga binoan esa $t_{sikl} \leq 10$ minut).

15.8. Tok turi, kuchlanish qiymati, aylanish chastotasi va tuzilish konstruksiyasiga binoan motor turini tanlash

1. Tok turiga binoan motor turini tanlash

Ma'lumki, sanoat, qishloq xo'jaligi va boshqa sohalardagi turli korxonalar, asosan, chastotasi 50 gers bo'lgan uch fazali tok bilan ta'minlangan bo'ladi. Demak, elektr yuritmalari uchun asinxron va sinxron motordan foydalanish anchagina qulay bo'lib, o'zgarmas tok motoridan foydalanish uchun esa o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirib beruvchi maxsus o'zgartgich bo'lishi kerak.

Bundan tashqari, o'zgaruvchan tok motori va, ayniqsa, qisqa tushatirilgan rotorli asinxron motor o'zgarmas tok motoriga nisbatan ancha arzon, sodda va ishda ishonchliroq bo'ladi.

Ammo elektr yuritma chastotasini bir tekis va keng diapazonda rostdash hamda texnologik talablarga munosib bo'lgan har qanday tipdagi mexanik xarakteristikani olishda o'zgarmas tok motorlari qo'llanilgan va qo'llanilmoqda.

Elektr yuritmadan o'zgarmas tok motorlarini butunlay siqib chiqarish uchun qisqa tutashtirilgan rotorli motor chastotasini yarim o'tkazgichli statik chastota o'zgartgichlar bilan keng diapazonda rostdash va ularni boshqarish imkoniga ega bo'lish kerak. Hozirgi paytda tiristorli chastota o'zgartgichlarni o'zlashtirish ustida katta ishlar qilinmoqda.

Chastotasi rostlanuvchi ish mashinasi yuritmasiga o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok motorini tanlash sistemalarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini taqqoslab ko'rish kerak. Chastotasi rostlanmaydigan ish mashina yuritmasida, ko'pincha, qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlardan foydalaniladi.

Qishloq xo'jaligidagi irrigatsiya inshootlari va boshqa ko'pgina qurilishlardagi ish mashina elektr yuritmalari, ko'pincha, mustaqil tok manbaidan ta'minlanadi. Bunda dizel-motor va generatordan iborat tok manbaining quvvati motor quvvatidan bir ozgina katta bo'lishi mumkin. Ishga tushirish toki katta bo'lgan motorni bunday tok manbaiga ulab ishlatilsa, u holda kuchlanishni keskin kamaytirish mumkin. Bunday hollarda elektr yuritma uchun, dastavval, chuqur pazli, qisqa tutashtirilgan rotorli maxsus asinxron motorni tanlash tavsiya qilinadi.

Sinxron motorlarining narxi asinxronlarnikiga nisbatan birmuncha yuqori, ammo ular o'zuvchi cos φ ga ega bo'lib ishlash imkoni katta quvvatli elektr yuritmalarda ayniqsa muhim ahamiyatga ega.

Shu sababli, 100 kW gacha bo'lgan elektr yuritmalarga asinxron, undan kattaroq quvvatlilarga esa sinxron motorlarni ishlatish tejamliroq. Faza rotorli asinxron motorlarni kran va katta quvvatga ega maxovikli ish mashinasi yuritmalarida qo'llash tavsiya qilinadi. Chastotasi kichik diapazonda, ya'ni $D = 2$ gacha rostlanadigan ventilyatorli xarakteristikaga ega bo'lgan katta quvvatli nasoslar, yer qazish snaryadlari va ventilyator yuritmasiga asinxron yoki sinxron motorlar bilan harakatga keltiriluvchi induktorli sirpanish muftalaridan foydalanish tavsiya qilinadi.

2. Kuchlanish qiymatiga binoan motor turini tanlash

O'zgarmas tok motorlari, ko'pincha, 36÷440 V, o'zgaruvchan tok, xususan, asinxron motorlar esa 380/220 V kuchlanishga mo'ljallab chiqariladi.

O'zgaruvchan tokni 380/220 V kuchlanishda to'rtta sim bilan uzatilib, motor hamda yoritish lampalari uchun mos kuchlanishlar olinadi. Bunda nol potentsialli sim bilan faza simi orasidagi kuchlanish nisbatan past, ya'ni 220 V bo'lib, yoritish lampalariga beriladi. Kommunal va qishloq xo'jaligida uchraydigan kichik quvvatli elektr yuritmalarda 220/127 V kuchlanish ham ishlatiladi.

O'zgarmas tok tarmoqlari, odatda, 220 V li bo'ladi. Mustaqil tok manbaiga ega bo'lgan katta quvvatli elektr yuritmalarda 440 V li o'zgarmas kuchlanish ishlatiladi. Yuqori kuchlanish, ya'ni 6 kV ga hisoblangan, ayniqsa, katta quvvatli sinxron motorlar juda tejamli bo'ladi. Ammo yuqori kuchlanishli motorlarga murakkab va qimmatbaho boshqaruvchi apparatlar ishlatilgani sababli ulardan kam foydalaniladi. Hozirgi paytda sanoatimiz faza chulg'ami 380 V kuchlanishga hisoblangan quvvati 3 kW dan yuqori bo'lgan asinxron motorlarni ishlab chiqarmoqda. Bu motorlar 220 V ga hisoblanganlarga nisbatan birmuncha afzalliklarga ega. Xususan, ularni normal holda uchburchaklik, yuklamaning qiymati $(0,3 \div 0,5)P_n$ gacha kamayib ketganida esa yulduz sxemalariga o'tkazib ishlatish imkoni bo'ladi. Natijada, kichik yuklamalarda ham motorning energetik ko'rsatkichlari normaldagidan deyarli farq qilmaydi.

3. Aylanish chastotasiga qarab motor turini tanlash

Asinxron motorlarning nominal chastotasi ularning statoridagi magnit maydonning aylanish chastotasi $n = \frac{60f}{p}$ bilan aniqlanadi. Chastotasi 50 H elektr tarmog'iga ulangan asinxron motorlarning sinxron chastotalari $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{l} = 3000, 1500; 1000; 750; 600$ va $500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ standart qiymatli bo'lib, sinxron chastotasi $n = 500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ dan kichik bo'lgan motorlarning $\cos\varphi$ va η lari nisbatan ancha past bo'ladi. Shu sababli past chastotali asinxron motorlar kam ishlatiladi. Bir xil quvvatdagi past chastotali motorning aylantiruvchi momenti $M = \frac{9550P}{n}$ nisbatan katta qiymatga ega bo'lgani uchun, uning gabariti va og'irligi kattalashib ketadi. Shu sababli past chastotali ish mashinalariga, ko'pincha, yuqori chastotali motor reduktor bilan birgalikda qo'llaniladi. Ammo ekskavatorlarning ba'zi mexanizmlarida juda ham past chastota, ya'ni $16 \div 25 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ talab qilinib, ularda past chastotali motorni qo'llash har tomonlama qulay bo'ladi. Vazni yengil va yuqori energetik ko'rsatkichlarga ega bo'lgan yuqori chastotali motorlardan qishloq

xo'jaligida qo'llaniladigan ba'zi qo'l-asboblarda (tut novdalarini butagichda), elektr shpindellarda va duradgorlik mexanizmlarida foydalaniladi. Bunda chastota o'zgartgichlardan ta'minlanuvchi yuqori chastotali asinxron motorlar ishlatiladi. O'zgarma tok motorlari, ko'pincha $200 \div 1200 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ chastotali qilib chiqariladi.

4. Tuzilish konstruksiyasiga qarab motor turini tanlash

Ishlash joyidagi muhitga hamda harakatga keltiriluvchi ish mashinasining tuzilishiga qarab motorlar turli, ya'ni ochiq, himoyalangan va yopiq konstruksiyalarda ishlab chiqariladi. Tokli va aylanuvchi qismlari tashqi muhit ta'siridan himoyalangan motorlar ochiq konstruksiyali motorlar deb ataladi. 220 voltga hisoblangan bunday motorlarni changsiz, quruq va yong'in xavfi bo'lmagan binolarga o'rnatish mumkin.

Tokli va aylanuvchi qismlari yuqoridan yoki gorizontalgacha nisbatan 45° burchak bilan tushadigan suv tomchilari va boshqa qattiq jismlardan himoyalangan motor himoyalangan konstruksiyali motorlar deb ataladi. Bunday motorlarni, odatda, usti yopiq, yashin qaytargichi bo'lgan hollarda usti ochiq joyga ham o'rnatish mumkin. Himoyalangan konstruksiyali motorlarni iflos chang, bug' va yemiruvchi gaz bo'lgan xona yoki sexlarga o'rnatish tavsiya etilmaydi. Ochiq havoda o'rnatiladigan bunday motorlar namga chidamli izolatsiyaga ega bo'lishi lozim.

Korpusida teshiklari mutlaqo bo'lmagan motorlar yopiq konstruksiyali motorlar deyiladi. Bunda motorlar tashqi muhit ta'siridan, muhit esa motordan chiqadigan uchqunlardan himoyalangan bo'ladi. Demak, bunday motorlarni og'ir sharoitli muhitlarga qo'llash tavsiya etiladi. Agar ochiq va himoyalangan konstruksiyadagi motorlarni ularning vallariga o'rnatilgan ventilator yordamida sovitilsa, yopiq motorlarni sovitish uchun esa, ko'pincha, tashqi ventilator qo'llaniladi.

Ish mashinasining tuzilishiga qarab elektr motorlari flanesli va ikki tomondan chiqarilgan valga ega bo'lishi mumkin.

15.9. Elektr motorlarining asosiy tiplari

Elektr yuritmalarda eng ko'p qo'llaniladigan A va AO seriyadagi qisqa tutashtirilgan rotorli uch fazali asinxron motorlar 1949-yildan boshlab chiqariladi.

Motor korpusi va podshipnik qalqonlari aluminiy qotishmasidan tayyorlansa, u holda bunday motorlar АЛ yoki АОЛ seriyasida chiqariladi. Hozirgi paytda А va АО seriyalari o'rniga А2 va АО2 seriyali asinxron motorlar chiqarilmoqda. Yangi seriyadagi qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlar 14 xil o'rniga 18 xil nominal quvvatlarga mo'ljallanib, ularning og'irligi, o'rtacha olganda 25% ga kamaytirilgan, η va $\cos\varphi$ lari esa birmuncha oshirilgan. Yangi seriyali motorlar 9 xil o'lchamda (gabaritda), ya'ni ularning stator o'zagining tashqi diametri birdan to'qqizgacha bo'lgan turli raqamlar bilan shartli ravishda belgilanib chiqarilmoqda. Bundan tashqari, har bir gabarit o'z navbatida stator temir o'zagining uzunligiga binoan 1 va 2 raqamlari bilan belgilangan ikki xil o'lchamga ega bo'lishi mumkin. Shunday qilib, asinxron motorning tipida uning qaysi seriyaga tegishliligi, gabariti, statorining uzunligi va qutblar soni ko'rsatiladi. Masalan, АО2-62-4 tipli motorni quyidagicha talqin etiladi, ya'ni, bu himoyalangan konstruksiyali, sovitilib turiladigan АО2 seriyali, 6-gabaritli, 2-uzunlikli va qutblar soni 4 bo'lgan asinxron motor. Bunday motorlar $0,6 \div 100$ kW gacha mo'ljallab chiqariladi. АО2 seriyali motorlardan tashqari quvvati $200 \div 1250$ kW bo'lgan А, АК, АЗ, АКЗ va АП seriyali motorlari ham chiqariladi. Bunda А, АЗ va АП lar himoyalangan, yopiq va portlash ta'sir qilmaydigan qisqa tutashtirilgan rotorli, АК va АКЗ lar esa himoyalangan va yopiq konstruksiyali faza rotorli asinxron motorlar. Hozirgi paytda, ПН va МП seriyali o'zgarmas tok mashinalari ham yangi П seriyali elektr mashinalari bilan almashtirilgan. Yangi seriyali elektr mashinalari ПН ga nisbatan yengil, yuqori η li, $0,3 \div 200$ kW ga, 11 xil gabaritga va har bir gabaritni ikki xil uzunlikka ega qildirib chiqarilmoqda. Bunda ham gabarit va uzunlik o'lchamlangan va yopiq konstruksiyalarda chiqarilib, ularni quyidagicha o'qiladi: masalan, П 11 — bu 1-gabarit va 1-uzunlikka ega bo'lgan П seriyali o'zgarmas tok motori;

П 112 — bu 11-gabarit va 2-uzunlikka ega bo'lgan П seriyali o'zgarmas tok motori va h. k.

15.10. Elektr motorlarining quvvat koeffitsiyentlari

Ishlab chiqarish korxonalarida juda keng tarqalgan asinxron motorlari va shu kabi elektromagnit chulg'amlarga ega bo'lgan qator elektr iste'molchilarida o'zgaruvchi magnit maydon hosil qilish uchun reaktiv quvvat talab qilinadi. Reaktiv quvvat hech qanday foydali ishga sarflanmay, iste'molchi zanjiri, elektr tarmog'i, transformator, gene-

rator va o'zgartgichlarni reaktiv tok bilan yuklab, ularning aktiv (foydali ishga sarflanadigan) tok o'tkazish qobiliyatini kamaytiradi. Aktiv quvvat $\cos\varphi$ deb ataluvchi quvvat koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsiyentning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI} = \frac{P}{S},$$

bunda P — aktiv quvvat, W;

U — fazalararo (liniya) kuchlanishi, V;

I — liniya toki, A;

S — to'la quvvat, VA.

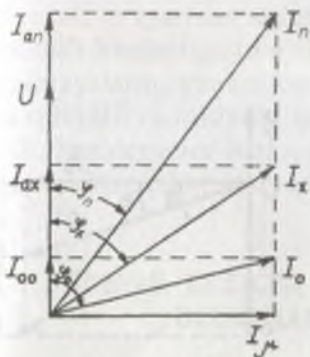
Tok manbaidan talab qilinadigan reaktiv quvvat qiymatini kamaytirish bilan quvvat koeffitsiyentini yuqori qiymatga ega qilish mumkin. Quvvat koeffitsiyenti qiymati ahamiyatini eng ko'p tarqalgan iste'molchilardan bo'lgan asinxron motor uchun transformator tanlash misolida ko'rsatish mumkin. Masalan, aktiv quvvati 220 kW, $\cos\varphi = 0,85$ bo'lgan motor uchun tanlanadigan transformator quvvati $S_{tr} = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{200}{0,85} = 235$ kVA bo'lsa, $\cos\varphi = 0,5$ bo'lganda $S_{tr} = \frac{200}{0,5} = 400$ kVA bo'ladi. Demak, quvvat koeffitsiyenti kamayishi bilan motor uchun tanlanadigan transformator va generator quvvati ko'payishi kerak.

Quvvat koeffitsiyentining kamayish sabablari

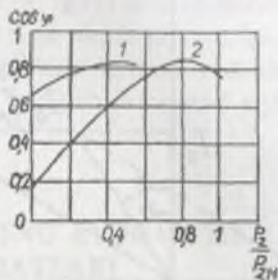
Buni ham asinxron motor misolida ko'rsatish mumkin. Motorni ishlatishda magnit maydon hosil qilish uchun unga beriladigan tokning bir qismi reaktiv (magnitlashtirish toki), qolgan qismi aktiv tokdan iborat bo'ladi.

15.11-rasmdagi diagrammada yuklamaning salt ish rejimidan nominal qiymatgacha o'zgarishida φ burchagining o'zgarishi ko'rsatilgan. Motorga berilayotgan kuchlanish qiymatini o'zgarmas, ya'ni $U = \text{const}$ deb qabul qilinsa, u holda Φ va I_{μ} lar ham o'zgarmas bo'ladi.

Ma'lumki, yuklama o'zgarishi bilan tokning faqat aktiv qismi o'zgaradi. Buning natijasida statordagi yuklama toki bilan kuchlanish vektorlari orasidagi burchak farqi φ ning qiymati ham o'zgaradi, ya'ni yuklama ko'payishi bilan φ burchagi kamayadi va aksincha. Demak, yuqori $\cos\varphi$ ga ega bo'lish uchun motorni mumkin qadar to'la yuklama bilan ishlatish tavsiya qilinadi.



15.11-rasm. Motor aktiv yuklamasi qiymatining o'zgartirishi bilan $\cos \varphi$ ning o'zgarish diagrammasi.



15.12-rasm. Δ dan Y sxemasiga o'tkazilgan motor quvvat ko'effitsiyentining o'zgarish grafiqi.

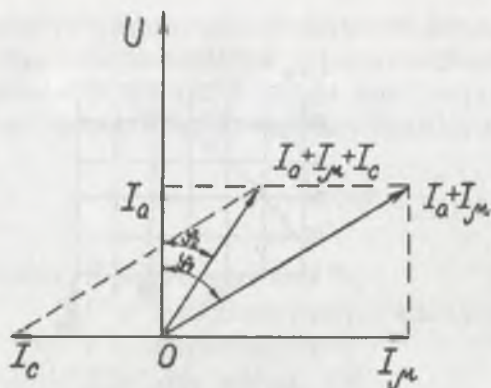
Quvvat ko'effitsiyentini oshirish usullari

Asinxron motorlarni yuqori $\cos \varphi$ ga ega qilish uchun dastavval ularni to'la yuklama bilan ishlatish lozim. Buning uchun esa texnologik jarayonni takomillashtirish, kichik yuklama bilan ishlaydigan motorlarni kichik quvvatli, ya'ni kichik yuklamaga mos motorlar bilan almashtirish, salt ish rejim vaqtini iloji boricha qisqartirish va motor ta'mirlashini sifatli o'tkazish lozim. Uzoq vaqt davomida nominalga nisbatan kichik yuklama, ya'ni $P \approx (0,3 \div 0,5) P_n$ bilan uchburchaklik sxemasida ishlaydigan asinxron motorni yulduz sxemasiga o'tkazilsa ham uning quvvat ko'effitsiyenti keskin ortadi. Bunda statorga beriladigan kuchlanishni hamda magnit oqim hosil qiluvchi I_0 tokning qiymatlari $\sqrt{3}$ marta kamayadi. Stator tokining aktiv qismi esa birmuncha ko'payadi. Shu sababli yulduz sxemasiga o'tkazilgan motorning $\cos \varphi$ qiymati (egri chiziq, 1) uchburchaklik sxemadagi (egri chiziq, 2) ga nisbatan ancha yuqori bo'ladi (15.12-rasm).

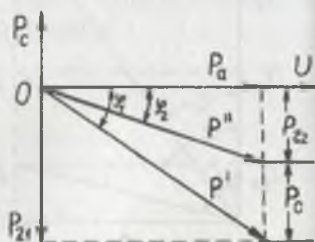
Bunday tabiiy usullar bilan yuqori qiymatli quvvat ko'effitsiyentiga ega bo'linsa, motorning foydali ish ko'effitsiyenti ham yuqori bo'ladi.

Agar tabiiy usullar bilan quvvat ko'effitsiyentini kerakli qiymatga oshirish imkoni bo'lmasa, u holda sun'iy usullardan foydalaniladi. Sun'iy usullar ichida eng ko'p tarqalgani $\cos \varphi$ ni kondensator bilan oshirish hisoblanadi. Asinxron motor o'rniga sinxron motorni ishlatib ham $\cos \varphi$ ni oshirish mumkin.

Ma'lumki, statik kondensatordan o'tadigan sig'im toki kuchlanishdan 90° ga o'zuvchi bo'lib, natijada umumiy reaktiv tokni go'yo kamaytiradi (15.13-rasm).



15.13-rasm. Kondensator batareyalari bilan motor quvvat koeffitsiyentini oshirishga doir diagramma.



15.14-rasm. Kondensator batareyalari quvvatini hisoblashga doir diagramma.

Demak, ma'lum qiymatli sig'Imda $I_s = I_\mu$ bo'lsa, $\cos\varphi = 1$ bo'ladi. Bir xil tipdagi motorlar quvvat koeffitsiyentlari o'rtacha qiymati, ya'ni $\cos\varphi_1$ ni yuqori qiymatli $\cos\varphi_2$ ga erishtirish uchun kondensator batareyalarining quvvati quyidagicha hisoblanadi (15.14-rasm):

$$P_c = P_a(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2),$$

bunda P_s — kondensator batareyalarining quvvati, kVA;

P_a — bir yoki bir necha motorlarning aktiv quvvati, kW;

P_{chl} , R_{ch2} — tegishli kondensator ulangunga qadar va ulangandan keyingi reaktiv quvvatlar;

P' , P'' — transformatoridan berilayotgan to'la quvvatlarni kondensator ulangunga qadar va ulangandan keyingi qiymatlari.

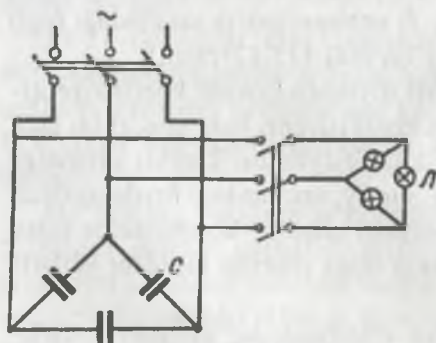
Kondensator batareyalarining sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$3C = \frac{P_c \cdot 10^9}{\omega U^2} \text{ mk}\Phi$$

bunda C — kondensator batareya-sining bir fazasidagi sig'imi;

P_c — kondensator batareyalari-ni quvvati;

U — kondensator batareyalari fazasidagi kuchlanish.



15.15-rasm. Kondensatorlarning uchburchaklik sxemada ulanishi.

Demak, o'zgarmas sig'imli kondensator P_c quvvatining qiymati kuchlanish kvadratiga to'g'ri proporsional bo'lgani uchun kondensator batareyalarini yuqori kuchlanish tomoniga ulash tavsiya qilinadi. Katta quvvatli motorlarda kondensator sig'imini kamaytirish imkoni bo'ladi. Kondensator batareyalari, odatda yoritish lampalari yoki aktiv qarshiliklar bilan razryadlanadi.

XVI BOB. ELEKTR YURITMANING AVTOMATIK BOSHQARISH APPARATLARI

16.1 Umumiy tushunchalar

Zamonaviy elektr yuritmalardagi motorni berilgan tezlanishda ishga tushirish, berilgan ishlash chastotasini o'zgartirmay saqlash, reverslash va uni berilgan sekinlanishda tormozlab to'xtatish kabi murakkab vazifalarni boshqaruvchi sistemaga tegishli turli xildagi avtomatik boshqarish apparatlari bajaradi. Motorlarni boshqarishda dastaki, relekontaktorli, himoyalash, texnologik datchiklari, elektromagnit muf-talar, elektr mashina kuchaytirgichlari va yarim o'tkazgichli kontakt-siz boshqarish asboblari, apparatlari va rostlagichlaridan keng foyda-laniladi.

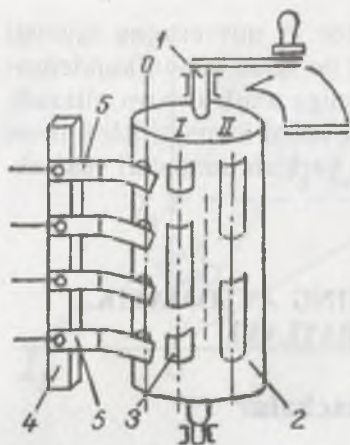
16.2. Dastaki boshqarish apparatlari

Bunday apparatlar qo'l bilan bevosita yoki mexanik uzatmalar yor-damida harakatlantirilib, kuchlanishi 500 voltgacha bo'lgan o'zga-ruvchan va o'zgarmas tok zanjirlarini uzib-ulab turish uchun qo'lla-niladi. Dastaki boshqarish apparatlariga rubilnik, paketli o'chirgich, barabanli almashlab ulagich, kontroller va shu kabilarni misol qilib ko'rsatish mumkin.

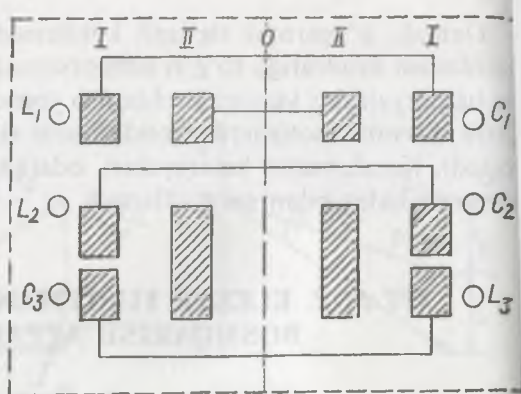
Bu apparatlar nisbatan katta gabarit va kichik boshqarish quvva-tiga ega bo'lib, ularni harakatga keltirish uchun ancha katta qo'l kuchi talab qilinadi.

Nominal toki 1000 A gacha bo'lgan elektr zanjirlarini uzib-ulab turishda qo'llaniladigan eng oddiy asbob rubilnik deb ataladi. Rubil-niklar bir, ikki va uch qutbli bo'ladi.

Qo'zg'aluvchi va qo'zg'almas kontaktlari o'zaro izolatsiyalangan paketlar ichiga o'rnatilgan apparatlar paketli o'chirgich deb ataladi. Bu apparatdan kichik va o'rtacha quvvatli qisqa tutashtirilgan rotorli



a)



b)

asinxron motorlarni ishga tushirish, to'xtatish, ularni yulduz sxemasidan uchburchaklik sxemaga o'tkazishda foydalaniladi. Paketli o'chirgichlar ham bir yoki bir necha qutbli bo'lib, 220 V kuchlanishda, nominal toki 400 ampergacha bo'lgan zanjirlarni uzib-ulashda qo'llaniladi. Agar kuchlanish qiymati 380 V bo'lsa, apparatning nominal toki 40% ga kamaytirilishi kerak.

Bir vaqtda bir necha boshqaruvchi zanjirlarni uzib-ulab turishda hamda 3 kW gacha

bo'lgan asinxron motorlarni boshqarishda qo'llaniladigan ko'p kontaktli dastaki apparatni barabanli almashlab ulagich deb ataladi.

Kontrollerlar, asosan, barabanli va kulachokli bo'ladi. Barabanli kontroller o'zgaruvchan va o'zgarmas tok motorlarini ishga tushirish va ular chastotasini rostdlashda qo'llaniladi.

Barabanli kontroller aylanuvchi va qo'zg'almas qismlardan (16.1-rasm, a), aylanuvchi qism esa dasta 1 yordamida harakatlantiriladigan baraban 2 dan iborat bo'ladi. Barabanga mis yoki bronzadan qilingan kontakt 3 lar o'rnatilib, qo'zg'almas qismga esa izolatsiyalangan ustuncha 4 va unga prujinali kontakt barmoqlari 5 o'rnatilgan. Kommutatsiya paytida kontroller kontaktlari orasida hosil bo'ladigan uch-

Kontaktlar	Uzgich-ulagich holatlari		
	I	O	II
$L_1 - C_1$	X	—	X
$L_2 - C_2$	X	—	—
$L_3 - C_3$	X	—	—
$L_2 - C_3$	—	—	X
$L_3 - C_2$	—	—	X

d)

16.1-rasm. Barabanli kontroller:

a — tuzilishi; b — yoyilma sxemasi;
d — kontaktlarining ulanish jadvali.

qunlanishni tezda o'chirish uchun uchqun o'chiruvchi chulg'am qo'llaniladi.

16.1-rasm, *b* da barabanli kontrollerlarning yoyilma sxemasi ko'rsatilgan. Bunday sxemada kontakt barmoqlari aylana yoki nuqta bilan belgilanadi.

Agar kontroller barabanini, *I*, *II* yoki *0* holatlarga aylantirib qo'yilsa, unda barabanga o'rnatilgan qo'zg'aluvchi kontaktlar qo'zg'almas kontaktlar bilan turli sxemalar asosida qo'shilishadi. Kontrollerning qo'zg'almas L_1 , L_2 va L_3 kontaktlarini elektr tarmog'iga, qo'zg'aluvchi C_1 , C_2 va C_3 kontaktlarini esa asinxron motorning stator chulg'amiga ulanishi sababli uni *0* dan *1* holatga o'tkazilsa, motor bir tomonga, *II* ga o'tkazilganda, teskari tomonga aylanadi, ya'ni reverslanadi.

Kontrollerlar sxemasida, ko'pincha, qo'zg'almas kontaktlarning ulanish jadvali beriladi (16.1-rasm, *d*). Bunda *X* — kontaktlarning qo'shilganligini, (-) esa kontaktlarning uzilganligini ifodalaydigan belgilar. Barabanli kontrollerlar bilan ko'p chastotali motorlarni boshqarish imkoni ham bo'ladi. Ammo bunday kontrollerlarning ulanish soni soatiga 120 dan ortiq bo'lmasligi kerak, aks holda, ularning kontaktlari ishga yaramasdan qoladi. Shu sababli ulanish soni yuqori bo'lganda, yuklama tokini birmuncha kamaytirish lozim yoki boshqa tipdagi, ya'ni kulachokli kontrollerdan foydalanish kerak. Kulachokli kontrollerlarda qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan kontaktlarni bir-biriga nisbatan yumalanib kontakt hosil qilishi sababli, ularda ulanish soni katta bo'lganda ham kommutatsiya sharoiti qoniqarli bo'ladi.

16.3. Rele-kontaktorli boshqarish apparatlari

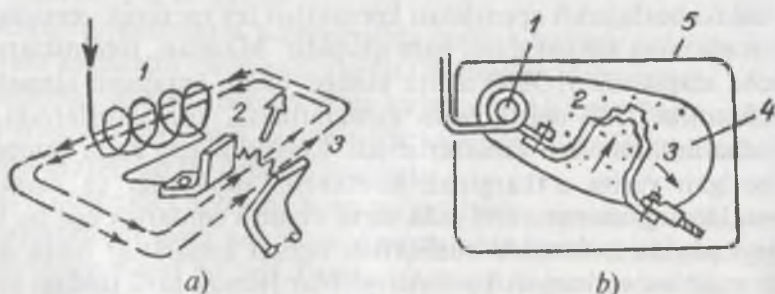
Dastaki boshqarish apparatlari kontaktlari tez mexanik yemirilganligidan ularning xizmat davri ham qisqadir. Masalan, rubilniklarning o'rtacha xizmat davri 5000 marta ulanish bilan, barabanli almashlab ulagichlarniki 2500 marta bilan xarakterlansa, kontaktorlarniki esa bir necha million bilan xarakterlanadi. Kelgusida eng katta istiqbolga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli kontaktsiz apparatlar va mantiqiy elementlarning xizmat davri juda katta ulanish sonlariga ega bo'ladi. Hozirgi paytda avtomatik boshqarish uchun apparatlar bilan birga elektr mashina va magnit kuchaytirgichlar hamda turli tipdagi ventil asboblariidan foydalanilmoqda.

Elektr zanjirini soatiga 1500 martagacha uzib-ulaydigan elektromagnit apparat kontaktor deb ataladi. Bu apparatlarni tugmalar bilan

turli masofadan boshqarish mumkin. Kontaktorlarni o'zgaras va o'zgaruvchan tokka mo'ljallab, bir va bir necha qutbli qilib, ularning kontaktlarini tutashadigan va ajraladigan tuzilishlarga ega qilib chiqarish mumkin. Elektromagnit apparatlar chulg'amiga tok berilmagan holat ularning normal holati deb ataladi.

16.4. O'zgaras tok kontaktorlari

O'zgaras tok kontaktorlari qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan qismlardan iborat bo'lib, ularning qo'zg'almas qismidagi po'lat o'zakka o'zgaras tok beriladigan chulg'am hamda qo'zg'almas kontaktlar sistemasi o'rnatiladi, qo'zg'aluvchi qismi esa yakor va unga o'rnatilgan qo'zg'aluchi kontaktlar sistemasidan iborat bo'ladi (16.2-rasm, *a*). 16.2-rasm, *a* da ko'rsatilgan kontaktorning asosiy kontaktlari 2 va 3 orasida hosil bo'ladigan elektr yoyini tezda o'chirish uchun uning bosh zanjiriga ketma-ket qilib uchqun o'chiruvchi chulg'am 1 ulanadi. Kontaktorning uchqun o'chiruvchi chulg'amidagi tokdan hosil bo'lgan magnit maydonning 2 va 3 kontaktlari orasida hosil bo'lgan yoy bilan o'zaro ta'sirida elektromagnit kuch hosil bo'ladi. Yo'nalishi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadigan bu kuch tokli o'tkazgich, ya'ni elektr yoyini asbest kameraning ichkarisiga itarib o'chiradi. 16.2-rasm, *b* da 2 va 3 kontaktlarini o'z ichiga olgan asbest kameraning ichiga yoyning itarilishi ko'rsatilgan. Kontaktorning qo'zg'atish chulg'ami o'rnatilgan o'zak bilan yakor o'rtasidagi havo bo'shlig'i magnit qarshiligini kamaytirish maqsadida 10 mm dan ortiq bo'lmaydi. O'zgaras tok kontaktorlarida asosiy kontaktlardan tashqari, kichik toklarga mo'ljallangan va boshqarish zanjirlariga ulanadigan blok-kontaktlar ham bo'lishi mumkin.



16.2-rasm. O'zgaras tok kontaktori:

a — tuzilishi; *b* — kontaktlar orasidagi elektr yoyini o'chirishga doir rasm.

Kontaktor qo'zg'atish chulg'aming o'ramlari soni ko'p bo'lgani uchun uning induktivligi ham katta bo'ladi. Shu sababli 220 V kuchlanishda bu chulg'am 2 A tokka hisoblansa, 440 V kuchlanishda esa, faqat 0,5 A tokka hisoblanadi. Chulg'am induktivligi kattaligi sababli uning vaqt doimiysi $T_e = \frac{L}{R}$ ham nisbatan katta bo'ladi. Buning natijasida chulg'amga tok berilganidan keyin 0,1; 0,2 sek vaqt o'tishi bilangina yakor o'zak tomon tortiladi. Chulg'amdagi induktivlik sababli tokning qiymati asta-sekin ko'payib boradi. Natijada yakor o'zakka va, demak, qo'zg'aluvchi kontaktlarning qo'zg'almasga tortilishi ham bir tekisda o'tadi. Shunga binoan, kontaktlarning yemirilishi ham nisbatan oz bo'lib, o'zgaras tok kontaktorlari xizmat davrini $30 \div 50$ mln ulanish sonigacha yetkaza oladi. Bunday kontaktorlar bilan nominal toki $40 \div 2500$ A bo'lgan elektr zanjirlarini soatiga 1500 marta tagacha uzib-ulash mumkin.

16.5 O'zgaruvchan tok kontaktorlari

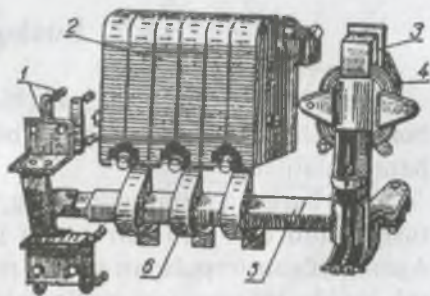
O'zgaruvchan tok kontaktorlarining magnit sistemalari quvvat isrofini kamaytirish uchun bir-biridan izolatsiyalangan yupqa po'lat tunukalar (listlar) dan tayyorlanadi.

Kontaktorning po'lat o'zagiga o'rnatilgan qo'zg'atish chulg'amiga o'zgaruvchan tok berilishi bilan yakor va u bilan birga qo'zg'aluvchi asosiy va blok kontaktlar sistemasi harakatga keltiriladi (16.3-rasm). Bu kontaktordagi bosh kontaktlar ham uchqun o'chiruvchi asbest kamera ichiga joylashtiriladi.

Qo'zg'atish chulg'amiga beriladigan o'zgaruvchan tok ma'lum vaqt oralig'ida nol qiymatga ega bo'lishi sababli kontaktorning magnit sistemasi tebranib, o'ziga xos tovush chiqarib turadi.

Bu hodisani susaytirish uchun chulg'am o'rnatilgan o'zakka mis halqacha o'rnatiladi. Chulg'amdagi tok nol qiymatga yaqinlashishi bilan mis halqachada hosil bo'lgan e.yu.k. va, demak, tokning ta'siri natijasida yakor o'zakka tortilganicha qoladi.

Qo'zg'atish chulg'amidagi tokning qiymati to'la qarshilikka bog'liq. Qo'zg'atish chulg'ami induktiv qarshiligining qiymati yakor



16.3-rasm. O'zgaruvchan tok kontaktorining tuzilishi.

bilan o'zak orasidagi havo bo'shlig'iga bog'liq bo'lib, bu oraliq qancha katta bo'lsa, induktivlik shuncha kichik bo'ladi. Demak, chulg'amning tarmoqqa ulanish paytida undagi tokning qiymati kichik induktivlik sababli yakor tortilgandagi tokka nisbatan $10 \div 15$ marta katta bo'ladi. Shuning uchun o'zgaruvchan tok kontaktorlarida yakor o'zakka va, demak, qo'zg'aluvchi kontaktlar qo'zg'almas kontaktlarga zarb bilan uriladi. Natijada kontaktlarning mexanik yemirilishi ko'proq bo'lib, ularning xizmat davri faqat $1 \div 7$ mln ulanish, ya'ni o'zgarmas tok kontaktorlariga nisbatan ancha kichik son bilan xarakterlanadi. O'zgaruvchan tok kontaktorlari $20 \div 600$ A tokka hamda $2 \div 5$ gacha bo'lgan qutblar soniga mo'ljallanib chiqariladi.

Kontaktorning qo'zg'atish chulg'amiga tok berilganidan so'ng uning kontaktlarini tutashish vaqti $0,05 \div 0,1$ sek bilan xarakterlanadi.

16.6. Magnitli ishga tushirgich

Elektr motorlari va shu kabi elektr iste'molchilarini masofadan boshqaruvchi va himoyalovchi elektromagnit apparat magnitli ishga tushirgich deb ataladi. Bu apparat bir necha kontaktor (o'zgaruvchan yoki o'zgarmas tok) va tugmalar stansiyasidan iborat bo'ladi. Bunda kontaktorlar, ko'pincha, o'ta yuklanishdan himoyalovchi issiqlik relolari bilan birga qo'shib chiqariladi. Kontaktor chulg'amini elektr tarmog'iga ulash va undan ajratish uchun tugmalardan foydalaniladi. Ikki tomonga aylantiriluvchi motorni reversiv magnitli ishga tushirgich bilan boshqariladi. Bunda ikkita kontaktor hamda o'ng va chap tomonlarga aylantirish, to'xtatish uchun buyruq beruvchi tugmalar bo'ladi.

16.7. Boshqarish relolari

Elektr motorlarini tok, kuchlanish va vaqtga binoan avtomatik boshqarish uchun magnit bilan birga turli tipdagi boshqarish relolari ham ishlatiladi.

Agar berilgan impulsdan so'ng, $0,1 \div 0,15$ sek o'tishi bilan rele ishga tushsa, uni darhol (bir onda) ishga tushuvchi rele deyiladi. Agar berilgan impulsdan so'ng, relening ishga tushishi vaqti $t \geq 0,15$ sek bo'lib, bu vaqtlarni rostlash imkoni bo'lsa, u holda bunday relalarni vaqt relesi deb ataladi. Elektr motorini avtomatik boshqarishda quyidagi tipdagi vaqt relalaridan foydalaniladi.

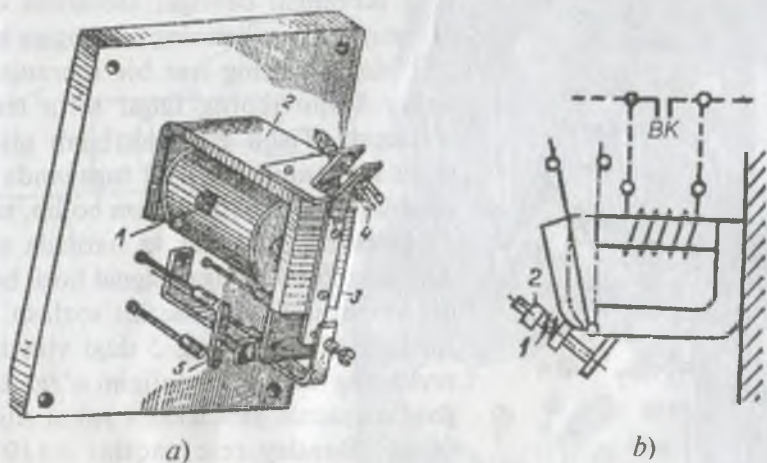
16.8. Vaqt relelari. Elektromagnit vaqt releli

Bunday rele faqat o'zgarmas tok zanjirlarida qo'llanilib, u silindr shaklidagi po'lat o'zak va bu o'zakka o'rnatilgan qo'zg'atish chulg'ami hamda qo'zg'aluvchi kontaktlar sistemasini harakatga keltiruvchi yakordan iborat bo'ladi. Bu relening qo'zg'atish chulg'amiga tok berilsa, u holda yakor va u bilan birga kontakt sistemi o'zak tomon tortiladi. Qoldiq magnetizm ta'sirida yakor o'zakka tortilganicha qolmasligi uchun yakorga $0,1 \div 0,5$ mm qalinlikdagi magnitmas materialdan qistirma qo'yiladi.

16.4-rasmda elektromagnit vaqt releining umumiy ko'rinishi va prinsipial sxemasi ko'rsatilgan.

Qistirmalarning soniga qarab yakor bilan o'zak o'rtasidagi havo bo'shlig'ini ham o'zgartirish mumkin. Bunday relelarni ishga tushirish uchun dastavval biror boshqaruvchi apparatni tutashtiruvchi kontakti *BK* bilan qo'zg'atish chulg'ami o'z-o'ziga qisqa tutashtiriladi. Bunda chulg'amdan o'tayotgan o'zgarmas tok qiymati kamaya boshlaydi va natijada bu tokning kamayishiga to'sqinlik qiluvchi magnit oqim hosil bo'ladi. Shu sababli rele yakori ma'lum vaqtgacha o'zakka tortilganicha qoladi (16.4-rasm).

Bu vaqtni prujina, siquvchi gayka va magnitmas qistirmalar sonini o'zgartirish bilan rostdash mumkin. Masalan, qistirmalar soni ko'paytirilsa, yakor bilan o'zak oralig'i ortib, rele yakorining o'zakka tortilib turish vaqti kamayadi va aksincha. Elektromagnit, ya'ni PЭ-100



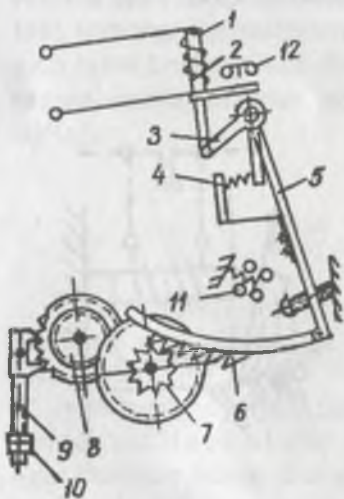
16.4-rasm. Elektromagnit vaqt releining tuzilishi.

tipli vaqt relesi bilan vaqtini $0,1 \div 1$ sek, PЭ-580 bilan esa 16 sek gacha rostlash mumkin. O'zgaras tok manbai bo'lmaganda bunday relelarni yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar orqali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulab ishlatiladi. Bu relelar ishda juda ishonchli bo'lib, ularning soatiga ulanish soni chegaralanmaydi. Elektromagnit vaqt relelari vaqt asosida avtomatik ravishda ishga tushirish va shu kabi sxemalarda juda keng qo'llaniladi. O'zgaras tok motorini avtomatik ishga tushirishda, bir vaqtda kontaktor va vaqt relesi vazifasini bajaruvchi apparatlar taymtaktor deb ataladi. Taymtaktorlar kontaktor bilan mayatnikli vaqt relesidan iborat bo'ladi.

Mayatnikli vaqt relesi

Bu releni o'zgaras va o'zgaruvchan tok zanjirlarida ham ishlatish mumkin. 16.5-rasmda mayatnikli vaqt relesining sxematik tuzilishi ko'rsatilgan.

Bu releni ishga tushirish uchun uning qo'zg'atish chulg'ami 1 ni elektr tarmog'iga ulash lozim. Bunda yakor 2 tortilib, richaglar sistemasi 3 va 5 lar bilan qiyshiq tishli reyka 6 ni kontakt 11 tomon harakatlantiradi. Buning natijasida prujina 4 siqiladi, tishli g'ildirak 7 esa aylana boshlaydi. Bu g'ildirak o'qida boshqa tishli g'ildirak uzatmasi o'rnatilgan bo'lib, u orqali xrapovik g'ildiragi va anker 8 harakatga keltiriladi. Natijada mayatnik tebranadi. Xrapovik chastotasi mayatnikning tebranish davriga, tebranish davri esa mayatnik yelkasining uzunligiga bog'liq. Mayatnikning har bir tebranishida anker xrapovikning faqat bitta tishini o'tkazadi. Tishli g'ildirak bilan qiyshiq tishli reykaning ilashishi tugaganda rele hisoblagan vaqt ham tamom bo'lib, uning 11 kontakti tutashadi va natijada avtomatikaga kerak bo'lgan signal hosil bo'ladi. Mayatnikli rele vaqtini sozlash yoki rostlash uchun richag 5 dagi vint bilan reykaning ilashish uzunligini o'zgartirish yoki mayatnik yelkasidagi yukni siljitish kerak. Bunday rele vaqtini $1 \div 10$ sek gacha rostlash mumkin. Qo'zg'atish chulg'ami elektr tarmog'idan ajratilishi



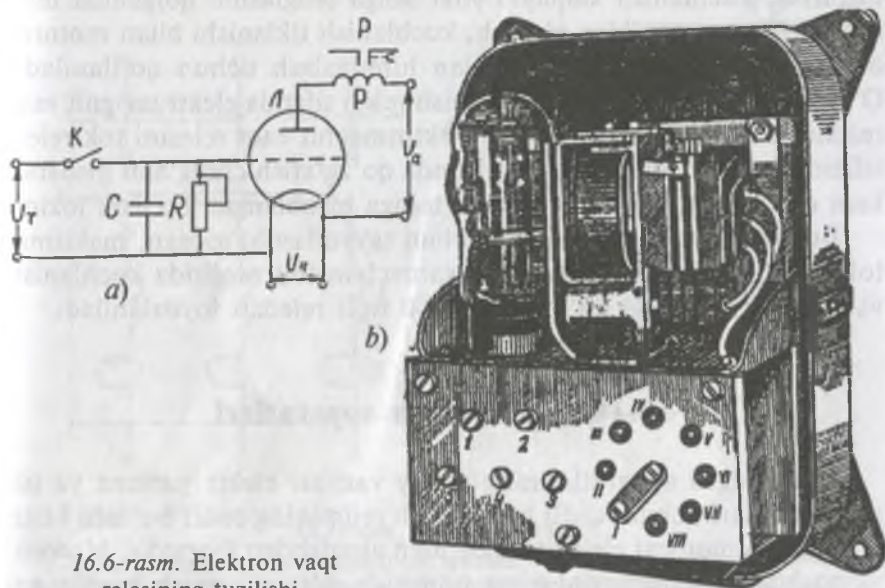
16.5-rasm. Mayatnikli vaqt relesining tuzilishi.

bilan relening hamma kontaktlari prujina 4 ta'sirida o'zlarining dastlabki holatiga qaytadi.

Bu reledda bir onda ajraladigan kontakt 12 ham bo'ladi. Mayatnikli vaqt releining mexanik yemirilishi sababli uni katta ulanish soni bilan ishlatish imkoni bo'lmaydi.

Elektron vaqt relei

Elektron vaqt relei, odatda, elektron lampali kuchaytirgich, ya'ni triod bilan elektromagnit rele P dan iborat bo'ladi (16.6-rasm). Bunda relening ishga tushish vaqti kondensator C ning qarshilik R ga razryadlanish davri bilan aniqlanadi. Releni ishlatish uchun dastavval triod elektrodlariga kerakli kuchlanishga ega bo'lgan tok manbalarini ulash lozim. Bunda kondensator triod katodiga nisbatan manfiy bo'lgan kuchlanish bilan zaryadlanadi. Agar kalit K bilan kondensator tarmoqdan uzilsa, triod to'riga kondensator orqali manfiy kuchlanish berilib, u berkitiladi, ya'ni undagi anod toki nolga teng bo'lib qoladi. Bunda elektromagnit rele R o'z yakorini tortilgan holatdan qo'yib yuboradi. Shu paytdan boshlab C sig'imli kondensatorning R qarshiligiga razryadlanishi boshlanadi. Razryadlanish vaqti $t \approx 4T = 4RC$ bo'lgani uchun R va C qiymatlarini o'zgartirib, relening ishga tushish vaqtini keng diapazonda rostlash imkoni



16.6-rasm. Elektron vaqt releining tuzilishi.

olinadi. Relening ishga tushish vaqti tugagandan so'ng, lampa yana ochiladi.

Elektron rele dan ko'pincha katta ulanish soni bilan ishlash talab qilinganida foydalaniladi.

Motorli vaqt relesi

Bunday rele da harakatlantiruvchi element sifatida kichik quvatli reaktiv sinxron motoridan foydalaniladi. Bu motor uzatish soni $i = 100000$ gacha bo'lgan reduktor bilan ulanadi. Reduktor bilan va-lik bog'langan bo'lib, unda o'rnatilgan kulachoklar kontakt sistemalariga ta'sir etadi. Shunday qilib, motorning ulanishidan boshlab, to kontaktlarning tutashish yoki ajralish momentlarigacha ma'lum vaqt o'tadi.

Bunday relelarda 12 tagacha tutashadigan va ajraladigan kontaktlar bo'lib, ular bilan vaqt ni bir necha sekunndan bir necha soatgacha rostlash imkoni olinadi.

16.9. Kuchlanish va tok relesi

Kuchlanish relesi avtomatik boshqarish sxemalarida motorni ishga tushirish, kuchlanish kamayib yoki nolga tenglashib qolganida motorni elektr tarmog'idan ajratish, kuchlanish tiklanishi bilan motorni o'z-o'zidan ishlab ketish xavfidan himoyalash uchun qo'llaniladi. O'zgar mas tok zanjirlarida kuchlanish relesi sifatida elektromagnit vaqt relesidan foydalanish mumkin. Elektromagnit vaqt relesini tok relesi sifatida ham ishlatish mumkin. Bunda qo'zg'atish chulg'ami nisbatan kam o'ramlar soni bilan yuklama tokiga hisoblangan bo'lishi lozim.

Bunday rele 15÷600 A tok uchun tayyorlanib, asosan, maksimal tok relesi vazifasini bajaradi. O'zgaruvchan tok zanjirida kuchlanish va tok relesi sifatida ko'proq PЭ-200 tipli rele dan foydalaniladi.

16.10. Himoyalash apparatlari

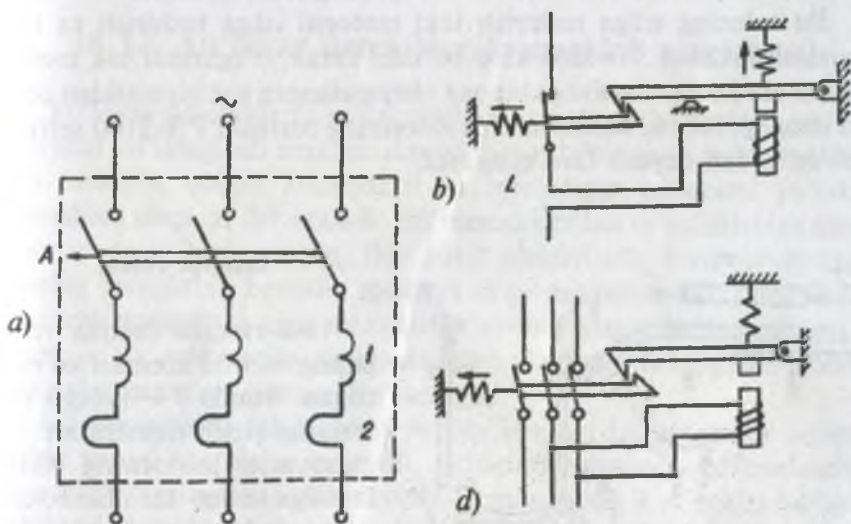
Himoyalash apparatlarining asosiy vazifasi elektr yuritma va ish mexanizmlari uchun xavfli bo'lgan ish rejimining sodir bo'lishi bilan o'z vaqtida motorni elektr tarmog'idan ajratishdan iboratdir. Motorni va boshqarish zanjirlarini qisqa tutashish, o'ta yuklanish hamda nol

kuchlanish xavflaridan himoyalash uchun eng sodda va arzon apparat hisoblangan turli tipdagi eruvchan simli saqlagichlardan keng foydalaniladi. Saqlagichning eruvchan simi motorning elektr zanjiriga ketma-ket ulanadi. Motorda qisqa tutashish rejimi sodir bo'lishi bilan saqlagich simidan o'tadigan qisqa tutashish toki uni eritib, motorni elektr tarmog'idan ajratadi va, demak, uni himoyalaydi. Motor zanjirini elektr tarmog'iga qayta ulash uchun dastavval saqlagichdagi eruvchan simni yangilash kerak. Saqlagichlardagi simning suyuqlanish harorati simning diametri, uzunligi, ulanish kontakti, muhit harorati, sovish sharoitlariga bog'liq bo'lgani sababli uning himoyalash aniqligi juda past.

Rezistor bilan ishga tushiriladigan motorlar uchun saqlagich sim motorning nominal tokiga hisoblanadi, qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlar uchun esa uning nominal tokiga nisbatan $2,5 \div 3$ marta ortiq tokka hisoblanadi.

Avtomatik uzgich

Elektr motorlarini nol kuchlanish va qisqa tutashish toki xavflaridan aniq va tezkorlik bilan himoyalash uchun hamda elektr tarmog'idan ajralgan motorni darhol qayta ishga tushirish imkoniga ega bo'lish uchun, ko'pincha avtomatik uzgichlardan foydalaniladi.



16.7-rasm. Avtomatik uzgich:

a — ulanish sxemasi; *b* — maksimal tok ta'sirida; *d* — minimal yoki nol kuchlanish ta'sirida bir onda harakatga keluvchi elektromagnit ajratish mexanizmlarining sxemasi.

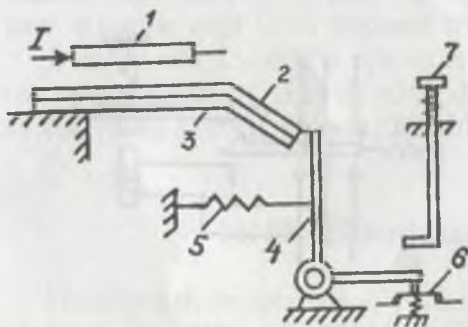
Avtomatning kontakt sistemasini dastaki usul bilan elektr tarmog'iga tutashtirish yoki undan ajratish mumkin. Xavfli rejimlarda esa kontakt sistemasi o'z-o'zidan harakatga kelib, motorning uchta fazasini birgalikda elektr tarmog'idan ajratadi. Eruvchan simli saqlagichlar bilan himoyalashda bir faza ajralib, motor o'ziga xavfli bo'lgan ikki fazada ishlashi mumkin. 16.7-rasm, *a* da avtomatning ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda 1 — elektromagnit ajratish mexanizmi; 2 — uzoq muddatli o'ta yuklanish tok ta'sirida qizib ajratuvchi mexanizm.

16.7-rasm, *b* da maksimal tok ta'sirida, 16.17-rasm, *d* da esa minimal yoki nol kuchlanish ta'sirida elektromagnit ajratish mexanizmlarining darhol harakatlanuvchi sxemasi ko'rsatilgan.

Maksimal tok releasi

Bunday rele ham o'zgaruvchan va o'zgarmas tok motorlarini qisqa tutashish tokidan himoyalash uchun ishlatiladi. Relening tok chulg'ami motor ulangan bosh zanjirga, uning kontakt sistemasi esa boshqarish zanjiridagi kontaktorning qo'zg'atish chulg'amiga ketma-ket ulanadi. Shunga binoan tok releasi qisqa tutashish rejimida ishga tushib, kontaktor vositasida motorni elektr tarmog'idan ajratadi.

Bu relening ishga tushirish toki motorni ishga tushirish va tormozlash tokidan $30 \div 50\%$ ko'p bo'lishi kerak, o'zgarmas tok motori uchun esa kommutatsiyaga binoan chegaralangan tok qiymatidan ortiq bo'lmasligi lozim. Maksimal tok releining tuzilishi PЭ-2100 seriyali tok releidan deyarli farq qilmaydi.



16.8-rasm. Issiqlik releining tuzilishi.

Issiqlik releasi

16.8-rasmda issiqlik releining tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda 1 — issiqlik releining qizish elementlari. Bu elementlar motorning ikkita fazasiga ketma-ket ulanib, uni uzoq muddatli o'ta yuklanish va ikki faza bilan ishlash rejimidan himoyalaydi. 2 va 3 bimetall plastinkalar. Bu plas-

tinkalar ikki xil qotishmadan iborat bo'lib, qizish elementi 7 yaqiniga o'rnatiladi.

Demak, qizish elementi harorati undan o'tgan katta qiymatli motor toki ta'sirida ma'lum darajagacha ko'tarilganda, bimetall plastinkasi ham qizib egila boshlaydi va natijada richag 4 bilan motorni boshqaruvchi kontaktor chulg'ami zanjiriga ketma-ket ulangan issiqlik rele-sining kontakti 6 ochiladi. Bunda motor elektr tarmog'idan ajratiladi. Motorni qayta ishga tushirish uchun dastavval rele kontakti 6 ni normal, ya'ni tutashgan holatga keltirish kerak. Buning uchun qaytarish tugmasi 7 dan foydalaniladi.

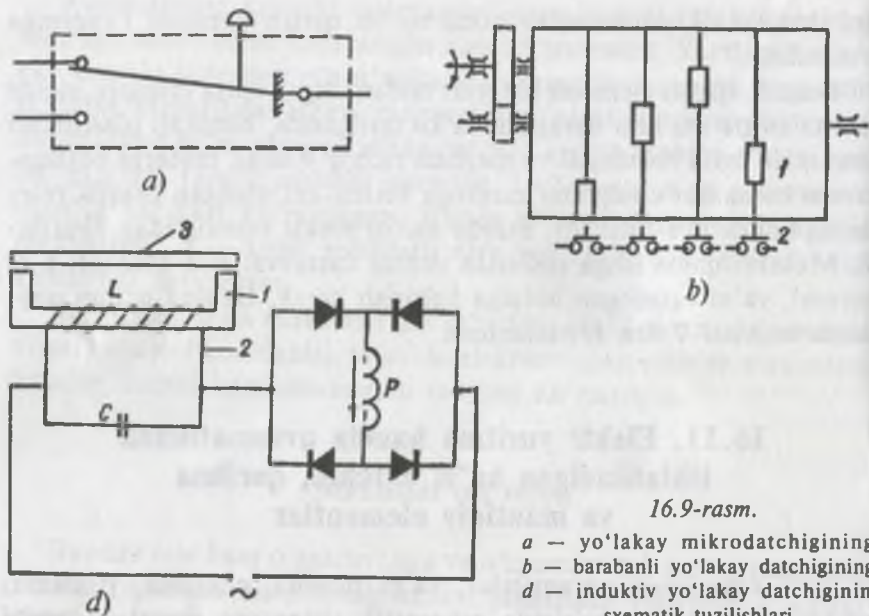
16.11. Elektr yuritma hamda avtomatikada ishlatiladigan ba'zi datchik, qurilma va mantiqiy elementlar

Turli texnologik parametrlar, ya'ni masofa, chastota, yuklama, bosim va boshqalar ta'sirida avtomatik sistemaga signal beruvchi apparat texnologik datchik deb ataladi. Bularga misol qilib quyidagi apparat va relelarni ko'rsatish mumkin.

16.12. Yo'lakay datchiklar (almashlab ulagichlar)

Yo'lakay datchiklarni yo'lakay almashlab ulagich deb ham ataladi. Harakat yo'lidagi ish mashinasi tomonidan ta'sirlanib, ba'zi kontakt-lari tutashib, qolgan kontaktlari esa ajraladigan apparatni yo'lakay almashlab ulagichi deb ataladi. Ish mexanizmidan ta'sirlanishiga qarab bunday datchiklar, asosan, ikki tipda chiqariladi. Birinchi tipdagi-larning kontaktlari bevosita mexanik ta'sir natijasida harakatga kelsa, ikkinchi tipdagilarnikiga mexanik ta'sirning keragi bo'lmaydi. 16.9-rasm, a da avtomatika sistemalarida juda keng tarqalgan yo'lakay mikro-datchigining sxemasi ko'rsatilgan.

Ish mexanizmi o'z harakat yo'lida shtokni bosishi bilan normal holda yopiq kontaktlar ochiladi, ochiqlari tutashadi. Mikro-datchik juda kichik gabaritli bo'lib, 380 V kuchlanishda 3 A gacha bo'lgan tok zanjirlarini uzib-ulashda qo'llaniladi. Bunday datchikning xizmat davri uning kontakt holatlarining $5 \div 10 \cdot 10^6$ marta almashinishi bilan xarakterlanadi. Agar ish mexanizmi aylanma harakat qilsa yoki to'g'ri chiziqli harakat yo'lga datchikni o'rnatish noqulay bo'lsa, u holda



16.9-rasm.

- a — yo'lakay mikrodaychigining;
 b — barabanli yo'lakay daychigining;
 d — induktiv yo'lakay daychigining
 sxematik tuzilishlari.

16.9-rasm, b da ko'rsatilgan barabanli yo'lakay daychikdan foydalaniladi.

Bunda baraban biror uzatma bilan aylanuvchi mexanizm vali orqali harakatga keltiriladi. Baraban aylanishi bilan uning sirtidagi pazlariga turli burchak farqida o'rnatilgan kulachok 1 lar kontakt sistemasi 2 ga ta'sir etib, uni harakatga keltiradi. Natijada avtomatik sistemaga kerak bo'lgan signal olinadi.

Yo'lakay induktiv daychik

16.9-rasm, d da yo'lakay induktiv daychikning sxemasi ko'rsatilgan. Bunda 1 — ochiq po'lat o'zak va 2 — unga o'rnatilgan chulg'am, C — chulg'amga parallel qilib ulangan C sig'imli kondensator va P — zanjirga ketma-ket ulangan elektromagnit relening chulg'ami.

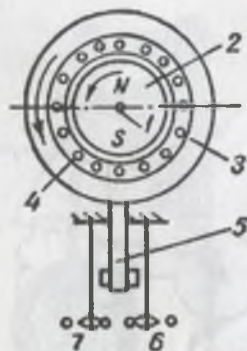
Bunda kondensatorning sig'imi rezonans hodisasiga binoan tanlanadi. Harakatlanuvchi mexanizmga o'rnatilgan po'lat plastinka 3 ni magnit sistema 1 yaqinidan o'tganida zanjirda tok rezonansi sodir bo'ladi. Natijada zanjirdagi umumiy tok qiymati kamayib, rele o'z yakorini qo'yib yuboradi.

Yo'lakay induktiv datchiklarini fotoelement, elektron kuchaytirgich va elektromagnit rele asosida ham qurish mumkin. Bunday datchiklar kontaktsiz bo'lgani uchun ularning xizmat davri nisbatan katta bo'ladi.

16.13. Chastota datchiklari

Maksimal, minimal yoki nol chastotalarni hamda aylanish yo'nalishini nazorat qilib turish uchun chastota datchiklaridan foydalaniladi. Bunday datchiklarni markazdan qochma kuch yoki induksiya prinsipi asosida yaratish mumkin. Bundan tashqari, chastota datchigi sifatida taxogenerator bilan elektromagnit releni birgalikda ishlatish ham mumkin. Asinxron motorni teskari ulash bilan avtomatik tormozlashda, ko'pincha, induksion PKC tipli reledan chastota datchigi sifatida foydalaniladi (16.10-rasm).

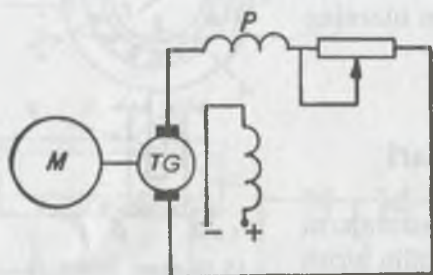
Bunday rele doimiy magnit 2, qisqa tutashtirilgan chulg'amga ega bo'lgan silindr 3 va kontakt sistemasi 6 dan iborat bo'ladi. Bunday reledagi o'zgarmas magnit 2 chastotasi nazorat qilinadigan motor vali bilan bog'langan valik 1 ga o'rnatilgan bo'ladi. Bu valikka alohida podshipnikda qisqa tutashtirilgan chulg'amli silindr 3 ham o'rnatiladi. Demak, motor aylanganda, u bilan birga doimiy magnit ham aylanadi. Natijada, qisqa tutashtirilgan chulg'am o'tkazgichlari 4 da e.y.u.k. va, demak, tok hosil bo'ladi. Bu tok bilan magnit maydonning o'zaro ta'sirida silindrni harakatga keltiruvchi moment hosil bo'ladi. Bunda richag 5 bilan kontakt sistemalari 6 va 7 ham o'z holatlarini o'zgartiradilar. Demak, chastota o'zgarishi bilan kontakt sistemasining holati o'zgaradi va avtomatik sistemaga kerakli bo'lgan signal sodir bo'ladi.



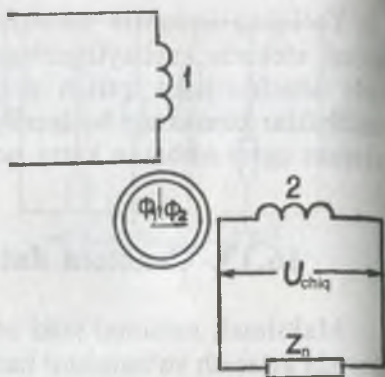
16.10-rasm. Induktiv PKC tipli chastota datchigining tuzilishi.

Taxogeneratorlar

Kuchlanishi yakor yoki rotor chastotasiga proporsional bo'lgan kichik quvvatli o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok generatori taxogenerator deb ataladi. Bunday taxogeneratorni elektromagnit rele bilan birgalikda chastota datchigi sifatida ishlatish mumkin. Bunda taxogenerator vali, chastotasi o'lchanadigan yoki nazorat qilinadigan motor



16.11-rasm. O'zgaras tok taxogeneratoring chastota datchigi sifatida ishlatilish sxemasi.



16.12-rasm. O'zgaruvchan tok taxogeneratorining tuzilish sxemasi.

vali bilan bevosita yoki biror uzatma orqali bog'langan bo'ladi (16.11-rasm).

Motor chastotasi berilgan qiymatga erishganida taxogeneratorda hosil bo'lgan kuchlanishga sozlangan rele o'z yakorini tortib avtomatik sistemaga kerakli signal beradi. O'zgaras tok taxogeneratorini qo'zg'atish uchun elektromagnit o'rniga doimiy magnitdan foydalaniladi.

Demak, taxogeneratorda hosil bo'ladigan e. yu. k. $E = k_E \Phi n = C_E n$ bo'lib, $k_E \Phi = \text{const}$ bo'ladi.

Yuklama toki kichik bo'lgani uchun $U \approx E \equiv n$ bo'lib, taxogenerator kuchlanishi uning aylanish chastotasiga proporsionaldir. Taxogenerator cho'tkasi bilan kollektor orasidagi kontakt qarshiligi turg'un qiymatga ega bo'lmaydi. Shu sababli o'zgaras tok taxogeneratoridan olinadigan kuchlanish ham mo'tadil qiymatga ega bo'lmaydi.

Asinxron taxogeneratori bunday kamchilikdan holidir (16.12-rasm). Bunday taxogeneratoring statorida o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulangan qo'zg'atish chulg'ami 1 va yuklama Z_n ulanadigan chulg'am 2 lar o'rnatilgan bo'lib, ularning o'qi o'zaro 90° burchakka farq qiladi. Bunday chastota datchigining rotorini ichi bo'sh jez silindrdan iborat bo'ladi. Agar qo'zg'atish chulg'ami 1 ga o'zgaruvchan tok berilsa, chulg'am 2 o'qiga tik yo'nalgan pulsatsiyalanuvchi magnit oqim Φ_1 hosil bo'ladi. Rotorning aylanishida Φ_1 oqimi kesilib, rotorda e. yu. k. va, demak, tok hosil bo'ladi. Bu tokdan ham pulsatsiyalanuvchi magnit oqim Φ_2 hosil bo'lib, uning yo'nalishi chulg'am 2 ning

o'qi tomon yo'nalgan bo'ladi. Demak, Φ_2 dan chulg'am 2 da chastotasi elektr tarmog'idagi chastotaga teng, amplitudasi esa rotor chastotasiga proporsional bo'lgan transformatorli e. yu. k. hosil bo'ladi. Agar rotorning aylanish yo'nalishi o'zgarsa, chulg'am 2 dagi e. yu. k. ning fazasi ham 180° ga o'zgaradi.

16.14. Qalqovichli relelar

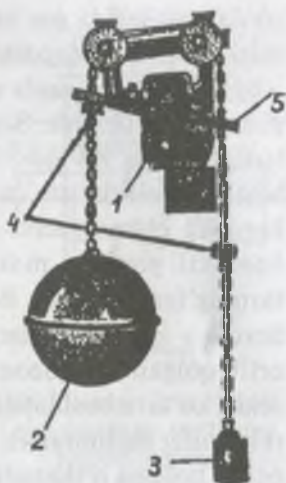
Qalqovichli relelar, odatda, nasos stansiyalarini avtomatlashtirishda ishlatiladi.

Suv bilan ta'minlovchi minorali nasos stansiyalarida, suv dastlab minora tepasiga o'rnatilgan bakka ko'tariladi. Bakdagi suv berilgan sathga ko'tarilganda nasos motori to'xtatilishi, suv berilgan sathga pasayganda esa ishga tushirilishi lozim. Nasos stansiyasi-ning bunday ish rejimini avtomatlashtirish uchun 16.13-rasmda ko'rsatilgan qalqovichli rele dan foydalanish mumkin. Bunda 1 — relening kontakt sistemasi, 2 — qalqovich, 3 — posangi, 4 — kontakt sistemasining richagi 5 ga ta'sir etib, uning holatini o'zgartiruvchi turtgichlar.

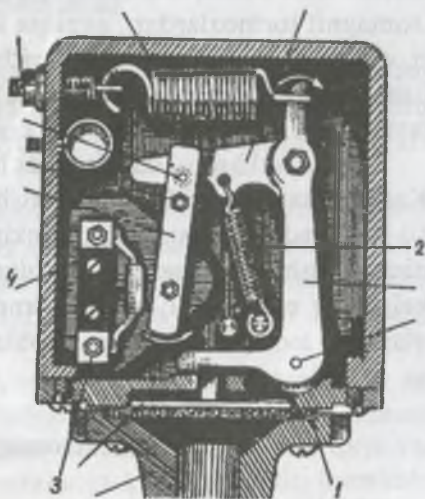
16.13-rasmda rele qalqovichi-ning eng yuqori holati ko'rsatilgan bo'lib, bunda motor elektr tarmog'idan ajratiladi va natijada bakdagi suv sathi pasayib boradi. Suv ma'lum sathga kamaygach, motor o'z-o'zidan elektr tarmog'iga ulanib ishlay boshlaydi.

16.15-rasm. Bosim rele si

Suyuqlik va gaz bosimlarini nazorat qilishda, odatda, 16.14-rasmda ko'rsatilgan bosim rele si ishlatiladi. Bunday relelardan, ko'pincha, havo-suv bosimli qo-



16.13-rasm. Qalqovichli relening tuzilish sxemasi.



16.14-rasm. Bosim rele sining tuzilishi.

zonlar vositasida suv bilan ta'minlovchi nasos stansiyalari ishini avtomatlashtirishda foydalaniladi.

Havo-suv bosimli qozonga ega bo'lgan nasos stansiyalari uchun minora qurilmaydi. Shu sababli bunday stansiyalar minorali stansiyalardan arzon bo'ladi. Bunda yopiq qozon ichidagi suv undagi havo bosimi ta'sirida iste'molchilarga tarqatilib turiladi. Qozondagi bosim berilgan qiymatgacha pasayganda unga o'rnatilgan bosim relesining kontakti yopilib, motorni ishga tushiruvchi apparat zanjiri elektr tarmog'iga ulanadi. Bunda motor ishga tushib, suvni nasos orqali bevosita iste'molchilarga tarqata boshlaydi. Iste'molchilar talabidan ortib qolgan suv qozon ichiga tushib, undagi havo bosimini yana asta-sekin ko'tara boshlaydi. Bosim berilgan qiymatga ko'tarilganda bosim relesining membranasi richaglar sistemasiga ta'sir etib, o'z kontaktini ochiq holatga o'tkazadi va natijada motor o'z-o'zidan to'xtaydi. Bunda qozondagi suv, faqat undagi bosim ta'sirida taqsimlana boshlaydi.

16.16. Elektromagnitlar va elektromagnit muftalar

Elektromagnitning qo'zg'atish chulg'amiga tok berilishi bilan u o'z yakorini tezda tortib oladi. Shu sababdan iskanjali va lentali tormoz mexanizmlarini elektromagnitlar bilan avtomatik boshqarish imkoni bor. Elektr motorlarini avtomatik boshqarishda bunday elektromagnit tormozlardan, ayniqsa keng foydalaniladi. Bundan tashqari, elektromagnitlar pnevmo va gidroventillarni avtomatik boshqarishda ham keng qo'llaniladi. Demak, elektromagnitlardan foydalanib turli jarayonlarni avtomatik ravishda boshqarish imkonini yaratish mumkin.

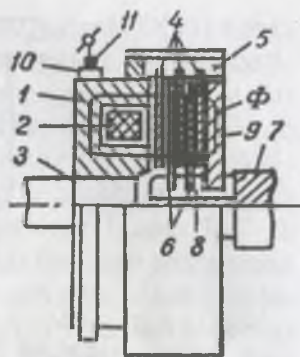
O'zgaruvchan tokda bir va uch fazali elektromagnitlar ishlatiladi. Katta elektromagnitlarning tortish kuchi 140 kg gacha bo'lib, yakori 80 mm gacha ko'tarilishi mumkin. Tormozlovchi elektromagnitlarning tortish kuchi harakat boshlanishida kam bo'lib, harakat oxiriga kelganda esa ortadi, ya'ni texnologik talabga teskari bo'ladi. Bu ularning asosiy kamchiligi hisoblanadi.

Elektromagnit muftalar

Elektromagnit muftalar avtomatikada keng tarqalgan qurilmalardan hisoblanadi. Bunday mufta bilan motor valini ish mexanizmi validan avtomatik ravishda ajratish yoki alohida aylanib turgan motor

valini kinematik zanjir bilan avtomatik ravishda tutashtirish mumkin. Natijada nisbatan katta siltanish momenti GD_m^2 ga ega bo'lgan motor yakori yoki rotorini ish mexanizmidan ajratib, uni tez va aniq to'xtatish imkonini olinadi.

Bundan tashqari, nominal chastota bilan aylanib turgan motorni mufta bilan ish mexanizmi valiga tutashtirilganda, elektr yuritmaning ishga tushish vaqti, asosan muftadagi elektromagnit jarayonning o'tishi bilangina aniqlanib birmuncha qisqaradi (bunda motorni ishga tushirish vaqti hisobga olinmaydi). Hozirgi paytda kichik gabaritli, ko'p diskali elektromagnit muftalar stanoklarning chastota qutilarida ham qo'llanilmoqda. Shu sababli elektromagnit muftalar bilan elektr yuritma chastotasini mexanik usulda avtomatik rostlash hamda reverslash mumkin. Bunday muftalar $1,6 \div 160$ kgm gacha bo'lgan momentni uzatish imkoniga ega qilib chiqarilmoqda. 16.15-rasmda ko'p diskali elektromagnit muftaning sxemasi ko'rsatilgan.



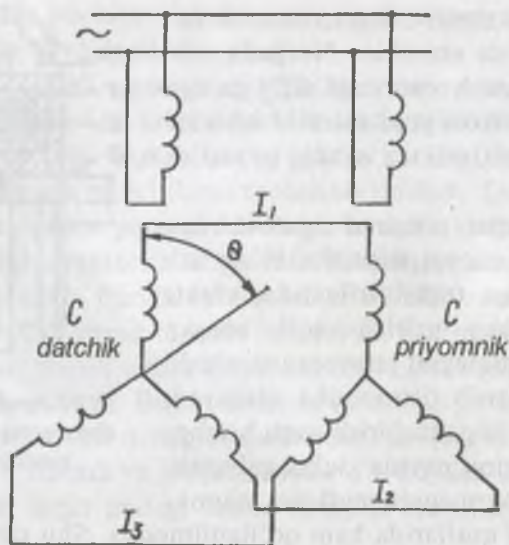
16.15-rasm. Ko'p diskali elektromagnit muftaning tuzilish sxemasi.

16.17. Selsinlar

Mexanik bog'lanishlarsiz bir valdagi harakatni turli masofadagi boshqa valga sinxron ravishda uzatuvchi induksion elektr mashina selsin deb ataladi. Bunday induksion elektr mashinalari o'z-o'zini sinxronlaydi.

Selsinlar turli tuzilishda chiqariladi. Kontaktli deb ataluvchi selsin statorida o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulangan bir fazali chulg'am bo'lib, uning rotorida esa uch fazali chulg'am bo'ladi. Yulduzsimon sxemada ulangan rotor chulg'amining uchlari kontaktli halqalarga tutashtiriladi.

Statorida uch fazali, rotorida esa bir fazali chulg'amlarga ega bo'lgan selsinlar ham bo'ladi. Selsinlar o'z vazifalariga binoan selsin-datchik va selsin-priyomnikka bo'linadi. Selsin-datchik vali qo'l yoki biror mexanizm bilan harakatga keltiriladi. Bu harakatni mexanik bog'lanishsiz turli masofadagi valga uzatish kerak. Selsin-priyomnik vali selsin-datchik validagi harakatni qabul qilib, uni o'zgartirmay sinxron ravishda takrorlashi kerak. 16.16-rasmda sel-



16.16-rasm. Selsin-datchik va priyomniklarning ulanish sxemasi.

sin-datchik rotori burilishini turli masofaga uzatish va uni selsin-priyomnik bilan qabul qilib, sinxron takrorlash sxemasi ko'rsatilgan. Agar burilish burchagi $\theta = 0$ bo'lsa, u holda selsin-datchik va priyomnik statorlaridagi bir fazali chulg'am tokida hosil bo'lgan pulsatsiyalanuvchi magnit oqimlar rotor chulg'ami fazalarida bir xil qiymatli, ammo teskari yo'nalishli e.yu.k. va tok hosil qiladi. Bunda fazalardagi umumiy tok qiymati nolga teng bo'lib, selsinlarda aylantiruvchi moment hosil bo'lmaydi.

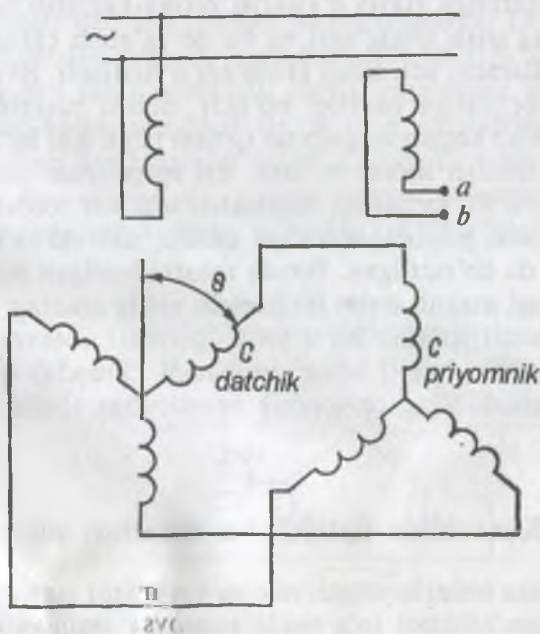
Agar datchik valini θ burchakka burilsa, uning rotori chulg'amlaridagi e.yu.k. qiymati $E_1 = E_m \cos \theta$; $E_2 = E_m \cos(120^\circ + \theta)$; $E_3 = E_m \cos(-120^\circ + \theta)$ bo'ladi.

E. Yu. K. lar tengsizligi natijasida selsinlarning rotor chulg'amidan tenglashtiruvchi I_1 , I_2 va I_3 toklar o'tadi. Bu toklar bilan statordagi magnit oqimning o'zaro ta'sirida bir-biriga teskari yo'nalgan aylantiruvchi momentlar hosil bo'ladi. Bunda datchikda hosil bo'lgan moment tashqi momentga, ya'ni uning rotorini θ burchakka burgan momentga teskari yo'nalgan bo'lib, priyomnikdagi sinxronlashtiruvchi moment esa tashqi moment tomon yo'nalgan bo'ladi. Shu sababli priyomnik vali sinxronlashtiruvchi moment ta'sirida θ burchakka teng burchakka burilganda, uning aylantiruvchi momenti qiymati nolga teng bo'ladi. Demak, datchik vali to'xtotilgan aylantirilib turilsa, priyomnik vali ham to'xtovsiz aylana boshlaydi. Avtomatlashtirilgan

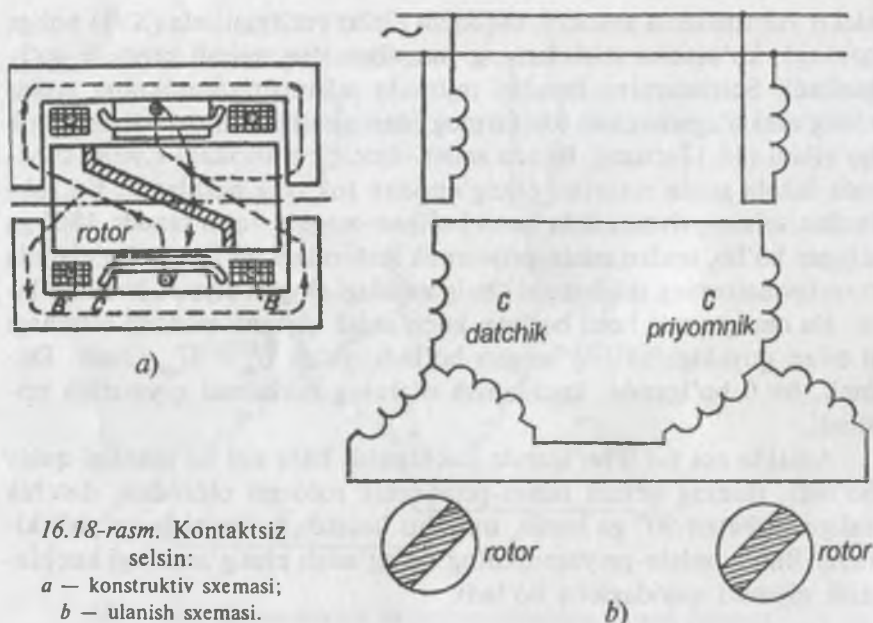
elektr yuritmalarda xususan, taqlidchi elektr yuritmalarda (XVII bobga qarang), ko'pincha selsinlarning transformator rejimli sxemasi qo'llaniladi. Selsinlarning bunday rejimida selsin-priyomnikning stator chulg'ami o'zgaruvchan tok tarmog'idan ajratilib, rotori tormozlanib qo'yiladi (16.17-rasm). Bunda selsin-datchik rotoridagi e.yu.k. ta'sirida ikkala selsin rotorlari chulg'amidan tok o'ta boshlaydi. Bu toklardan selsin-priyomnikda hosil bo'lgan magnit oqim fazoda 180° ga siljigan bo'lib, undan selsin-priyomnik statoridagi bir fazali chulg'amda transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi singari e.yu.k. hosil bo'ladi. Bu chulg'amda hosil bo'lgan kuchlanish qiymati burilish burchagi θ bilan quyidagicha bog'langan bo'ladi, ya'ni $U_{ab} = U_{maks} \cos\theta$. Demak, $\theta = 0$ bo'lganda, kuchlanish o'zining maksimal qiymatiga erishadi.

Amalda esa $\theta = 0$ bo'lganda kuchlanish ham nol bo'lganligi qulay bo'ladi. Buning uchun selsin-priyomnik rotorini oldindan, datchik valiga nisbatan 90° ga burib, uni shu holatda tormozlab qo'yish kifoya. Bunda selsin-priyomnikning qo'zg'atish chulg'amidagi kuchlanish qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$U_{ab} = U_{maks} \sin\theta$$



16.17-rasm. Selsinlarning transformator rejimli sxemasi.



16.18-rasm. Kontaktsiz
selsin:

a — konstruktiv sxemasi;
b — ulanish sxemasi.

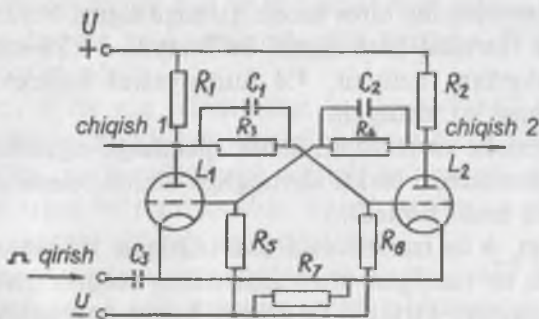
16.18-rasmda kontaktsiz (kontakt halqa va choʻtkalarsiz) selsin-ning *a* — konstruktiv sxemasi va *b* — ulanish sxemasi koʻrsatilgan. Bunda selsin statoriga ikkita gʻaltakni ketma-ket ulab hosil qilingan birlamchi qoʻzgʻatish chulgʻami va bu qoʻzgʻatish chulgʻami oʻqiga tik boʻlgan ikkilamchi uch fazali chulgʻam oʻrnatiladi. Birlamchi chulgʻam oʻqi rotor valiga parallel boʻladi. Selsin rotorida chulgʻam boʻlmay, u qiyalab ketgan magnitmas qatlam bilan ikki boʻlakka boʻlingan poʻlat silindrdan iborat boʻladi. Bu magnitmas qatlam magnit oqim yoʻnalishini 90° ga buradi. Kontaktsiz selsinlar yordamida datchik validagi harakatni priyomnik valiga uzatib, uni takrorlash sxemasi 16.18-rasm, *b* da koʻrsatilgan. Bunda rotorni berilgan burchakka burish bilan undagi magnit oqim ikkilamchi chulgʻamning har bir fazasida e.yu.k. hosil qiladi. Bu e.yu.k. qiymati rotorning berilgan burchagiga burilishi holati bilan aniqlanadi. Shunday qilib, datchik rotorini aylantirish bilan priyomnik rotori unga taqlid qilib aylana boshlaydi.

16.18. Kontaktsiz datchik va mantiqiy elementlar

Avtomatikada ishlatilayotgan rele va kontaktor singari apparatlar-ning ayrim kamchiliklari toʻgʻrisida yuqorida aytilgan edi. Bunday apparatlarning ulanish soni, ayniqsa, kompleks avtomatlashtirilgan

obyektlar, ya'ni masalan, stanoklarning avtomatik liniyalari va shu kabilarda ko'p bo'lgani uchun, ularning xizmat qilish muddati birmuncha qisqaradi, Haqiqatan, xizmat davri 10 mln ulanish bo'lgan rele minutiga bir marta ulansa, 20 yil xizmat qiladi, sekundiga bir marta ulanganida esa faqat 4 oy xizmat qiladi. Demak, avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarda kontaktsiz apparat va mantiqiy elementlardan foydalanish bilan yuqori texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarga erishish mumkin. Kontaktsiz almashlab ulagich va mantiqiy elementlar, ko'pincha, elektron asboblari, yarim o'tkazgichlar, ferromagnetiklar va rele-kontaktor kabi apparatlardan iborat bo'lib, ularning volt-ampere xarakteristikasi keskin o'zgaruvchan xarakterga, ya'ni ikkita turg'un holatga ega bo'ladi. Demak, bu elementlarni, ma'lum sharoitda bir turg'un holatdan ikkinchisiga keskin ravishda kontaktsiz o'tkazish mumkin. Kontaktsiz elementlar ixcham, kichik kuchlanishlarda ishlash imkoniga ega, foydali ish koeffitsiyenti katta va mexanik zarblarga chidamli bo'lib, avtomatik sistemalarda ulardan foydalanish juda qulay bo'ladi. Ularning asosiy kamchiligi ayrim nusxalarining turli xarakteristikaga egaligi va parametrlarining haroratga bog'liqligidir.

16.19-rasmda triod lampalaridan tuzilgan ikki turg'un holatli trigger sxemasi ko'rsatilgan. Bunda triggerning normal (turg'un) holati deb bir triodning ochiqligida ikkinchisi berk bo'lgan holati, uning beqaror holati deb esa undagi ikkala triodning ham ochiq bo'lgan paytidagi holatiga aytiladi. Agar dastlabki holatda L_1 triod ochiq, L_2 triod berk deb faraz qilinsa, u holda triggerning bu turg'un holati, tashqi signal bo'lmagan taqdirda, R_3 va R_4 qarshiliklaridan olinadigan musbat teskari bog'lanishlar tufayli ishonchli saqlanadi. Bu holatda chiqish 2 dagi signal U_{chiq2} ning qiymati tok manbaidagi musbat kuchlanishga taxminan teng, ya'ni $U_{chiq2} = U$ bo'lgani uchun chiqish 1



16.19-rasm. Triod lampalaridan tuzilgan trigger sxemasi.

dagi signal $U_{\text{chiq1}} = U - I_{a1}R_1$ ning qiymati U_{chiq2} ga nisbatan kichik bo'ladi. Triggerni boshqa turg'un holatga o'tkazish uchun ochiq triod L_1 ning kirish qismiga biror signal berib, uni berkitish kerak. Buning uchun esa L_1 to'riga yoki anodiga manfiy potentsialli signalni yoki bo'lmasa, uning katodiga musbat signalni berish kifoya. 16.19-rasmdagi triggerni boshqa turg'un holatga o'tkazish uchun L_1 ning katodiga kondensator C_3 orqali musbat kirish signali beriladi. Bunda L_1 anodidagi tok I_{a1} qiymati kamayib, undagi kuchlanish esa ortadi. L_1 anodidagi kuchlanishning ortishi C_1 va R_3 orqali L_2 to'riga beriladi va natijada ikkinchi lampadan ham tok o'ta boshlaydi. L_2 anodidan I_{a2} tok o'tishi bilan undagi kuchlanish U_{chiq2} ning qiymati $I_{a2}R_2$ hisobiga kamayadi, ya'ni $U_{\text{chiq2}} = U - I_{a2}R_2$ bo'ladi. U_{chiq2} ning kamayishi C_2 va R_4 orqali L_1 to'riga ta'sir etib, I_{a1} qiymatini yanada kamaytiradi va hokazo.

Triod to'rlariga beriluvchi musbat teskari zo'rliqi sababli trigger bir onda (bir necha mikrosekundda) bir turg'un holatdan ikkinchisiga o'tadi. Tranzistorlardan tuzilgan triggerlar ham yuqoridagi singari prinsipda o'z turg'un holatlarini o'zgartirishlari mumkin. Triggerlar bilan turli signallarni sanash, ularni xotirada saqlab qolish imkonlari olinadi.

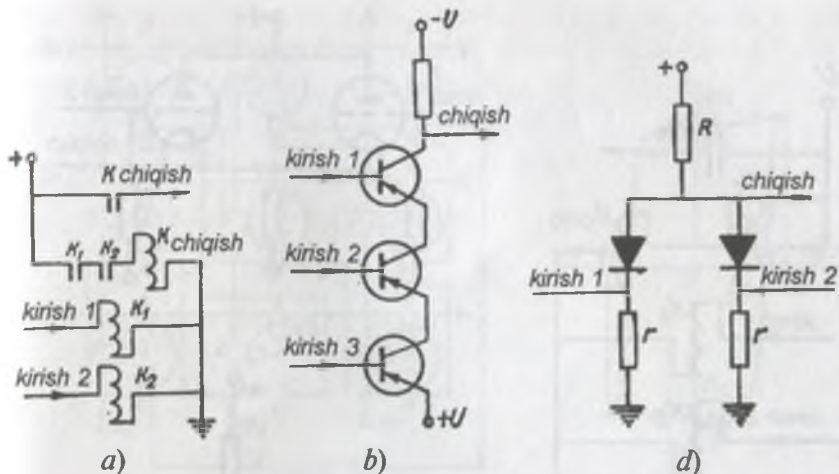
Mantiqiy elementlar

Mantiqiy elementlar, ko'pincha kontaktsiz asboblardan asosida tuzilib, programma bilan boshqariluvchi va boshqaruvchi sistemalarda ishlatiladi. Bu elementlar bilan *VA*, *YOKI*, *YO'Q* hamda *XOTIRA* degan mantiqiy funksiyalarni bajarish imkoni olinadi. Mantiqiy element *VA* dan chiqish signalini olish uchun uning birinchi va boshqa hamma kirishlariga signal berilishi zarur.

Bunday elementning biror kirish qismiga signal berilmasa, u holda uning chiqish qismida ham signal bo'lmaydi. 16.20-rasm, *a* da rele va kontaktorlardan tuzilgan, *VA* funksiyasini bajaruvchi mantiqiy element sxemasi ko'rsatilgan.

Bunda birinchi va ikkinchi kirish qismlarga signallar berilgandagina chiqish kontaktori elektr tarmog'iga ulanib, elementning chiqish qismida signal hosil bo'ladi.

16.20-rasm, *b* da tranzistorlardan tuzilgan *VA* mantiqiy elementning sxemasi ko'rsatilgan. Bu elementning chiqish qismidan musbat signalni olish uchun birinchi va qolgan hamma tranzistorlar bazasiga manfiy potentsialli impuls berish kerak. Bunda hamma tranzistorlar ochilib, *VA* elementining chiqish qismidan musbat signalni olish



16.20-rasm.

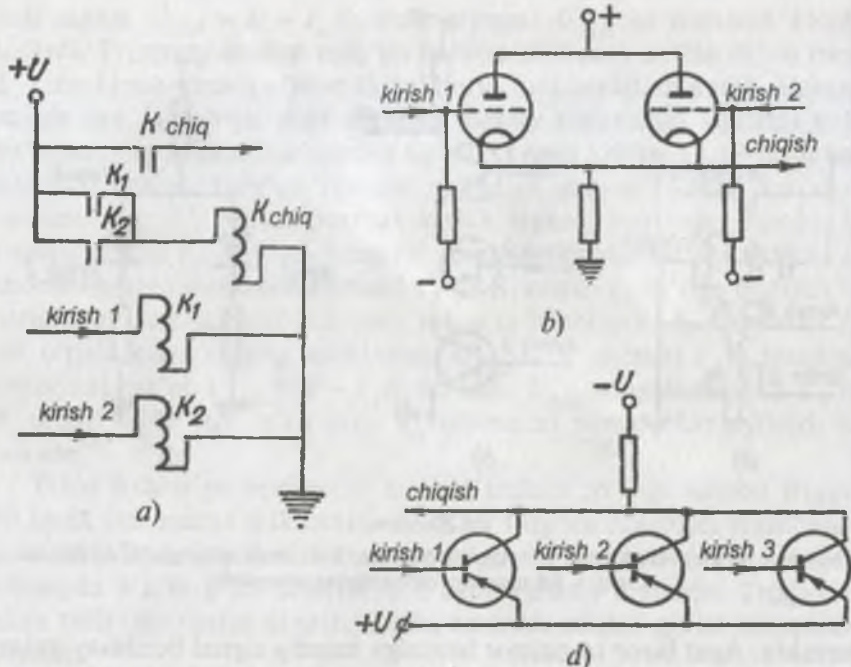
a — rele va kontaktorlardan; *b* — tranzistorlardan; *d* — chala o'tkazgichli diodlardan tuzilgan VA mantiqiy elementning sxemalari.

mumkin. Agar biror tranzistor bazasiga manfiy signal berilmay qolsa, u holda tranzistorlar berk bo'lib, elementning chiqish qismida signal bo'lmaydi. 16.20-rasm, *d* da yarim o'tkazgichli diodlardan tuzilgan VA mantiqiy elementning sxemasi ko'rsatilgan. Bunday sxema ham yuqoridagilar singari prinsipda ishlaydi, ammo uning ishonchli ishlashi uchun R ning qiymati r ga nisbatan juda katta, ya'ni $R \gg r$ bo'lishi kerak. Agar bu elementning ham birinchi va ikkinchi kirish qismlariga musbat signal berilsa, uning chiqish qismida ham signal hosil bo'ladi.

YOKI funksiyasini bajaruvchi mantiqiy element bir necha kirish va bitta chiqish qismiga ega bo'ladi. Bunda chiqish signalini olish uchun kirish qismlarining biri yoki hammasiga signal berish zarur. 16.21-rasm, *a* da rele va kontaktorlardan tuzilgan **YOKI** elementining sxemasi ko'rsatilgan.

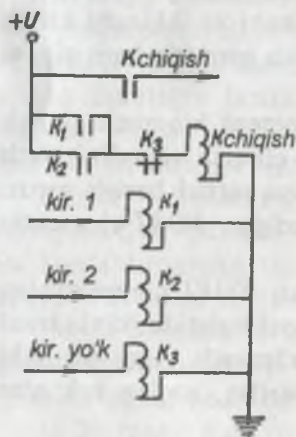
16.21-rasm, *b* da esa triodlardan tuzilgan **YOKI** elementining sxemasi ko'rsatilgan. Bunday elementning normal holatida ikkala triod ham berk bo'lib, natijada chiqish signali bo'lmaydi. Agar birinchi Yoki ikkinchi triod to'riga musbat signal berilsa, undan tok o'ta boshlaydi va, demak, chiqish signali olinadi.

16.21-rasm, *d* da tranzistorlardan tuzilgan **YOKI** elementining sxemasi ko'rsatilgan. Bunda tranzistorlardan bittasining **YOKI** hammasining bazasiga manfiy signal berilsa, u holda elementning chiqish qismida signal hosil bo'ladi.



16.21-rasm.

a — rele va kontaktorlardan; b — triodlardan; d — tranzistorlardan tuzilgan YO'Q mantiqiy elementining sxemalari.

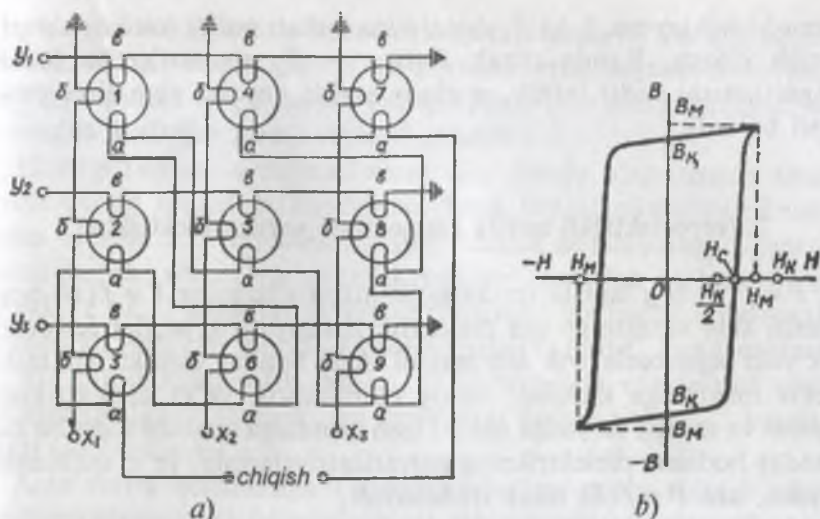


16.22-rasm. Rele va kontaktorlardan tuzilgan YO'Q mantiqiy elementining sxemasi.

16.22-rasmda rele va kontaktorlardan tuzilgan YO'Q elementining sxemasi ko'rsatilgan.

Bunday elementdan chiqish signalini olish uchun uning kirish qismlaridan birida signal bo'lishi, kirish YO'Q qismida esa signal bo'lmasligi kerak.

Mantiqiy element XOTIRA ni tuzish uchun ikki turg'un holatga ega bo'lgan triggerlardan ham foydalanish mumkin. Triggerning kirish qismiga uni teskari holatga o'tkazuvchi signal berilmaguncha, u o'z holatini turg'un ravishda xotiralab (saqlab) turadi. Bunday tipdagi xotira elementlarining ishi yuqorida ko'rilgan edi. 16.23-rasmda ferrit, ya'ni ferromagnit yarim o'tkazgich o'zaklaridan tuzilgan xotira elementi



16.23-rasm.

a — ferritli o'zak matritsasidan tashkil topgan XOTIRA elementining sxemasi;
b — ferritli o'zakning gisterizis sirtmog'i.

(ferrit matritsasi) ning a — sxemasi va b — o'zakning magnitlanish egri chizig'i (gisterizis sirtmog'i) ko'rsatilgan. Bunda har bir ferrit o'zagi uch chulg'amga ega qilinadi. O'zakni bir turg'un holatdan ikkinchisiga o'tkazish, ya'ni uni qayta magnitlantirish uchun b va d chulg'amlarga impuls beriladi. Ferrit matritsalaridagi yozilgan signal-larni sanash uchun esa a chulg'ami ishlatiladi.

O'zakni to'yinguncha magnitlash uchun uning b va b chulg'am-lariga $\frac{I_k}{2}$ tok impuls-lari beriladi. Bunda quyidagi shartlar bajarilishi, ya'ni $H_k \geq H_m$; $\frac{H_k}{2} < H_c$ bo'lishi kerak.

Ferritli o'zakdagi gisterizis sirtmog'ining shakli to'g'ri to'rt-burchakka yaqin bo'lgani uchun magnitlovchi tok impulsini o'zak-dagi chulg'amdan olib qo'yilsa ham, magnit induksiyasining qiy-mati bir ozginaga kamayadi, xolos, ya'ni $H = 0$ bo'lganda $B = B_q$ bo'ladi. Bunda B_q — qoldiq magnetizm. Demak, o'zakning qoldiq magnetizmi $+B_q$ ga ega holatini esa 0 deb olish mumkin. Agar 2 o'zakni 1 kodi holatiga o'tkazish kerak bo'lsa, u holda qiymati yuqorida ko'rsatilgan tok impuls-larini adres shinalari X_1 va Y_2 larga berish kifoya. Bunda 1 holatiga faqat 2 o'zak o'tadi. 4, 6, 7 va 9 o'zakdagi chulg'amlardan tok mutlaqo o'tmaydi. 1, 3, 5 va 8 o'zaklardagi chulg'amlarning faqat bittasidan tok o'tgani uchun ular ham 1 holatga o'tolmaydilar. 2 o'zakda yozilgan signalni o'qish

(sanash) uchun esa X_1 va Y_2 shinalariga teskari qutbli tok impulslarini berish kifoya. Bunda o'zak 2 ning — B_q qiymatigacha teskari magnitlanishi sodir bo'lib, a chulg'amida chiqish signali (e.yu.k.) hosil bo'ladi.

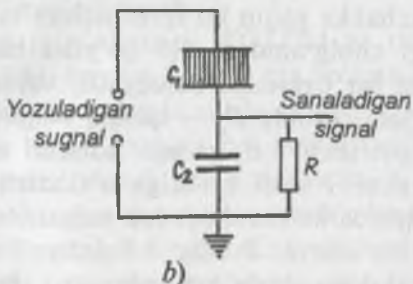
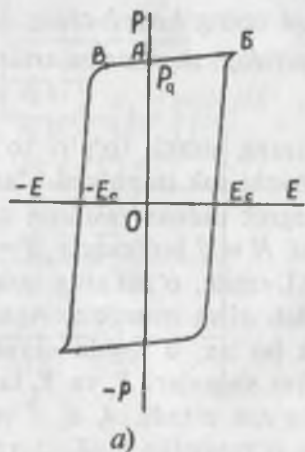
Ferroelektrikli xotira elementlari segnetoelektriklar

$P = f(E)$ bog'lanishi ferromagnit materiallarining $V = f(H)$ bog'lanishi kabi xarakterga ega dielektrik xususiyatli kristallar ferroelektrik yoki segnetoelektrik deb ataladi. Agar bunday dielektrikni tashqi elektr maydonga kiritilsa, uning qutblanishi, ya'ni dielektrikning musbat va manfiy zaryadga ega bo'lgan qismlarga ajralishi sodir bo'ladi. Bunday hodisani dielektrikning polyarizatsiyalanishi, ya'ni qutblanishi deyilib, uni $P = f(E)$ bilan ifodalanadi, bunda P — qutblanish qiymati;

E — tashqi elektr maydonning kuchlanganligi.

Segnetoelektriklarda ham qoldiq qutblanish P_q bo'lib, agar tashqi elektr maydoni P_q tomon yo'nalgan bo'lsa, kristallning qutblanishi to'yingunga qadar AB chiziq bo'yicha ortib boradi (16.24-rasm).

16.24-rasmda eng yaxshi o'rganilgan va keng tarqalgan bariy titanatidan iborat segnetoelektrikning $a)$ $P = f(E)$ bog'lanishi, $b)$ — segnetoelektrikli xotira elementining sxemasi ko'rsatilgan. Bunda ham $E = 0$ bo'lganda $P = P_q$, ya'ni qoldiq qutblanish P_q olinadi. Elektr maydon kuchlanganligi qiymatini o'zgartirish bilan segnetoelektrik-



16.24-rasm.

a — bariy titanatidan iborat segnetoelektrikning qutblanish egri chizig'i;
 b — segnetoelektrikli xotira elementining sxemasi.

ning qutblanishi gisterezis sirtmog'i singari sirtmoq bo'yicha o'zgaradi. Demak, ikkilik sistemasiga 1 va 0 raqamlarini segnetoelektrikning $+P_q$ (A nuqta) va $-P_q$ holatlari orqali ifodalash va ularni berilgan vaqt davomida xotiralab turish imkoni olinadi.

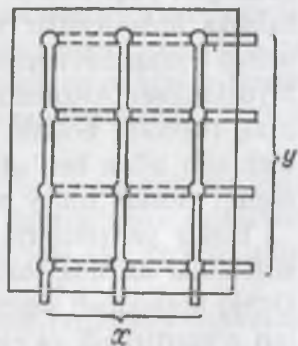
Hozirgi paytda signallarni uzoq vaqt ichida o'zgartirmay saqlab turish uchun segnetoelektrlardan keng foydalanilmoqda. Bunday xotira elementlari ferroelektrik to'lg'izilgan kondensator C_1 lardan iborat bo'lib, ularni yig'uvchi kondensatorlar deb ataladi. 16.24-rasmda 1 va 0 signallarini saqlab turuvchi yig'uvchi kondensator sxemasi ko'rsatilgan. Bunda 1 kodini yozish uchun C_1 kondensatoriga bir xil qutbli kuchlanish berilsa, 0 ni yozishda esa teskari qutbli kuchlanish signali beriladi. Bu signallarni sanash uchun C_2 kondensatori qo'llanilgan.

Agar xotira qurilmasiga 1 kiritilgan bo'lsa, uning chiqish qismidan katta qiymatli tok impulsi olinadi, 0 kiritilsa kichik qiymatli impuls olinadi. Demak, 1 va 0 yozilganda, C_2 kondensatori katta va kichik toklar bilan zaryadlanadi va bu sonlarni kondensatordagi kuchlanishga binoan aniqlash mumkin bo'ladi. Ferroelektrik to'lg'izilgan kondensatorlarni bosmalash bilan olingan matritsa sxemalarida xotiralash elementi sifatida qo'llash mumkin. 16.25-rasmda matritsa tipidagi xotira qurilmasining bosmalash bilan olingan sxemasining bir qismi ko'rsatilgan.

Bunda matritsa ferroelektrik plastinkasidan iborat bo'lib, uning ikki tomoniga bir-biriga tik bo'lgan X va Y o'qlari bo'yicha tok o'tkazuvchi yo'llar bosmalangan. X va Y yo'llar kesishgan nuqtalar yig'uvchi kondensatorlarni hosil qilib, ularning har biri elementar xotira elementini ifodalaydi.

Bunday xotira qurilmasining ishlash prinsipi ham yuqoridagi ferrit matritsasidagiga o'xshashdir, ammo bu yerda signal sifatida tok o'rniga kuchlanish impulsi beriladi.

Ikkilik sistemasidagi raqamlarni yozish uchun elementar xotiralarni o'tkazuvchi plastinkasi X va Y ga musbat kuchlanish berilib, boshqasiga shu kuchlanishning teskari ishoraliqi beriladi. Kuchlanish berilgan bu ikkala o'tkazuvchi plastinka oralig'idagi ferroelektrik tashqi elektr maydoni tomon qutblanadi va berilgan sonni eslab qoladi. X va Y yo'llardagi boshqa elementar xotiralarda



16.25-rasm. Bosmalash bilan olinadigan segnetoelektriklik xotira elementining bir qismi.

elektr maydoni ikki marta kichik kuchlanganligi sababli ularning qutblanish holati o'zgarmaydi.

I raqamini sanash uchun elektr maydonning yo'nalishi, uni yozish uchun berilgandagiga teskari bo'lib, *0* raqamida esa bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Natijada *I* ni sanashda chiqish qismidan katta signal, *0* ni sanashda esa kichik signal olinadi.

XVII BOB. ELEKTR YURITMALARNING AVTOMATIK BOSHQARISH SXEMALARI

17.1. Umumiy tushunchalar

Elektr yuritma va ish mashinasidan samarali foydalanish yo'li bilan mehnat unumini oshirish, mahsulot tannarxini kamaytirish uchun elektr motorini ishga tushirish, tormozlab to'xtatish, reverslash kabi o'tkinchi rejimlarni va turg'un chastotada aylanish jarayonlarini eng yaxshi ko'rsatkichlar bilan, ya'ni optimal suratda o'tkazish zarur. Buning uchun elektr yuritmalarni avtomatlashtirish lozim. Elektr yuritmalarni avtomatlashtirish ayniqsa ularning qisqa muddatli ish rejimlarida katta ahamiyatga ega. Haqiqatan, bunday rejimda ishlaydigan, masalan, bo'ylama randalash stanoklari va prokat stanlari elektr yuritmalari ish siklining $30 \div 40\%$ ini o'tkinchi jarayonlar tashkil qiladi. Bunday ish mashinalari uchun avtomatlashtirilgan elektr yuritmadan foydalanilsa, elektr motorining optimal ko'rsatkichlar asosida avtomatik boshqarish natijasida o'tkinchi jarayonlar uchun ketadigan vaqt keskin kamayadi, texnologik jarayonni takomillash-tirishga imkoniyatlar yaratiladi. Elektr yuritmani avtomatlashtirish uchun boshqarish apparatlari asosida tuzilgan boshqarish sxemalaridan foydalaniladi. Avtomatik boshqarishda boshlang'ich buyruq operator-ning tugmani bosishi yoki buyruq-kontrollerni berilgan holatga o'tkazish bilan beriladi. Shundan keyin elektr yuritma belgilangan qonun asosida ishlay boshlaydi.

Elektr yuritmalarni avtomatik boshqarish uchun ochiq va berk sistemalar asosida tuzilgan boshqarish sxemalaridan foydalaniladi. Ochiq boshqarish sistemalarida tok manbai yoki yuklama parametrlari o'zgartiriladi va elektr yuritma yangi ko'rsatkichlar bilan ishlay boshlaydi. Berk boshqarish sistemalarida esa teskari bog'lanish zanjiri bo'lib, shu tufayli elektr yuritma doimo berilgan ko'rsatkichlar bilan ishlaydi.

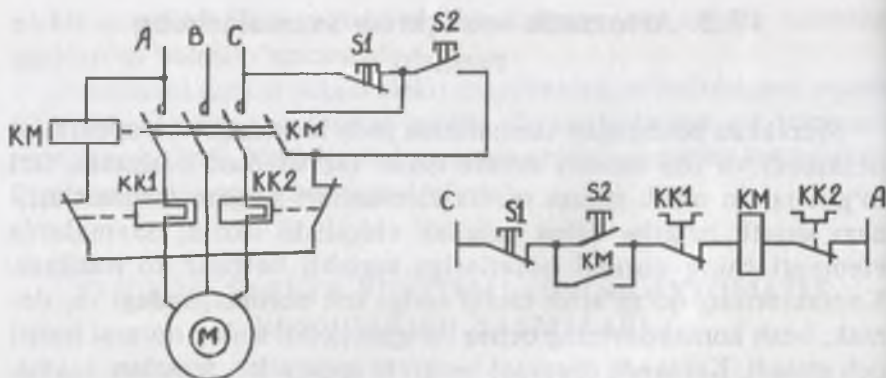
17.2. Avtomatik boshqarish sxemalarining tuzilishi

Murakkab boshqarish sxemalarida juda ko'p asbob va apparatlar ishlatiladi va shu sababli sxema ishini tez va oson tushunib, uni to'g'ri talqin qilish uchun sxema elementlari xalqaro standartlashdagi shartli belgilar bilan belgilab chiqilishi lozim. Sxemalarda elementlarning normal holatlariga tegishli belgilar ko'rsatiladi. Kontaktorning qo'zg'atish chulg'amiga tok berilmagandagi va, demak, bosh kontaktlarining ochiq bo'lgan holati uning normal holati deb ataladi. Komanda (buyruq) beruvchi apparatlar, masalan, tugma, kontrolyor va turli datchiklarning kontaktli yoki kontaktsiz sistemalari holatining tashqi ta'sir natijasidan ilgarigi (dastlabki) holati ularning normal holati deb ataladi. Bir xildagi apparatlarni bir-biridan ajratish uchun ular bir necha bosh harflar bilan belgilanadi. Bunda birinchi harf apparatning nomiga taalluqli bo'lsa, boshqalari uning sxemadagi vazifasiga taalluqli bo'ladi. Masalan, *KM* — magnitli kontaktor va bu kontaktor bilan bosh zanjir liniyasi tutashtiriladi. Agar sxemada bir xil elementlar bir xil vazifalarni bajarsa, ularning harfiy belgilari yoniga sonlar qo'yiladi masalan, *KM1*, *KM2* va hokazo.

Sxemalardagi apparatlarga tegishli turli elementlar shu apparatlar belgisi bilan ifodalanadi. Masalan, magnit kontaktori chulg'ami *KM* bilan belgilangan bo'lsa, u holda bu kontaktorga tegishli bo'lgan bosh va blok kontaktlar ham *KM* bilan belgilanadi. Elektr sxemalarda bosh va boshqarish zanjirlari bo'ladi. Elektr motorlarining yuklanish toki o'tuvchi yakor, rotor va stator chulg'amlari ularning bosh zanjirlari hisoblanadi. Bu zanjirlar boshqarish zanjiriga nisbatan yo'g'on chiziqlar bilan ifodalanadi; boshqarish zanjiriga esa boshqarish, signallash va nazorat qilish apparatlarining elementlari ulangan zanjirlar kiradi. Boshqarish sxemalari prinsipial (yoyilgan) va montaj sxemalari tarzida berilishi mumkin.

Yoyilgan sxemaning har bir elementi o'zining ulanish tartibiga binoan joylashgan bo'lib, bunda ishlash prinsipini oson tushunish hisobga olinadi, sxema elementlarining turar joyi esa hisobga olinmaydi.

17.1-rasmda asinxron motorni avtomatik boshqarish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda sxemaning ishlash prinsipi, undagi apparatlarining bir-biriga ta'sirlari yaqqol ko'rinib turibdi. Shu sababli bunday sxema prinsipial sxema deyiladi. Boshqaruvchi apparatlarning panelga o'rnatilish tartibini hisobga olib tuzilgan sxema montaj sxemasi deyiladi.



17.1-rasm. Asinxron motorni avtomatik boshqarishning prinsipial sxemalari.

ladi. Bunday sxemadan boshqarish panellarini montaj qilishda foydalaniladi. Montaj sxemasini o'qish prinsipial sxemaga nisbatan ancha murakkab bo'ladi.

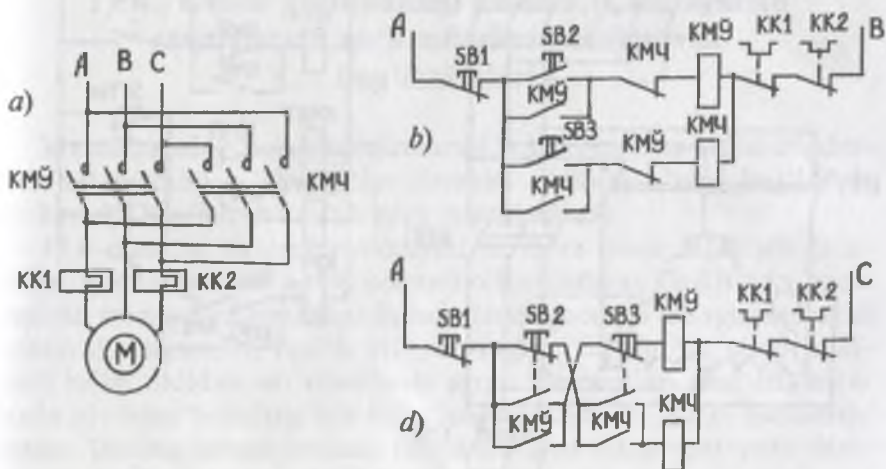
17.3. Ochiq sistemali avtomatik boshqarish sxemalari

17.1-rasmda qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni magnit ishga tushirgich bilan bir tomonga boshqariladigan sxema ko'rsatilgan. Bunda xavfsizlik qoidasiga muvofiq motorni ishlatish paytidagina rubilnik R ulanadi, boshqa paytlarda esa ajratilib qo'yiladi. Shu sababli motorni ishga tushirish uchun $S2$ tugmasini bosish kifoya. Bunda quyidagidan iborat boshqarish zanjiri hosil bo'ladi: birinchi faza, issiqlik relelarining ajratuvchi $KK1$ va $KK2$ kontaktlari, kontaktorning qo'zg'atuvchi KM chulg'ami, $S2$ tugmasini tutashtiruvchi kontakt, to'xtatish $S1$ tugmasini ajratuvchi kontakt va ikkinchi faza. Natijada magnitli ishga tushirgichning KM g'altagi qo'zg'atilib, uning bosh kontaktlari KM bilan motor elektr tarmog'iga ulanadi. Bunda kontaktorning blok kontakti KM bilan $S2$ tugmasi shuntlanishi sababli, uni bir onda bosib, so'ngra bo'shatilsa ham motorning boshqarish zanjiri elektr tarmog'idan uzilmaydi. Motorni to'xtatish uchun $S1$ tugmasini bosish kifoya. Elektr tarmog'idagi kuchlanish biror sababga ko'ra keskin kamayib yoki yo'q bo'lib qolsa, u holda ishlab turgan motor o'z-o'zidan to'xtab qoladi. Ammo kuchlanishning qiymati tiklangandan so'ng ham u o'z-o'zidan ishga tusha olmaydi. Motorni ishga tushirish uchun $S2$ tugmasini qayta bosish kerak.

Demak, magnitli ishga tushirgichga ega sxema nol kuchlanish xavfidan himoyalangan bo'ladi. Sxemadagi issiqlik relei *KK1* va *KK2* motorni uzoq muddatli o'ta yuklanishi natijasida haddan tashqari qizib ketishdan himoyalaydi. Agar bu relening qizish elementi haddan tashqari qizib ketsa, u holda relening ajratuvchi kontaktlari *KK1* va *KK2* kontaktor *KM* chulg'amini toksiz qoldiradi va natijada motor elektr tarmog'idan ajratiladi.

17.2-rasm, *a* da reversiv rejimda ishlaydigan asinxron motorni avtomatik boshqarish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda *a* — bosh zanjir, *b* va *d* — boshqarish zanjirlarining sxemalari; *KMY* va *KMY* — motorni o'ng va chap tomonlarga boshqaruvchi kontaktorlar; *SB2* va *SB3* — motorni o'ng va chap tomonlarga aylantirish uchun buyruq beruvchi tugmalar.

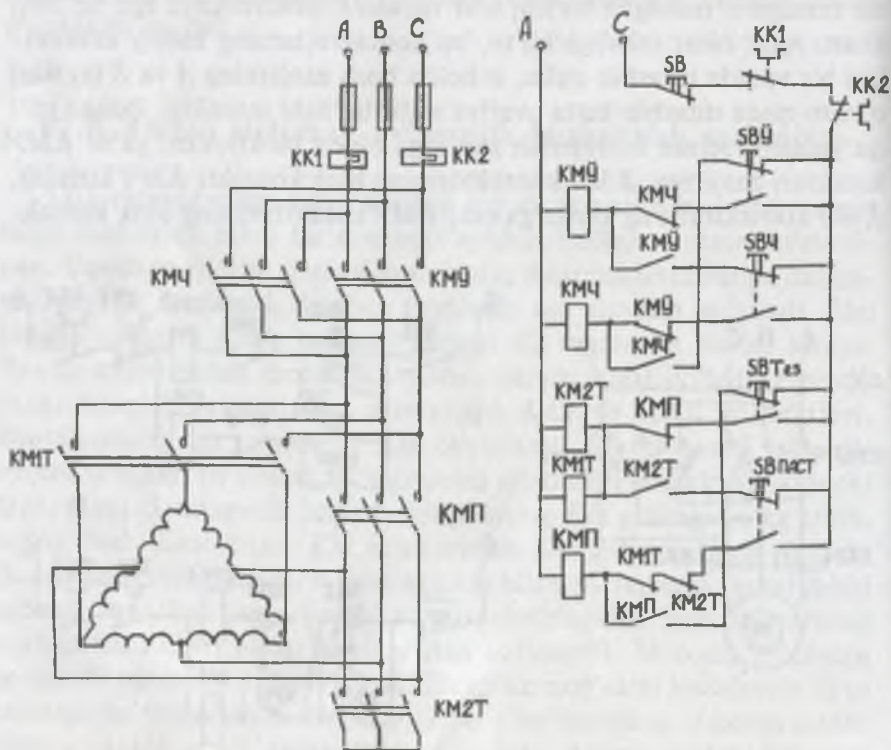
Motorning aylanish yo'nalishini o'zgartirib boshqarish uchun *KMY* va *KMY* kontaktorlaridan iborat reversiv magnitli ishga tushirgichdan foydalaniladi. Reversiv magnitli ishga tushirgichdagi kontaktorlar bir ramaga o'rnatilgan bo'lib, ular mexanik blokirovkaga ega bo'lishi shart. Agar biror sababga ko'ra, bu kontaktorlarning asosiy kontaktlari bir vaqtda tutashib qolsa, u holda bosh zanjirning *A* va *S* fazalari o'zaro qisqa tutashib katta avariya sodir bo'lishi mumkin. Bunga yo'l qo'ymaslik uchun boshqarish zanjiriga elektr blokirovka, ya'ni *KMY* kataktori zanjiriga, *KMY* kontaktorining blok kontakti *KMY* kiritilib, *KMY* kontaktorining zanjiriga esa, *KMY* kontaktorining blok kontak-



17.2-rasm. Reversiv rejimda ishlaydigan asinxron motori:

a — bosh zanjir sxemasi; *b* va *d* — elektr blokirovkaga ega boshqarish sxemalari.

ti $KM\bar{Y}$ kiritiladi (17.2-rasm, *b*). Natijada, motorni o'ng yoki chap tomonga aylantirish uchun buyruq berilganda uni teskari tomonga ulab ishga tushiruvchi kontaktor zanjiri $KM\bar{Y}$ va $KM\bar{Y}$ blok kontaktlari bilan ochilib qoladi. 17.2-rasm, *d* dagi sxemada boshqa xil elektr blokirovka ko'rsatilgan. Bunda o'ng tomonga aylantirish tugmasi bosilganda, uning ajratuvchi $KM\bar{Y}$ kontakti chulg'am $KM\bar{Y}$ zanjirini ochib qo'yadi va aksincha. Shu sababli bu sxemada ham ikkala tugma tasodifan bir paytda bosilib qolsa, motor elektr tarmog'iga ulana olmaydi va, demak, avariya sodir bo'lmaydi. Bu sxemada bir tomonga aylanib turgan motorni teskari tomonga aylantirish uchun o'sha tomon tugmasini bosish kifoya. 17.2-rasm, *b* dagi sxemada esa, motorni teskari tomonga aylantirish uchun dastavval uni to'xtatish, so'ngra boshqa tomon tugmasini bosish kerak. Elektr blokirovkalarda ajratuvchi kontaktlar biror sababga ko'ra zanjirni ajratmay qo'yishi mumkin. Shuning uchun reversiv magnitli ishga tushirgich bilan boshqariluvchi sxemaning ishi ishonchli bo'lishi uchun elektr blokirovka-



17.3-rasm. Elektr va mexanik blokirovkalarga ega bo'lgan ikki chastotali reversiv asinxron motorni boshqarish sxemasi.

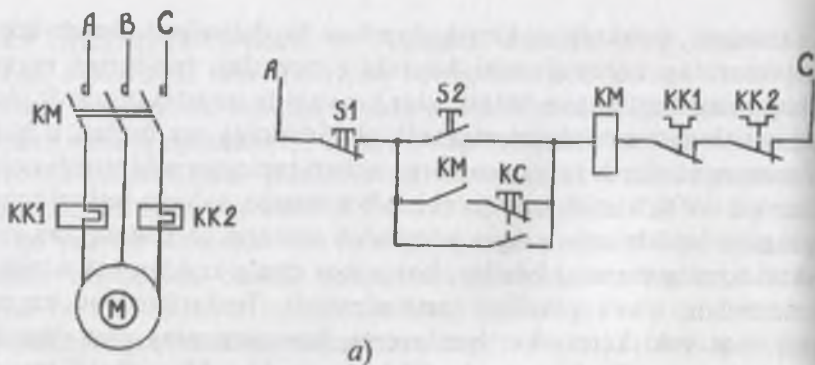
dan tashqari, mexanik blokirovkadan ham foydalaniladi. Bunda ikkala kontaktorning qo'zg'aluvchi kontakt sistemalari bir-biriga maxsus richag bilan bog'langan bo'lib, ular bir vaqtda tutasha olmaydi. Agar boshqarish sistemasi faqat mexanik blokirovkaga ega bo'lsa, u holda bir tomonga aylanib turgan motorni teskari tomonga aylantirish uchun dastavval uni to'xtatish tugmasini bosib to'xtashi, so'ngra teskari tomon tugmasini bosish lozim. Agar yanglishib motorni to'xtatmasdan turib teskari tomon tugmasi bosilsa, kontaktor chulg'amidan tok o'tishiga qaramasdan, u o'z yakorini torta olmaydi. Teskari tomon tugmasi uzoq vaqt yoki ketma-ket bosilaversa, kontaktorning chulg'amidan katta qiymatli tok o'tib, uni kuydirishi mumkin. Shu sababli reversiv magnitli ishga tushirgich sxemalarida mexanik blokirovkadan tashqari 17.2-rasm, *b* va *d* larda ko'rsatilgan elektr blokirovkadan ham foydalanish zarur. 17.3-rasmda elektr va mexanik blokirovkalarga ega bo'lgan ikki chastotali reversiv asinxron motorni boshqarish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda motorni o'ng tomonga katta chastotada aylantirish uchun *SBY* va *SBTez* tugmalarini bosish lozim. Motorni yuqori chastotadan past chastotaga o'tkazish uchun *SBI*ACT tugmasini bosish kifoya.

Motorni reverslash uchun *SBY* tugmasi bosiladi. Bunda motor dastavval teskari ulanish rejimida tezda tormozlanib to'xtaydi va so'ngra teskari tomonga motor rejimida aylana boshlaydi.

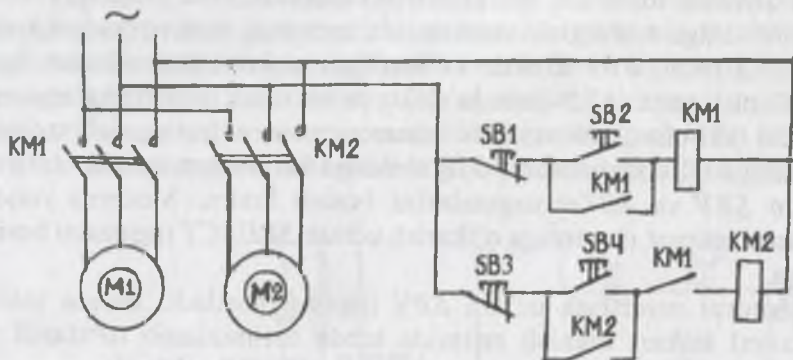
17.4. Elektr yuritmaning avtomatik boshqarish sxemalarida qo'llaniladigan blokirovka bog'lanishlari

Mexanizmning turli ish rejimlarini yoki kompleks avtomatlashtirish sistemalaridagi elementlar harakati tartibini o'zaro bog'lashda blokirovka bog'lanishlaridan keng foydalaniladi.

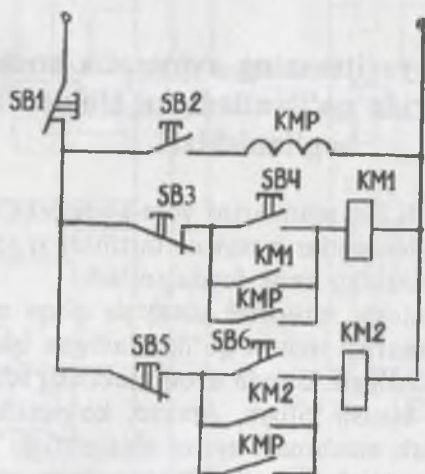
17.4-rasm, *a* da elektr motorini uzoq va qisqa muddatli (sozlash) rejimlarda boshqarish uchun qo'llaniladigan blokirovka bog'lanishli sxemasi ko'rsatilgan. Bunda uzoq muddatli ish rejimini olish uchun *S2* tugmasini bosish kifoya. Ammo, ko'pincha, uzoq muddatli rejim oldidan ish mashinasi ayrim elementlari past chastotalarda ularning boshlang'ich holatlariga keltirilishi, ya'ni sozlanishi lozim. Buning uchun sozlash tugmasi *KS* ni qisqa vaqt yoki dambadam bosib, motor impulsli rejimda va, demak, past (sozlash) chastotada ishlatiladi. Bunda, sozlash tugmasi bosib turilgan paytdagina, motor ishlaydi.



a)



b)



d)

17.4-rasm.

a — elektr motorni uzoq va qisqa muddatli rejimlarda boshqarish uchun qo'llaniladigan blokirovka bog'lanishli sxema; b — elektr-motrlarning o'zaro blokirovka aloqali boshqarish sxemasi; d — elektr motorlarni birgalikda va mustaqil boshqarish sxemasi.

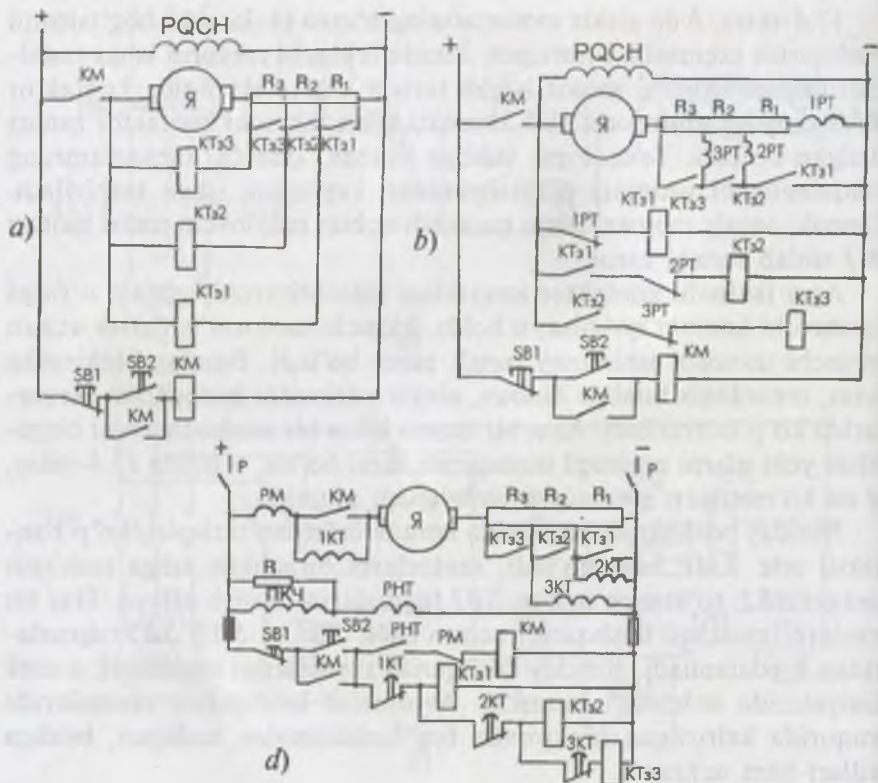
17.4-rasm, *b* da elektr motorlarining o'zaro blokirovka bog'lanishli boshqarish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda ikkinchi motorni ishga tushirish uchun birinchi motor ishlab turishi shart, aks holda kontaktor *KM1* ning tutashtiruvchi blok kontakti bilan ikkinchi kontaktor zanjiri uzilgan bo'ladi. Texnologik talabga binoan, odatda, mexanizmning ishqalanuvchi qismlari moylanganidan keyingina ishga tushiriladi. Demak, asosiy motorni ishga tushirish uchun moylovchi nasos motori *M1* ishlab turishi zarur.

Agar ikkinchi kontaktor zanjiridagi tutashtiruvchi kontakt o'rniga ajratuvchi kontakt qo'yilsa, u holda ikkinchi motorni ishlatish uchun birinchi motorni ishlatmay turish zarur bo'ladi. Bunday blokirovka ham, texnologik talabga binoan, elektr yuritmani boshqarish sxemalarida ko'p uchratiladi. Agar bir tugma bilan bir necha motorni birgalikda yoki ularni mustaqil boshqarish zarur bo'lsa, u holda 17.4-rasm, *d* da ko'rsatilgan sxemadan foydalanish mumkin.

Bunday boshqarish sxemasida kontaktorlardan tashqari, ko'p kontaktli rele *KMP* ham bo'ladi, motorlarni birgalikda ishga tushirish uchun *SB2*, to'xtatish uchun *SB1* tugmalarini bosish kifoya. Har bir motorni mustaqil boshqarish uchun *SB4*, *SB6* va *SB3*, *SB5* tugmalaridan foydalaniladi. Bunday boshqarish sxemalarini avtomatik stanok liniyalarida uchratish mumkin. Avtomatik boshqarish sxemalarida yuqorida keltirilgan blokirovka bog'lanishlaridan tashqari, boshqa xillari ham uchraydi.

17.5. Elektr yuritmani avtomatik ishga tushirish usullari

Qisqa muddatli takrorlanuvchi ish rejimlarida elektr yuritmani ko'p pog'onali rezistor qarshiligi bilan ishga tushirish jarayoni ancha murakkab bo'lib, uni operator orqali boshqarilganda qiyinchilik va xatoliklar yuz berishi mumkin. Ishga tushirish jarayonining turli vaqtlarida motorning chastotasi va tok turli qiymatlarga ega bo'lishi sababli bu jarayonni chastota, tok va vaqt asosida avtomatik boshqarish mumkin. Elektr motorlarini chastota asosida ishga tushirishda markazdan qochma kuch prinsipiga asoslangan murakkab tuzilmali chastota relelaridan foydalaniladi. Amalda ishga tushirish jarayonini chastota asosida ishga tushirishda markazdan qochma kuch prinsipiga asoslangan murakkab tuzilmali chastota relelaridan foydalaniladi. Amalda ishga tushirish jarayonini chastota asosida avtomatlashtirish o'rniga, unga proporsional bo'lgan e.yu.k. asosida avtomatlashtiriladi.



17.5-rasm. Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok motorning:

a — e. yu. k.; *b* — ishga tushirish toki; *d* — vaqt asosida avtomatik ishga tushirish sxemalari.

17.5-rasm, *a* da parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok motorini e.yu.k. asosida avtomatlashtirib, ishga tushirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda *SB2* tugmasi bosilishi bilan motor uch pog'onali rezistor qarshiligi vositasida avtomatik ravishda ishga tushiriladi. Motorning aylanish chastotasi n_1 ga tenglashganida kuchlanish $U_{1tez} = C_E n_1 + I_{min} (R_{ya} + R_3 + R_2)$ ga asoslangan birinchi tezlanish kontaktori *KTz1* ishga tushadi va uning kontakti birinchi pog'ona qarshiligi R_1 ni shuntlaydi. Bunda yakor toki yana I_{maks} gacha ko'paygani sababli, tezlik ikkinchi rezistorli xarakteristikaga binoan ortib boradi. Shunga o'xshash, chastotaning qiymati n_2 ga tenglashganida yakor zanjiridagi kuchlanish $U_{2tez} = C_E n_2 + I_{min} (R_{ya} + R_3)$ bo'ladi va bu kuchlanishga sozlangan *KTz2* kontaktori ishga tushib, R_2 ni shuntlaydi va hokazo. Shunday qilib, motor o'zining tabiiy xarakteristikasidagi turg'un chastotaga bosqichma-bosqich chiqib ishlay boshlaydi.

O'zgaruvchan tok motorlarini (faza rotorli) rotor zanjiriga kiritiladigan qarshilik orqali ishga tushirish jarayonini ham 17.5-rasm, *a* da ko'rsatilgan prinsip asosida avtomatlashtirish mumkin. Bunda kuchlanishga sozlangan kontaktorlar sifatida o'zgaruvchan tok kontaktorlari ishlatiladi.

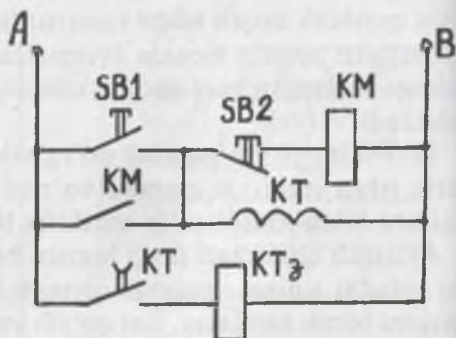
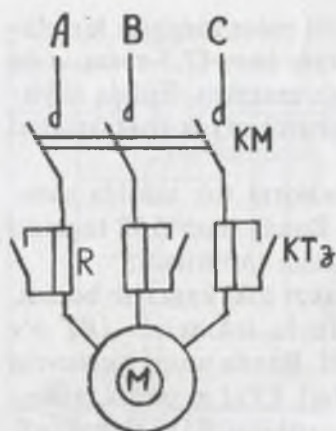
17.5-rasm, *b* da parallel qo'zg'atishli motorni tok asosida avtomatik ishga tushirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda ham *SB2* tugmasi bosilishi bilan motor to'la qarshilik bilan ishga tushiriladi.

Aylanish chastotasi ortib borishi bilan yakor toki kamayib boradi, shu sababli uning minimal qiymatida birinchi tok releasi *1RT* o'z yakorini tortib turolmay, uni qo'yib yuboradi. Bunda uning ajratuvchi kontakti tutashib, birinchi tezlatish kontaktori *KT31* ni elektr tarmog'iga ulaydi. *KT31* kontakti birinchi pog'ona qarshiligi *R1* ni shuntlaydi. Shu singari boshqarish jarayonlaridan so'ng *R2* va *R3* qarshiliklari ham shuntlanib, motor yuklanish toki *I* ga tegishli turg'un chastotasi n_c bilan tabiiy xarakteristikada ishlay boshlaydi.

Bunday avtomatik boshqarish sxemasi, ko'pincha faza rotorli asinxron motorlarda ham uchratiladi.

Vaqt asosida avtomatik ishga tushirish

17.5-rasm, *d* da parallel qo'zg'atishli motorni elektromagnit vaqt releasi bilan avtomatik ishga tushirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda rubilnik *P* ulanishi bilan motorning qo'zg'atish chulg'ami *ΠΚΥ* va nol tok releasi *PHT* dan tok o'ta boshlaydi. Shu bilan birga, maksimal tok releasi *RM*, birinchi vaqt releasi *1KT*, yakor va to'la tashqi qarshilik orqali ham tok o'ta boshlaydi. Ammo vaqt releasi *1KT* chulg'aming qarshiligi katta bo'lishi sababli yakor zanjiridan o'tgan tok kichik qiymatga ega bo'lib, motor aylana olmaydi. Vaqt releasi *1KT* chulg'amidan tok o'tishi bilan uning kontakti tezlatish kontaktorlari zanjirlarini elektr tarmog'idan uzib qo'yadi. Agar *ΠΚΥ* va *PHT* dan nominal qiymatli qo'zg'atish toki o'tib turgan bo'lsa, motorni ishga tushirish uchun *SB2* tugmasini bosish kifoya. Bunda birinchi vaqt releasi *1KT* ning chulg'ami liniya kontaktorining *KM* kontakti bilan shuntlanib, bu rele sozlangan vaqt t_1 hisoblana boshlaydi. O'tkinchi rejim formulasidan topilgan va rele sozlangan t_1 vaqti o'tishi bilan vaqt releasi o'z yakorini qo'yib yuboradi va *KT31* zanjiri *1KT* kontakti bilan elektr tarmog'iga ulanib qoladi. Bunda tezlatish kontaktorining *KT31* kontakti bilan qarshilikning birinchi pog'onasi *R1* hamda ikkinchi vaqt releasi *2KT* ning g'altagi shuntlanadi va, natijada, motorning aylanish chastotasi maksimal moment ta'sirida yana ortib



17.6-rasm. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorli vaqt asosida avtomatik ishga tushirish sxemasi.

boradi. Shu singari $2KT$ sozlangan vaqt t_2 dan so'ng $R2$ shuntlanadi va hokazo.

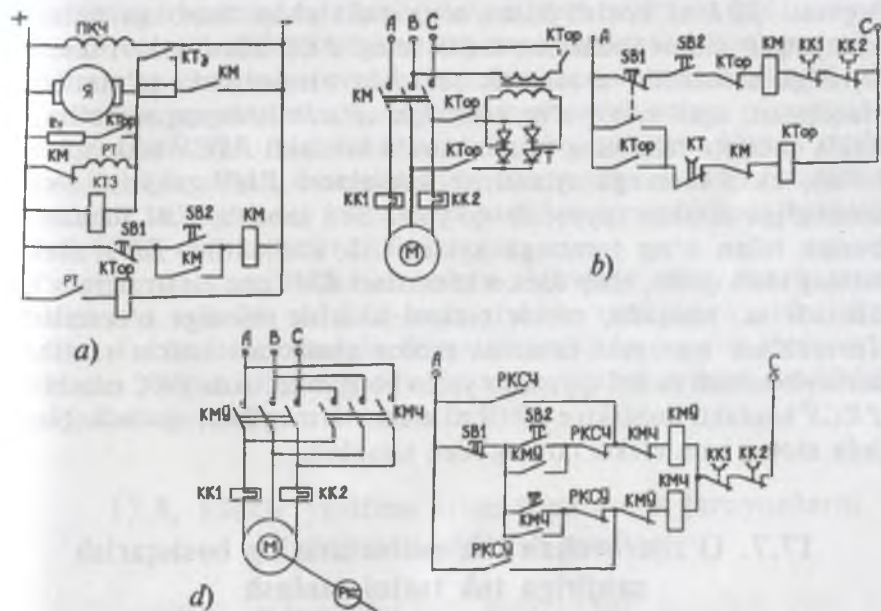
Shunday qilib, motor vaqt asosida avtomatik ravishda ishga tushirilib, tabiiy xarakteristikada turg'un chastota bilan ishlay boshlaydi.

Bunday sxema bilan ishlab turgan motorni qisqa tutashish xavfidan maksimal tok releasi PM , qo'zg'atish tokining nominalga nisbatan kamayib yoki nolga teng bo'lib qolish xavfidan esa nol tok releasi PHT himoyalaydi. Motorning boshqarish zanjiri esa qisqa tutashish tokidan, odatda, saqlagichlar bilan himoyalanadi. Vaqt asosida avtomatik ishga tushirish usulining qator afzalliklari borligidan unda o'zgarmas va o'zgaruvchan tok motorlarini avtomatlashtirishda juda keng foydalaniladi. Bunday sxema ishiga elektr tarmog'idagi kuchlanish, rele chulg'ami harorati va yuklanish toki qiymatlarining o'zgarishi ta'sir qilmaydi. Shu sababli bu sxema puxta hamda ishonchlidir. Bundan tashqari, vaqt asosida turli quvvat va kuchlanishga ega motorlarni avtomatik ishga tushirish uchun bir xil tipdagi vaqt relelaridan foydalanish imkoni bor. 17.6-rasmida qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni vaqt asosida avtomatik ishga tushirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda $SB1$ tugmasi bosilishi bilan motorning stator chulg'ami ishga tushirish tokini kamaytiruvchi tashqi qarshilik orqali elektr tarmog'iga ulanadi. Ishga tushirish jarayoni tugashi bilan vaqt releasi KT ning kontakti tezlatish kontaktorini elektr tarmog'iga ulaydi. Natijada stator zanjiridagi qarshilik KT_3 kontakti bilan shuntlanib, motor normal rejimda turg'un chastota bilan ishlay boshlaydi.

17.6. Elektr yuritmani avtomatik tormozlab to'xtatish usullari

Elektr yuritmalarni tormozlab to'xtatishda, ko'pincha elektro-dinamik va teskari ulash usullaridan foydalaniladi. Rekuperatsiya usulidan esa faqat generator-motor sistemalarida va ko'p chastotali asinxron motorlardan iborat yuritmalarda foydalaniladi.

Elektr yuritmani tormozlab to'xtatishni avtomatlashtirish prinsiplari, uni ishga tushirishdagi singari e.yu.k. chastota va vaqtga asoslangan bo'lishi mumkin. 17.7-rasm, *a* da parallel qo'zg'atishli motorni elektrodinamik usul bilan e.yu.k. asosida avtomatik tormozlab to'xtatish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda to'xtatish tugmasi *SB1* ni bosish bilan yakor zanjiri elektr tarmog'idan ajratiladi. Shu ondayoq, yakordagi e.yu.k. ta'sirida tormozlash rele si *PT* qo'zg'atilib, u o'z kontakti *PT* bilan tormozlash kontaktori *KTOR*ni elektr tarmog'iga ulaydi. Bu kontaktorning *KTOP* kontakti elektr tarmog'idan ajratilgan yakorni tormozlash qarshiligi R_1 ga ulab motorni dinamik tormozlanish rejimiga o'tkazadi. Natijada tormozlash momenti hosil



17.7-rasm.

a — parallel qo'zg'atishli motorni elektrodinamik usul bilan e. yu. k. asosida avtomatik tormozlab to'xtatish sxemasi; *b* — asinxron motorni elektrodinamik usul bilan vaqt asosida avtomatik tormozlab to'xtatish sxemasi; *c* — asinxron motorni teskari ulanish bilan chastota asosida avtomatik tormozlab to'xtatish sxemasi.

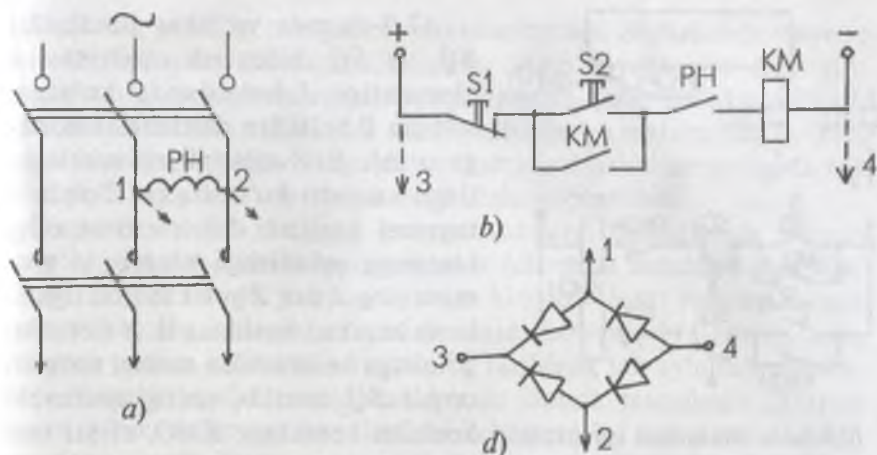
bo'lib, uning ta'sirida chastota, va, demak, e.yu.k. kamayib boradi. E. yu. k. ning biror kichik qiymatida *PT* relesining kontakti bilan *KTOP* kontaktori elektr tarmog'idan ajratiladi va motor faqat ishqalanish momenti ta'sirida asta-sekin to'xtaydi. Tormozlash momentining motor to'xtagunga qadar ta'sir etmasligi bu usulning asosiy kamchiligi hisoblanadi.

17.7-rasm, *b* da asinxron motorni elektrodinamik usul bilan vaqt asosida avtomatik tormozlab to'xtatish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda to'xtatish *SBI* tugmasi bosilishi bilan motor statori elektr tarmog'idan ajratilab, tormozlash kontaktori *KTOP* esa elektr tarmog'iga ulanadi. Tormozlash kontaktori *KTOP* ning kontakti stator chulg'amini o'zgarmas tok manbaiga ulab, motorni elektrodinamik rejimga o'tkazadi. Bu paytda *KTOP* kontaktori yakoriga o'rnatilgan mayatnikli vaqt relesi *PB* ishga tushib, vaqtni hisoblay boshlaydi va ozgina zaxira bilan hisoblangan to'xtash vaqti tugagach, *PB* ning *KT* kontakti tormozlash kontaktori *KTOP* ni elektr tarmog'idan ajratadi. Demak, bu usulda tormozlash jarayoni motor to'xtagunga qadar davom etadi.

17.7-rasm, *d* da asinxron motorni teskari ulash bilan chastota asosida avtomatik tormozlab to'xtatish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda to'xtatish tugmasi *SBI* ni bosish bilan o'ng yoki chap tomonga aylanib ishlayotgan motor induksion tezlik relesi *PKC* bilan teskari ulanish rejimiga o'tkazilib, avtomatik ravishda tormozlanib to'xtatiladi. Haqiqatan, agar motor o'ng tomonga aylanib ishlayotgan bo'lsa, u holda chastota relesining tutashtiruvchi kontakti *PKCY* berk holatda bo'lib, chap tomonga aylantirish kontaktori *KMY* zanjirini elektr tarmog'iga ulashga tayyorlab qo'yadi. Shu sababli, *SBI* tugmasini bosish bilan o'ng tomonga aylantirish kontaktori *KMY* elektr tarmog'idan ajralib, chap tomon kontaktori *KMY* esa, elektr tarmog'iga ulanadi va, natijada, motor teskari ulanish rejimiga o'tkaziladi. Tormozlash momenti ta'sirida motor chastotasi keskin ravishda kamayib boradi va nol qiymatga yaqin bo'lgan tezlikda *PKC* relesining *PKCY* kontakti kontaktor *KMY* ni elektr tarmog'idan ajratadi. Natijada motor ham elektr tarmog'idan ajratiladi.

17.7. O'zgaruvchan tok motorlarining boshqarish zanjiriga tok turini tanlash

Soatiga 300÷400 marta ulanib, og'ir rejimda ishlaydigan o'zgaruvchan tok motorlari uchun avtomatik boshqarish zanjiriga o'zgarmas tok apparatlarini qo'llash tavsiya qilinadi. Bu apparatlar o'zgaruvchan tok apparatlariga nisbatan birmuncha ishonchli bo'lib, ular-



17.8-rasm.

a va *b* — o'zgaruvchan tok motorini boshqarish uchun o'zgarmas tok apparaturasidan tuzilgan sxemalari; *d* — o'zgarmas tok manbai sifatida to'g'rilagichdan foydalanish sxemasi.

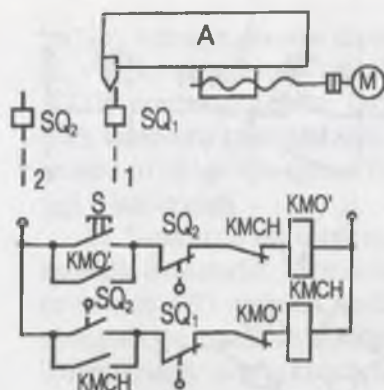
ning xizmat davri nisbatan ancha katta ulanish soniga teng bo'ladi. Teatr, muzey, kasalxona va shu kabi joylarda o'rnatilgan elektr yuritmani boshqarishda ishlatiladigan apparatlarning ishlash paytida qattiq shovqin chiqmasligi uchun uzoq muddatli ishlash rejimlarida ham o'zgarmas tok apparatlaridan foydalanish tavsiya qilinadi. 17.8-rasmda o'zgaruvchan tok motorini boshqarish uchun o'zgarmas tok apparaturasidan foydalanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda bosh va boshqarish zanjiri sxemalari turli tok manbalaridan ta'minlangani sababli, motorni nol kuchlanish xavfidan himoyalashda kuchlanish rele si *PH* qo'llaniladi (17.8-rasm, *a*).

Agar boshqarish zanjiri uchun alohida o'zgarmas tok manbai bo'lmasa, u holda uni 17.8-rasm, *d* da ko'rsatilgan to'g'rilagichning 3 va 4 nuqtalariga ulanadi. O'zgarmas tokli boshqarish zanjiriga 220 V dan yuqori bo'lgan kuchlanishni va, demak, yuqori kuchlanishli apparatlarni qo'llash tavsiya etilmaydi.

17.8. Elektr yuritma bilan texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish usullari

Texnologik jarayonlarni turli parametrlar, masalan, yo'l, vaqt, chastota va yuklama asosida avtomatlashtirish mumkin.

Yo'l asosida tuzilgan avtomatlashtirish sxemalarida buyruq beruvchi apparat sifatida turli tipdagi yo'lakay datchiklar (almashlab ulagich) dan foydalaniladi.



17.9-rasm. Mexanizm ish siklini yo'lakay datchik asosida elektr yuritma bilan avtomatlashtirish sxemasi.

tomonga aylanishga ulanib A elementining 2 dan 1 holat tomon ilgarilama harakati boshlanadi. A elementi dastlabki 1 holatga kelishi bilan SQ_1 bosilib, uning ajratuvchi kontakti KMY kontaktorini elektr tarmog'idan ajratadi va natijada A elementining harakati to'xtatiladi. Agar A elementi bunday harakatining avtomatik ravishda takrorlanishi zarur bo'lsa, u holda S tugmasini SQ_1 ning tutashtiruvchi kontakti bilan shuntlanishi kifoya. Shuningdek, A elementi 1 dan 2 holatga o'tganidan so'ng B elementining 3 dan 4 holatga o'tishini hamda B elementi 4 holatga kelishi bilan A ning 2 dan 1 ga, B ni esa, 4 dan 3 holatlar tomon harakatlantirib, bu holatlarga yetishish bilan A va B elementlari to'xtashini ta'minlaydigan sxemani tuzish ham yuqoridagi singari amalga oshiriladi.

A va B elementlari bunday harakat siklini o'z-o'zidan takrorlash uchun SQ_1 va SQ_3 ning ketma-ket ulangan tutashtiruvchi kontaktlarini S tugmasi bilan shuntlash kifoya. Yuqoridagi sxemalarda minimal yoki nol kuchlanish xavfidan himoyalaniş uchun ularni elektr tarmog'iga ulashda sxemaga yana bitta kuchlanish relesini kiritish kifoya.

Vaqt asosida tuzilgan avtomatlashtirish sxemalarida buyruq beruvchi apparat sifatida turli tipdagi vaqt relelaridan foydalaniladi. Bunda S tugmasini bosish bilan A elementini 1 dan 2 holatga keltirib, so'ngra berilgan vaqt o'tganidan keyin, uni dastlabki holatiga keltirib to'xtatish sxemasi tuziladi.

Bunday avtomatlashtirish sxemalarida vaqt relesi KT yo'lakay datchiklar bilan birgalikda qo'llaniladi.

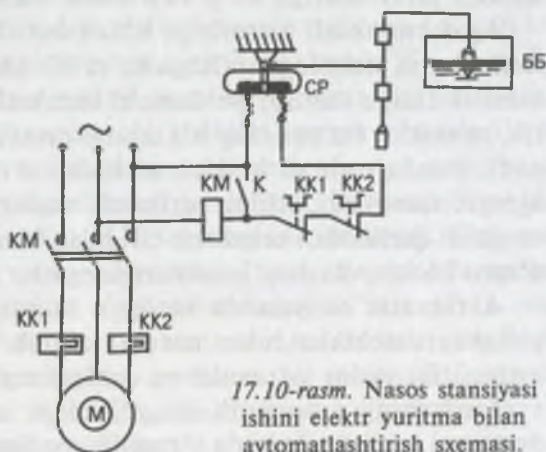
17.9-rasmda yo'lakay datchiklar SQ_1 va SQ_2 bilan ish mashinasi A elementini 1 holatdan 2 holatga, so'ngra 2 holatdan dastlabki 1 holatga o'tish jarayonlarini avtomatlashtirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda S tugmasi bosilishi bilan motor o'ng tomonga aylanishga ulanib, A elementning 1 dan 2 holat tomon ilgari-lama harakati boshlanadi. A elementi 2 holatga kelishi bilan undagi turtgich orqali SQ_2 bosilib, uning ajratuvchi kontakti kontaktor KMO' elektr tarmog'idan ajratadi, tutashtiruvchi kontakti esa KMY kontaktorini elektr tarmog'iga ulaydi. Bunda motor chap

Yuklama asosida tuzilgan avtomatlashtirish sxemalarida buyruq beruvchi apparat sifatida tok relesidan ham foydalanish mumkin. Bunda stanok poperechinasini tepaga, pastga qarab harakatlantirish va to'xtatilishi bilan uni darhol stanok ustunlariga mahkamlab qo'yish sxemasidan foydalaniladi. Bunday avtomatlashtirish sxemalarida tok rele si yo'lakay datchiklar bilan birgalikda qo'llaniladi.

Chastota asosida tuzilgan avtomatlashtirish sxemalarida buyruq beruvchi apparat sifatida taxogenerator (chastota datchigi) dan foydalaniladi. Texnologik jarayon talabiga binoan, elektr yuritmani aniq joyda yoki aniq holatda to'xtatish lozim bo'ladi. Ma'lumki, aniq to'xtatish uchun, dastavval, motorning boshlang'ich aylanish chastotasini mumkin qadar pasaytirish kerak. Bunda texnologik jarayon tugashi bilan, elektr yuritma dastlabki chastotasini impuls usuli bilan pasaytirishi kerak. Bunday avtomatlashtirish sxemalarida ham chastota datchigi yo'lakay datchigi bilan birgalikda qo'llaniladi. Texnologik jarayonning tugashi bilan yo'lakay datchigi bosilib, uning kontakti kontaktor zanjirini elektr tarmog'idan ajratadi. Natijada motor ham elektr tarmog'idan ajrab, chastotasi kamayib boradi. Chastotasining kichik bir qiymatida taxogenerator kuchlanishidan ta'minlanuvchi rele kontakti motorni teskari tomonga aylantiruvchi kontaktorni elektr tarmog'iga ulaydi. Bunda motor tormozlanib, chastotasi nolgacha pasayadi, so'ngra teskari tomonga aylana boshlaydi. Chastota qiymati berilgan kichik qiymatdan ko'payishi bilan taxogenerator yakoriga ulangan relening kontakti teskari kontaktorini elektr tarmog'idan uzadi. Bunda motor ham elektr tarmog'idan uzilib, uning chastotasi yana pasaya boshlaydi va hokazo. Natijada motor o'rtacha qiymati past bo'lgan chastota bilan ishlay boshlaydi.

17.10-rasmda suv bilan ta'minlovchi nasos stansiyasi ishini elektr yuritma bilan avtomatlashtirish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda nasos stansiyasi avtomatik ravishda ishlashi uchun komanda (buyruq) beruvchi asosiy apparat sifatida qalqovichli reledan foydalaniladi.

Qalqovichli relening simobli kontakt sistemasi CP nasos motorini boshqaruvchi kontaktor chulg'ami zanjiriga ketma-ket



17.10-rasm. Nasos stansiyasi ishini elektr yuritma bilan avtomatlashtirish sxemasi.

ulanadi. Simobli kontaktning holati bosim boki BB dagi suv sathiga bog'liq bo'lib, uning yuqori sathida ochiq, quyi sathida esa berk bo'ladi. Rubilnik ulanishi bilan motor M suvni nasos orqali bakka ko'tara boshlaydi va suvning sathi yuqori belgiga yetganda, motor avtomatik ravishda to'xtatiladi. Bakdagi suv iste'molchilarga tarqatilganda uning sathi pasayib boradi va pastki belgida motor o'z-o'zidan ulanib, baki yana suv bilan to'ldira boshlaydi. Nasos stansiyasini avtomatik ravishda ishlatuvchi sistemada biror buzuvchilik sodir bo'lsa, uni kalit K bilan boshqariladi.

Havo-suv bosimli qozonga ega bo'lgan nasos stansiyasi ishini avtomatlashtirishda esa, buyruq beruvchi asosiy apparat sifatida membranal bosim relesidan foydalaniladi. Suv iste'molchilarga tarqatilganda berk qozondagi bosim kamayib, bosim relesining kontakti berkiladi va nasos motori o'z-o'zidan ishga tushadi. Nasos stansiyasini ishlab turganda iste'molchilardan ortib qolgan suv yana qozonga tushadi. Qozondagi suv ko'payishi bilan, uning bosimi ham ortib boradi va bu bosimning berilgan qiymatida bosim relesi o'z kontaktini ochib, motorni elektr tarmog'idan ajratishga buyruq beradi.

17.9. Stanoklarning avtomatik liniyalari

Murakkab shaklli materialga turli xil ishlov berilganda yordamchi harakat jarayonlariga juda ko'p vaqt sarflanadi.

Haqiqatan, materialni biror tipdagi stanokka o'rnatish, uni qisish, stanokni ishga tushirish va to'xtatish, ishlov berilgan materialni bo'shatib, uni boshqa tipdagi stanokka o'rnatish kabi yordamchi harakat jarayonlariga ko'p vaqt ketib, mehnat unumi past bo'ladi.

Agar murakkab materialga ishlov berish uchun bir necha agregat stanoklarini texnologik talabga ko'ra bir qatorga o'rnatib, ulardan avtomatik liniya tuzilsa, yordamchi harakatlar vaqti anchagina qisqarib, stanoklar liniyasining ish unumi ortadi, mahsulot sifati yaxshilanadi. Bunda turli xil keskich asboblari o'rnatilgan kallakli shpindel, agregat stanoklari, ishlov beriluvchi materialni uzatish transportyori va qisish qurilmalari orqali bir-biri bilan kinematik bog'lanishda hamda o'zaro blokirovka bog'lanishlariga ega bo'ladi.

Avtomatik liniyalarda berilgan buyruqning bajarilishi, asosan, yo'lakay datchiklar bilan nazorat qilinib turiladi. Bunday liniyalar avtomatik, yarim avtomatik va sozlash rejimlarida ishlashi mumkin.

Liniyaning avtomatik ish rejimida, ishlov beriluvchi material dastavval berilgan holatda o'rnatilib mahkamlanadi, so'ngra keskich-

lar o'rnatilgan shpindel kallagi u tomon katta chastotada yo'naltiriladi va ular orasidagi masofa berilgan qiymatga tenglashganda kallak harakati kichik ish chastotasiga o'tkaziladi. Ishlov berish jarayoni tugagach, hamma kallaklar dastlabki holatlariga katta chastota bilan qaytariladi, material esa bo'shatilib, transportyor yordamida keyingi ishlov berish joyiga uzatiladi va shu bilan avtomatik ish sikli tugab, keyingi sikl boshlanadi. Biror avariya sababli to'xtab qolgan liniyani qaytadan ishga tushirish uchun sozlash tugmalari bilan hamma mexanizmlarni dastlabki holatlariga qaytarish lozim, aks holda avtomatik blokirovka liniyani ishga tushirishga yo'l qo'ymaydi. Avtomatik liniyalar ishining ishonchliroq bo'lishini ta'minlash uchun ularda qo'llanilgan boshqarish apparatlari sonini iloji boricha kamaytirish, kichik toklarga mo'ljallangan ixcham va kontaktsiz asbob, apparat va mantiqiy elementlardan foydalanish tavsiya qilinadi.

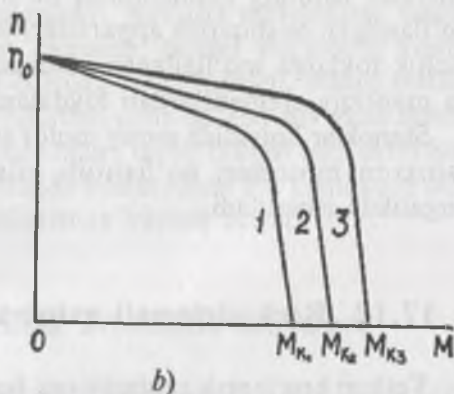
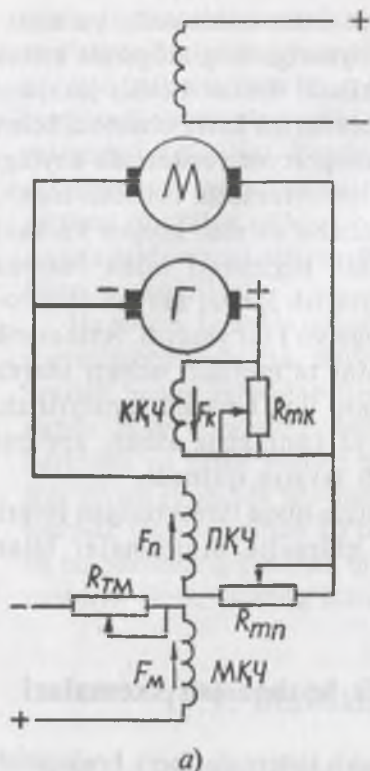
Stanoklar liniyasida asosiy motor sifatida qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlari qo'llanilib, ular gidravlik moslamalar bilan birgalikda ishlatiladi.

17.10. Berk sistemali avtomatik boshqarish sxemalari

Teskari bog'lanish zanjiriga ega bo'lgan sistemalar berk boshqarish sistemasi deyiladi. Elektr yuritma sistemasini jadal ishga tushirish va tormozlab to'xtatish, uning turg'un chastotasini o'zgartirmay saqlash va keng miqyosda rostdash, motorning turli tipdagi mexanik xarakteristikalariga ega bo'lishini ta'minlash uchun berk sistemali avtomatik boshqarish sxemalardan foydalaniladi.

17.11-rasm, *a* da uchta qo'zg'atish chulg'amiga ega bo'lgan berk zanjirli generator-motor sistemasi ko'rsatilgan: bunda F_m , F_n va F_k — tegishli generatorning mustaqil, parallel va ketma-ket qo'zg'atishli chulg'amlarining magnit yurituvchi kuchlari (amper-o'ramlari); R_m , R_{ip} va R_k — tegishli mustaqil, parallel va ketma-ket qo'zg'atishli chulg'am zanjirlariga kiritilgan tashqi qarshiliklar. Bu qarshiliklar bilan $F_m = I_m W_m$; $F_n = I_n W_n$ va $F_k = I_k W_k$ qiymatlari rostlanadi. Generator kuchlanishi va, demak, motor chastotasini keng diapazonda rostdash uchun R_m va R_{ip} qiymatlarini o'zgartirish kerak bo'ladi. 17.11-rasm, *b* da ko'rsatilgan ekskavator tipli mexanik xarakteristikalarining keskin burilishiga tegishli qisqa tutashish momenti M_q yoki toki I_q qiymatlarini rostdash uchun esa R_k ni o'zgartirish kerak bo'ladi. Ekskavator va shu kabi ish mashinalarining ba'zi mexanizmlarida tez-tez o'ta

17.11-rasm. Uchta qo'zg'atish
chulg'amli generatorga ega bo'lgan
generatormotor sistemasi:
a — sxemasi; b — ekskavator tipli
mexanika xarakteristikasi.



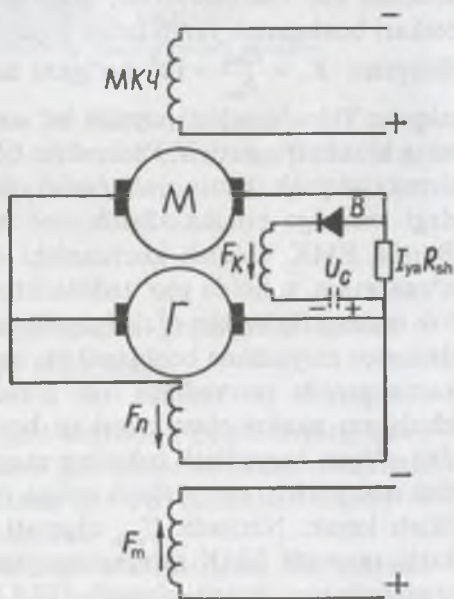
yuklanish hollari sodir bo'lib turadi. Bunda yuklamaning qiymati hatto yuritmani to'xtatib qo'yish darajasigacha ortib borishi mumkin. Bunday hollarda elektr yuritmaning mexanik xarakteristikasi keskin burilishga ega bo'lib, motor o'ziga xavfli bo'lgan qisqa tutashish, ya'ni $n = 0$, $I = I_q$, $M = M_q$ rejimlaridan avtomatik ravishda himoyalinishi kerak. Keskin burilishli, ya'ni ekskavator tipli deb ataluvchi mexanik xarakteristikani olish uchun motorni ta'minlovchi tok manbaini tashqi xarakteristikasi keskin burilishga ega bo'lishi lozim. Uchta chulg'amli generatordan keskin burilishli xarakteristika olish uchun uning magnit yurituvchi kuchning umumiy qiymati $F_{\Sigma} = F_n + F_m - F_k$ bo'lishi kerak.

17.11. Teskari bog'lanish zanjirlari

Biror sistemaning keyingi zvenolaridan energiya olib, so'ngra bu energiya bilan uning oldingi zvenolariga ta'sir etuvchi zanjir teskari bog'lanish deb ataladi. Teskari bog'lanish zanjiri bir qancha elementlardan iborat bo'lib, uning ta'sirini 17.11-rasm, a dagi generator-

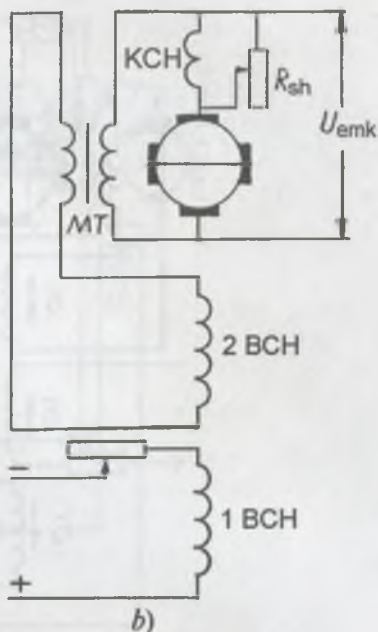
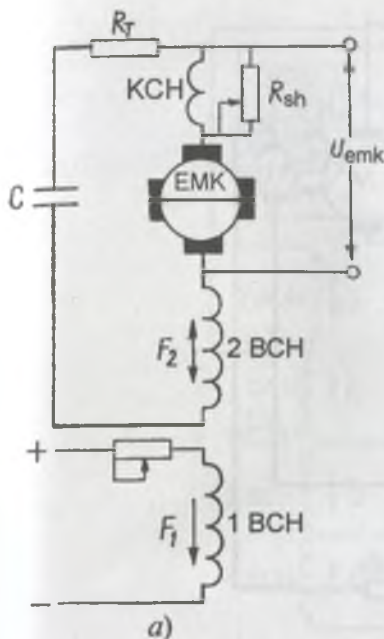
motor sistemasi misolida ko'rsatish mumkin. Bunda generator mustaqil qo'zg'atish chulg'amini uning boshqaruvchi chulg'ami, parallel va ketma-ket chulg'amlari esa uning teskari bog'lanish chulg'amlari deyiladi. Teskari boshqarish chulg'amlarining ulanish joyi va sxemasiga qarab, ularni tok, kuchlanish yoki chastota asosida tuzilgan teskari boshqarishlar deb ataladi. Agar teskari boshqarish zanjiridagi signal asosiy boshqarish chulg'amidagi signalga mos bo'lib, umumiy signalni kuchaytirsa, bunday teskari boshqarishni musbat, aks holda manfiy teskari boshqarish deyiladi. Agar teskari boshqarish zanjiridagi signal qiymati rostlanuvchi miqdorning o'zgarishiga proporsional bo'lsa, uni qattiq, rostlanuvchi miqdorning o'zgarish chastotaga proporsional bo'lgan taqdirda esa elastik teskari boshqarish deb ataladi. Demak, uch chulg'amli generatorning parallel qo'zg'atishli chulg'ami uning kuchlanishiga binoan musbat va qattiq teskari boshqarishni ifodalasa, ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami yakor zanjiridagi yuklama tokiga binoan manfiy va qattiq teskari boshqarishni ifodalaydi. Shu sababli biror turg'un rejimda ishlab turgan motorning yuklamasi keskin o'zgar-
sa, generator qutblarida o'rnatilgan uchta qo'zg'atish chulg'amidagi toklardan hosil bo'lgan F_{Σ} va demak, kuchlanishning qiymati keskin kamayadi. Demak, bunday generatordan ta'minlanuvchi motorning mexanik xarakteristikasi ham uni xavfli yuklamadan avto-
matik ravishda himoyalovchi keskin burilishli xarakterga ega bo'ladi. Agar 17.11-rasm, *a* dagi tok va kuchlanishga binoan olingan teskari boshqarish toklari yo'nalishini teskarisiga o'zgartirilsa, u holda $F_{\Sigma} = F_m + F_k - F_p$ bo'lib, motorning mexanik xarakteristikasi keskin burilish o'rniga yuqori qattqlikka ega bo'ladi va, demak, berilgan turg'un chastota qiymati o'zgartirilmay saqlanadi.

17.12-rasmda kechiktirilgan teskari boshqarish zanjirli $G - M$ sistemasi ko'rsatilgan. Uchta chulg'amli generatorning ventil va o'zgarmas tok manbai orqali ulangan ketma-ket qo'zg'atishli chulg'ami kechiktirilgan teskari



17.12-rasm. Kechiktirilgan teskari aloqa zanjirli generator-motor sistemasining sxemasi.

bog'lanish zanjiri deb ataladi. Kechiktirilgan teskari boshqarish zanjiridan yuklamaga proporsional bo'lgan tokning o'tishi uchun $I_{ya} R_{ish} > U_s$ bo'lishi lozim, bunda U_s — kechiktirilgan teskari boshqarish zanjiridagi tok manbaining o'zgarmas qiymatli kuchlanishi. Buni solishtiriluvchi kuchlanish deb ham ataladi. Agar ekskavator tipli mexanik xarakteristika olinishi kerak bo'lib, uning keskin burilishidagi yuklama toki $I_{ya} = I_s = 2I_n$ bo'lsa, u holda $2I_n R_{sh} > U_s$ bo'lishi lozim. Demak, yuklama tokining qiymati chegaraviy qiymat $2I_n$ ga tenglashgandan so'ng kechiktirilgan teskari boshqarish chulg'amidan $I_k = \frac{I_{ya} R_{sh} - U_s}{R_k}$ tok o'tib, $F_k = I_k W_k$ hosil bo'ladi. Natijada $F_\Sigma = F_m - F_m - F_p - F_k$ qiymati keskin kamayib ekskavator tipli mexanik xarakteristika olinadi. Demak, berilgan yuklama qiymatida keskin burilishi aniq bo'lgan ekskavator tipli xarakteristikani olish uchun kechiktirilgan teskari boshqarish zanjiri bo'lishi shart. Motor chastotasini o'zgartirmay saqlash uni keng diapazonda rostdlash hamda ekskavator tipli mexanik xarakteristikaga ega bo'lish uchun, ko'pincha, elektromashina kuchaytirgichli $G - M$ sistemalaridan foydalaniladi. Bunday sistemalarda ko'ndalang magnit maydonli elektr mashina kuchaytirgich EMK ning qo'zg'atish chulg'amlaridan biri boshqarish, ikkinchisi mo'tadillashtirish, qolganlari esa turli parametrlar bo'yicha teskari boshqarish vazifalarini bajaradi. EMK ning kuchaytirish koefitsiyenti $K_r = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}} = 10^4$ bo'lgani uchun kirish parametrlarining ayniqsa o'tkinchi rejim paytida bir oz o'zgarishi chiqish parametrlarining keskin o'zgartirishi mumkin. EMK chiqish kuchlanishini o'zgartirmay saqlash uchun qo'zg'atish chulg'amlaridan biri 17.13-rasm, a) dagi sxemaga binoan ulanib, mo'tadillashtirish vazifasini bajaradi. Bunda EMK chiqish kuchlanishi qiymati asta-sekin o'zgarsa yoki o'zgarmasa, u holda mo'tadillashtiruvchi chulg'am $2BCH$ zanjiridan tok o'tmaydi, keskin o'zgarganida esa, masalan, ko'payganida, kondensator zaryadlana boshlaydi va, demak, undan zaryadlash toki o'tib kamayganida razryadlash toki o'tadi. Demak, mo'tadillashtiruvchi chulg'am zanjiri elastik teskari boshqarish vazifasini bajarib $2BCH$ dan o'tgan zaryadlash tokining magnit yurituvchi kuchi U_{emk} qiymatini pasaytirish, razryadlash tokiga taalluqli kuchi esa U_{emk} ni ko'paytirish kerak. Natijada U_{emk} qiymati tezda mo'tadillashadi. O'rta va katta quvvatli EMK larning mo'tadillashtiruvchi chulg'ami maxsus transformator orqali ulanadi (17.13-rasm, b). Agar o'tkinchi rejim paytida U_{emk} qiymati keskin o'zgarsa, mo'tadillashtiruvchi transformator MT ning ikkilamchi chulg'amida e.yu.k. hosil bo'ladi va natijada $2BCH$ dan tok o'tib, undan hosil bo'lgan magnit yurituvchi



17.13-rasm. Ko'ndalang magnit maydonli elektr mashina kuchaytirgichning mo'tadillashtirish sxemalari:

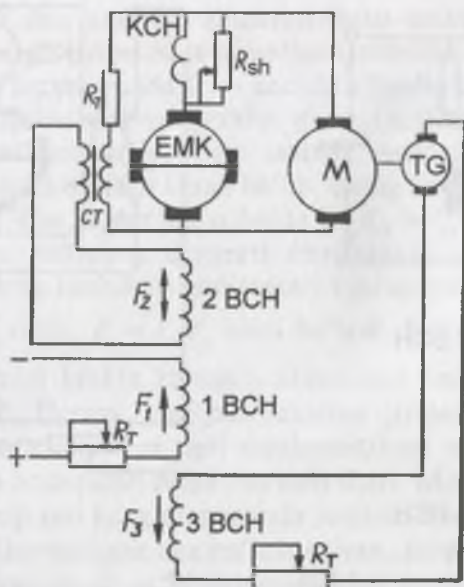
a — kondensatorli; b — mo'tadillashtiruvchi transformatorli sxemalar.

kuch ta'sirida U_{emk} qiymati tezda mo'tadillashadi. Bunda MT ning transformatsiya koeffitsiyentini o'zgartirib, $2BCH$ ga xavfli bo'lmagan kuchlanishni berish hamda unga sistemaning turli qismlaridan olingan bir necha signallarni kiritish imkoni olinadi.

17.12. Elektr mashina kuchaytirgichli generator motor elektr yuritma sistemasi

Mamlakatimizda ko'ndalang magnit maydonli EMK larning quvvati bir necha vatt dan 25 kW gacha bo'lgan turlarini ishlab chiqarish o'zlashtirilgan. Ularni kichik va o'rtacha quvvatli motorlar uchun bevosita generator sifatida qo'llash mumkin.

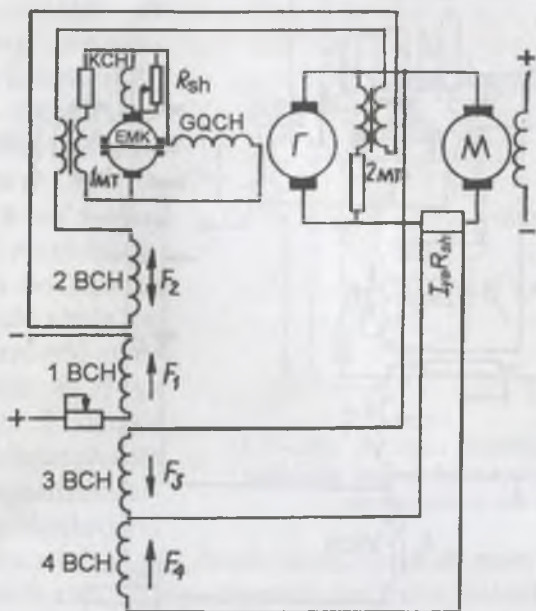
17.14-rasmda EMK li G—M sistemasi ko'rsatilgan. Bu sistema bilan motor mexanik xarakteristikasining qattiqqligini va, demak, uning berilgan chastotasini o'zgartirmay saqlash, hamda uni keng diapazonda rostlash imkoni olinadi. Bu sistema bilan motor mexanik xarakteristikasining qattiqqligini va, demak, uning berilgan chastotasini o'zgar-



17.14-rasm. Elektr mashina kuchaytirgichli generator-motor sistemasining sxemasi.

tirmay saqlash, hamda uni keng diapazonda rostlash imkoni olinadi. Buning uchun uchinchi boshqarish chulg'amiga motor chastotasi bo'yicha manfiy bo'lgan teskari boshqarishli signal kiritiladi.

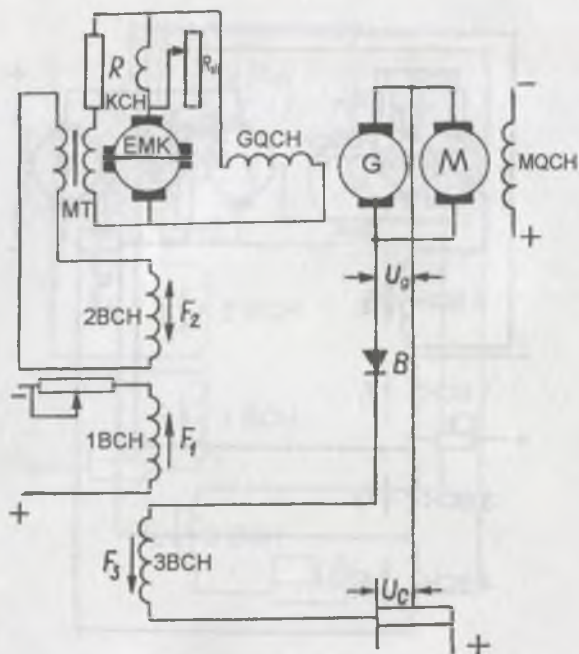
Chastota bo'yicha teskari boshqarish signalini olish uchun taxo-generator kuchlanishidan foydalaniladi. Bunda teskari boshqarish chulg'ami ta'minlanadigan taxogeneratordagi e.yu.k. $E_{tg} = k_E n \Phi$ bo'ladi. Motor chastotasini o'zgartirmay saqlash uchun teskari boshqarish zanjiridagi magnit yurituvchi kuch F_3 ga teskari, ya'ni $F_\Sigma = F_1 - F_3$ bo'lishi lozim. Haqiqatan, yuklamaning ortib borishi bilan motor chastotasini o'zgartirmaslik uchun uning yakoriga beriluvchi kuchlanish qiymatini ham berilgan qonunga binoan ortib borishini ta'minlash kerak. Demak, yuklama ko'payishi bilan chastota va F_3 kamayishi sababli kuchlanishning ortib borishini ta'minlash uchun F_Σ ortib borishi kerak. Buning uchun esa teskari boshqarish manfiy, ya'ni $F_\Sigma = F_1 - F_3$ bo'lishi lozim. Chastota bo'yicha teskari boshqarish zanjiriga turli tipdagi kuchaytirgichlarni kiritib, bunday sistema chastotasini $D = 1000$ va undan ham yuqorigacha bo'lgan diapazonda rostlash imkoni olinadi. 17.15-rasmda katta quvvatli G—M sistemasida EMK ning generator qo'zg'atgichi sifatida ishlatilishi ko'rsatilgan. Bunda EMK dagi mo'tadillashtiruvchi 2BCH chulg'amga U_{emk} va U_Σ kuchlanishlari bo'yicha



17.15-rasm. E. M. K. li qo'zg'atgichga ega generator-motor sistemasining sxemasi.

$1MT$ va $2MT$ orqali elastik bo'lgan teskari boshqarish signallari kiritiladi.

Shu sababli sistema mo'tadilligi (turg'unligi) yuqori, ya'ni uning o'tkinchi jarayonlardan so'ng o'zining dastlabki ko'rsatkichlariga erishishi tez va aniq bo'ladi. Motordagi e.yu.k. $E_m = k_E n_m \Phi_m = U_g - I_{ya} R$ bo'lib, uning chastotasi $U_g - I_{ya} R$ ga proporsionalligi sababli $3BCH$ va $4BCH$ larga kiritilgan kuchlanish bo'yicha manfiy va tok bo'yicha musbat teskari boshqarishlar orqali motor chastotasi bu sistemada ham o'zgartirilmay saqlanadi. EMK ning $1BCH$ chulg'amiga beriladigan tokning qiymati normal ishlash rejimidagiga nisbatan $6 \div 7$ marta katta bo'lsa, bunday elektr yuritma sistemasini jadal ishga tushirish mumkin. Haqiqatan, bunday katta tok ta'sirida EMK ning magnit sistemi tezda to'yinib uning U_{emk} kuchlanishi va generatorning qo'zg'atish tokining qiymati keskin ravishda ko'tarila boshlaydi. Generator kuchlanishi U_g ning bir tekisda ortib borishi sababli yakor zanjiridagi tok va, demak, motor aylantiruvchi momentining qiymati o'zgarmas bo'lib, elektr yuritma jadal ishga tushiriladi. Bunday ishga tushirish jarayonida chastotaning o'zgarishi ham maqsadga muvofiq ravishda bir tekis va silliq o'tadi. Ammo chastota ortib borishi bilan F_3 ko'payib



17.16-rasm. Jadallik bilan ishga tushiriluvchi generator-motor sistemasining sxemasi.

$F_{\Sigma} = F_1 - F_3 + F_4$ esa kamayib boradi. EMK ning to'yingan holatida F_{Σ} ning kamayishi sezilarli bo'lmaydi, to'yinmagan holatga o'tib ishlashi bilan esa F_3 ning ko'payishi F_{Σ} ni keskin kamaytirib yuboradi va, natijada, motorni ishga tushirish jarayonining jadalligi ham paslashib ketadi. 17.16-rasmda bunday kamchilikdan xoli bo'lgan, ya'ni bir xil jadallik bilan ishga tushiriluvchi $G-M$ sistemasining sxemasi ko'rsatilgan. Bunda generator kuchlanishi bo'yicha olingan manfiy va kechiktirilgan teskari boshqarish asosida ishga tushirish jarayoni tugagunga qadar jadallik prinsipidan to'la foydalaniladi.

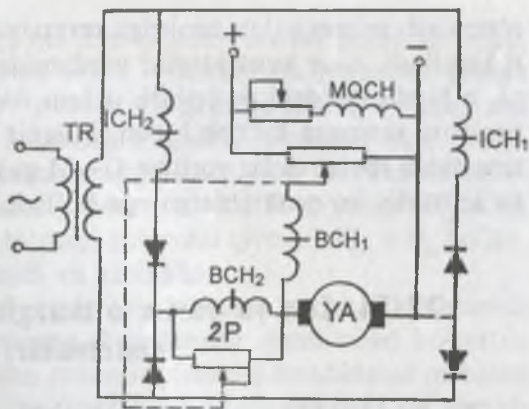
17.13. Magnit kuchaytirgichli elektr yuritma sistemalari

Magnit kuchaytirgichning yarim o'tkazgichli to'g'rilagich bilan birgalikda to'g'rilangan kuchlanishni boshqaradigan o'zgartgich sifatida qo'llash mumkin. 17.17-rasmda berilgan chastotani o'zgartirmay saqlovchi $G-M$ sistemi singari prinsipda ishlaydigan magnit kuchaytir-

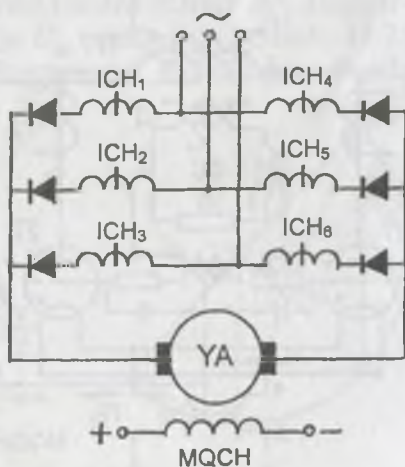
gich — motor ($MK-M$) sistemasining sxemasi ko'rsatilgan. Bunda ICH_1 va ICH_2 — magnit kuchaytirgich ish chulg'ami-ning qismlari bo'lib, $BCH2$ — tok bo'yicha, $BCH1$ esa kuchlanish bo'yicha teskari boshqarish va boshqaruvchi chulg'am vazifasini bajaruvchi chulg'amlar. Demak, $BCH1$ ga potensiometr P orqali beriluvchi boshqarish toki qiymatini o'zgartirish bilan motor kuchlanishi va,

demak, chastotasini $10 \div 12$ diapazonida rostlash mumkin. Agar MK ning boshqarish chulg'amiga chastota bo'yicha teskari boshqarishni taxogenerator orqali berilguday bo'lsa, u holda bunday sistema bilan tezlikni $D = 100$ va undan ortiq diapazonda ham rostlash imkoni olinadi. 17.18-rasmda katta quvvatli motorlarni magnit kuchaytirgich — motor sistemi bilan boshqarish sxemasining bosh zanjiri ko'rsatilgan. Bunda magnit kuchaytirgichi ish chulg'amlari va ventillarni uch fazali ko'priksimon sxema bilan

ulash yaxshi natijalar beradi, ya'ni motorning past chastotalarda ham mo'tadil ishlashi ta'minlanadi (bir fazali sxemalarga nisbatan to'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiyalanishi kamayadi). Bu sxemada ham chastotani rostlash uchun MK ning ketma-ket ulangan boshqarish chulg'amlariga (sxemada ko'rsatilmagan) beriladigan tok qiymatini o'zgartirish kifoya. Chastotani ko'paytirish uchun boshqarish chulg'ami tokini ko'paytirish, uni kamaytirish uchun esa boshqarish chulg'ami tokini kamaytirish lozim. Motorni magnit kuchaytirgich bilan boshqarish sxemalarida



17.17-rasm. Berilgan chastotani o'zgartirmay saqlovchi magnit kuchaytirgich — motor sistemasining sxemasi.



17.18-rasm. Uch fazali ko'priksimon sxemada ulangan magnit kuchaytirgich — motor sistemasining sxemasi.

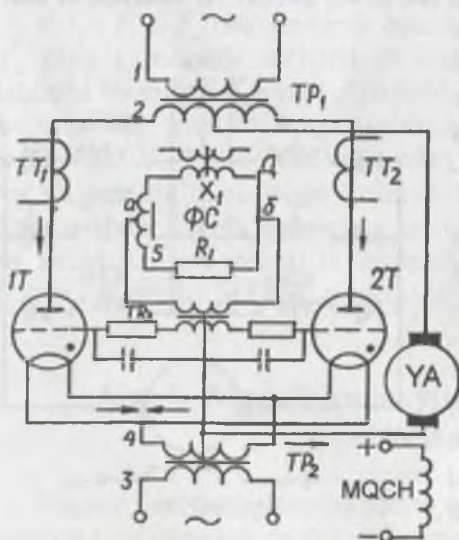
reverslash uchun yakor zanjiriga reversiv kontaktorlarning kontaktlari kiritiladi. Agar kontaktorlar yordamida reverslash tavsiya qilinmasa, u holda motorni reverslash uchun ikki komplekt magnit kuchaytirgichni sxemaga kiritish lozim. Magnit kuchaytirgich — motor sistemasidan iborat elektr yuritma G—M ga nisbatan ancha yuqori texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega bo'ladi.

17.14. Ion va yarim o'tkazgichli elektr yuritma sistemalari

Tiratron yoki boshqariluvchi simobli to'g'rilagichdan ta'minlanuvchi motor sistemasi ion elektr yuritmasi deyiladi. 17.19-rasmda elektron va ion asboblari bilan boshqariladigan va *elir* deb ataluvchi elektr yuritma sistemasining bosh zanjir sxemasi ko'rsatilgan. Bunda parallel qo'zg'atishli motorga beriladigan rostlanuvchi kuchlanish ko'prik sxema asosida ulangan 1T va 2T tiratronlarining diagonalidan olinadi. Tiratronlardan tok bir tomonlama o'tishi uchun ularning anodi katodga nisbatan musbat potensialga ega bo'lishi lozim. Bunda katoddagi elektron ionlashgan gaz orqali anodga tortilib, natijada tiratrondan tok o'ta boshlaydi. Bu tok sxemada ko'rsatilgan yo'nalishda motordan o'tib, yana tiratronga qaytadi va shu bilan tok zanjiri

bekiladi. Anod transformatori TP_1 chulg'amida hosil bo'lgan e.y.u.k. ning ikkinchi yarim davrida ham boshqa tiratronning anodi musbat potensialga ega bo'lib, motordan yana ilgari yo'nalishda tok o'ta boshlaydi. Shunday qilib, o'zgaruvchan tokning ikkala yarim davrida ham motordan bir xil yo'nalishdagi pulsatsiyalanuvchi tok o'tadi.

Bu to'g'rilangan tok yoki kuchlanishning o'rtacha qiymatini rostlash uchun tiratron to'riga beriladigan potensialning qiymatini va fazasini o'zgartirish lozim.



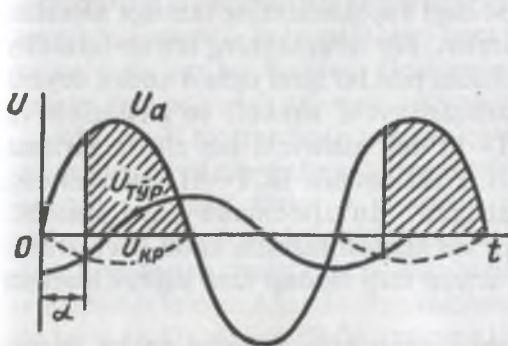
17.19-rasm. Elir sistemasi bosh zanjirining sxemasi.

Haqiqatan, tiratron to'riga ma'lum qiymatli manfiy potensial berib, uni yondirmaslik, ya'ni undan tokni o'tkazmaslik mumkin. Bunda tiratron anodidagi musbat potensial qancha katta bo'lsa, uni yondirmaslik uchun to'rga beriladigan manfiy potensial ham nisbatan katta bo'ladi. 17.20-rasmda anodiga sinusoidal kuchlanish berilgan tiratronni to'ridagi manfiy potensial kritik qiymati U_{kr} ning o'zgarishi ko'rsatilgan. Agar to'rdagi potensial qiymati $U_{to'r} > U_{kr}$ bo'lsa, u holda tiratron yona olmaydi va aksincha.

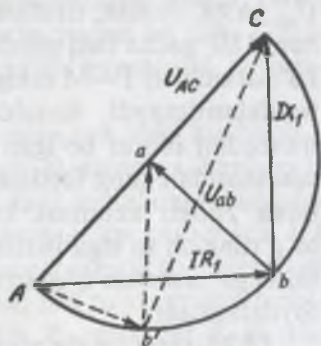
17.20-rasmda tiratrondan o'tgan to'g'rilangan tok yoki kuchlanish qiymati anoddagi kuchlanishning shtrixlangan qismi bilan ko'rsatilgan. Demak, to'rga beriladigan potensial fazasini anoddagiga nisbatan turli α burchaklarga surish bilan tiratrondan o'tgan tok yoki kuchlanish o'rtacha qiymatini rostdlash imkoni olinadi.

To'rga beriladigan potenciallar fazasini o'zgartirish uchun turli tipdagi faza siljitgichlar qo'llaniladi. Faza siljitgich sifatida ilgari induksion mashinadan iborat faza rostlagichdan foydalanilgan bo'lsa, hozirgi paytda, ko'pincha, statik faza siljitgichlardan foydalaniladi. 17.19-rasmda induktiv qarshiligi o'zgartiriladigan ko'prik sxemali statik faza siljitgichning sxemasi ko'rsatilgan. Faza siljitgichning ikkita yelkasi transformator TP_2 ning ikkilamchi chulg'ami 5 dan iborat bo'lib, uchinchi yelkasi aktiv R_1 , to'rtinchisi esa induktiv X_1 qarshiliklardan iborat bo'ladi.

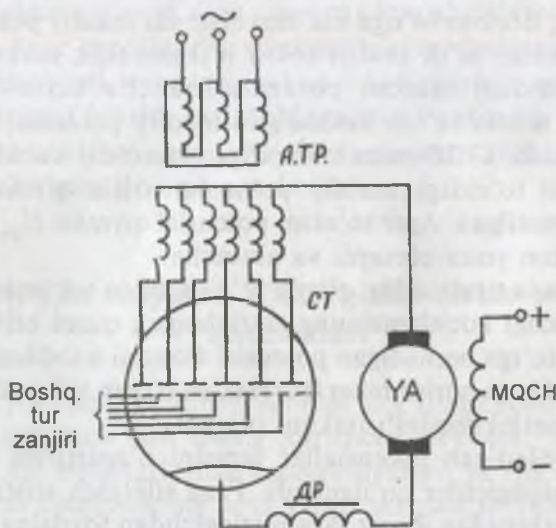
Bunda qiymati rostlanuvchi induktiv qarshilik X_1 sifatida drossel D ning ish chulg'ami olinadi. Faza siljitgichning ab diagonaliga tiratronlar to'rini tok bilan ta'minlovchi transformatori TP_3 ning birlamchi chulg'ami ulangan bo'lib, unga U_{ab} kuchlanishi beriladi. 17.21 rasmda faza siljitgichning vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Bunda



17.20-rasm. Tiratron to'riga beriladigan potensialning berilgan fazasida undan o'tuvchi to'g'rilangan tokning qiymati.



17.21-rasm. Induktiv qarshiligi o'zgartiriladigan ko'prik sxemalari faza siljitgichning vektor diagrammasi.

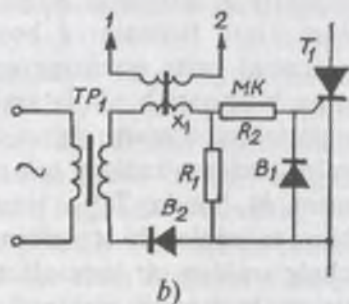
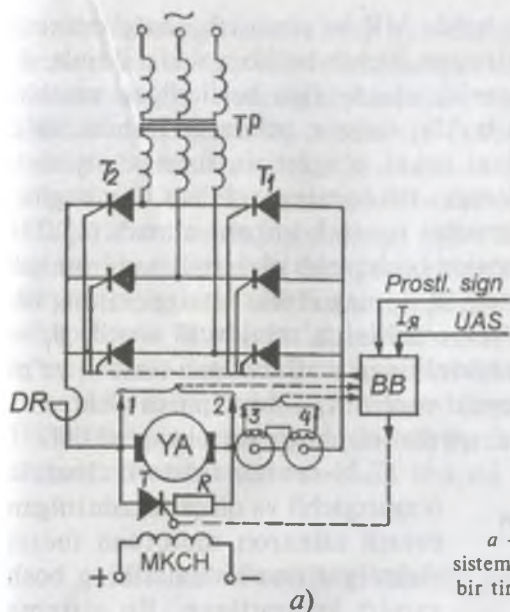


17.22-rasm. Boshqariluvchi simobli to'g'rilagich-motor sistemasi bosh zanjirining sxemasi.

U_{AC} — transformator chulg'amidagi kuchlanish vektori bo'lib, uning qiymati $U_{AC} = I_1 X_1 + I_1 R_1 = \text{const}$ bo'lgani uchun X_1 qiymatining o'zgarishi bilan U_{ab} kuchlanishi vektorining b nuqtasi U_{ab} radiusli yarim doira bo'yicha siljiydi.

Demak, a va b nuqtalardan olinadigan kuchlanishning qiymati o'zgarmas, fazasi esa U_{AC} ga nisbatan mos yoki 180° gacha farq qiladi. Shunga binoan tiratron to'riga beriluvchi kuchlanishning fazasi U_{AC} ga va, demak, tiratron anodidagi kuchlanishning fazasiga nisbatan ham 180° gacha farq qilishi mumkin. *Elir* sistemasining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari Γ — M nikiga nisbatan past bo'lgani uchun undan deyarli foydalanilmaydi. Amalda boshqariluvchi simobli to'g'rilagich va motordan iborat bo'lgan BCT— M deb ataluvchi ion elektr yuritma sistemasidan keng foydalaniladi. 17.22-rasmda BCT— M sistemasining bosh zanjir sxemasi ko'rsatilgan. Bu sistemada ham simobli to'g'rilagich to'riga beriladigan kuchlanish fazasini anod kuchlanishi fazasiga nisbatan o'zgartirish uchun turli tipdagi faza siljitgichlardan foydalaniladi.

17.23-rasm, a da yuqoridagi sistemalarga nisbatan ancha yuqori texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega bo'lgan tiristor-motor sistemasi ko'rsatilgan. Bunda yakor toki bo'yicha manfiy va kechiktirilgan teskari boshqarishga binoan ishga tushirish toki berilgan qiymatda saqlanib, bu bilan jarayonning jadal o'tishi ta'minlanadi. Bunday teskari bosh-



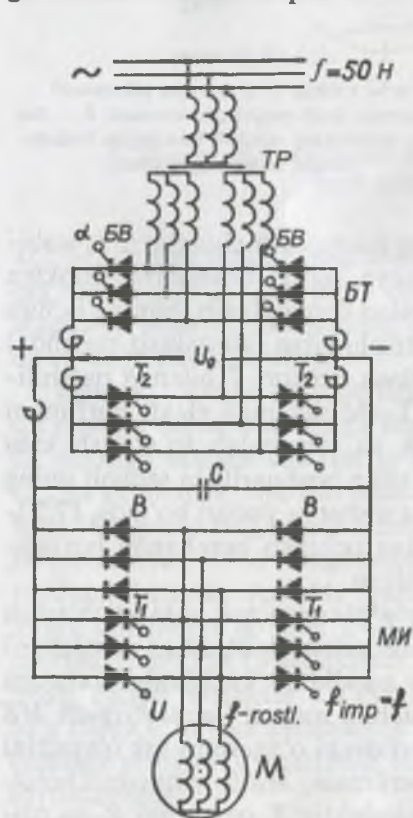
17.23-rasm.

a — tiristor — o'zgaras tok motori sistemasi bosh zanjirining sxemasi; *b* — har bir tiristorning ochilish burchagini boshqaruvchi zanjirning sxemasi.

qarish uchun magnit kuchaytirgichning boshqarish chulg'ami va stabilitrondan foydalanilib, ulardan olingan signal boshqarish blokiga beriladi. Motor elektrodinamik usul bilan tormozlanib, buning uchun elektr tarmog'idan tiristorlarning bекitilishi bilan (kontaktsiz ravishda) ajratilgan uning yakor zanjiri tormozlash tiristori T bilan R qarshiligi-giga ulanadi. Demak, tiristor-motor $T-M$ sistemali elektr yuritmani ishga tushirish, chastotasini rostdash va tormozlab to'xtatish kabi jarayonlarining kontaktsiz apparatlar bilan boshqarilishi sababli uning texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlari ham nisbatan yuqori bo'ladi. 17.23-rasm, *b* da har bir fazadagi tiristorning ochilish burchagini boshqaruvchi faza siljitgich sxemasi ko'rsatilgan.

Ma'lumki tiristordan o'tadigan to'g'rilangan tok yoki kuchlanish qiymatini rostdash uchun uning boshqarish elektrodiga beriluvchi musbat potensial fazasi α ni uning anodidagi kuchlanish fazasiga nisbatan o'zgartirish kerak. Buning uchun magnit kuchaytirgich MK ning boshqarish chulg'ami $1-2$ ga beriluvchi o'zgaras tok qiymatini o'zgartirish kifoya. Agar $1-2$ ga tok berilmasa, MK to'yinmagan holat-da bo'ladi. Uning ish chulg'amining induktiv X_1 qarshiligi R_1 ga nisbatan juda katta bo'lib, transformator chulg'amidagi kuchlanish asosan ish chulg'amida hosil bo'lgan kuchlanish tushuviga sarflanadi. Bunda R_1 dagi musbat potensial juda kichik qiymatga ega bo'lib, tiristor berk holda bo'ladi, ya'ni undan tok o'tmaydi. Agar $1-2$ ga beriluvchi

tok qiymatini ko'paytirilsa, u holda MK to'yinib ish chulg'aming induktiv X_1 qarshiligi R_1 ga nisbatan kichik bo'lib qoladi. Bunda R_1 dan olinib tiristorning boshqarish elektrodiga beriladigan musbat potensial katta qiymatga ega bo'lib, tiristor ochiladi. Demak, MK ning boshqarish chulg'amidagi tokni o'zgartirib uning to'yinish momentini o'zgartirish va, demak, tiristorning ochilish burchagini, ya'ni undan o'tadigan tok qiymatini rostdlash imkoni olinadi (17.23-rasm, b), bunda: TP_1 — tiristorning boshqarish elektrodi zanjirini tok bilan ta'minlovchi transformator; B_2 — magnit kuchaytirgichining ish chulg'amidan bir tomonlama tok o'tishini ta'minlovchi ventily; B_1 — tiristor boshqarish elektrodi zanjirini unga xavfli bo'lgan teskari, ya'ni manfiy potensialdan himoyalovchi ventily; R_2 — boshqarish elektrodiga beriluvchi musbat potensial qiymatini chegaralovchi qarshilik.



17.24-rasm. Tiristorli chastota o'zgartigich-qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor sistemasi bosh zanjirining sxemasi.

17.24-rasmda tiristorli chastota o'zgartigichli va qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motordan iborat elektr yuritma sistemasining bosh zanjiri ko'rsatilgan. Bu sistema bilan motorni ishga tushirish, reverslash, aylanishni chastotani o'zgartirish usulida rostdlash va rekuperatsiya usulida uni tormozlab sekinlashtirish jarayonlarini kontaktsiz apparatlar vositasida boshqarish imkoni olinadi. Buning uchun dastavval chastotasi 50 H bo'lgan elektr tarmog'idagi kuchlanish boshqariluvchi to'g'rilagich BT bilan to'g'rilanib rostdlanuvchi U_0 kuchlanishga aylantiriladi. So'ngra drossel bilan tekislangan va qiymati rostdlanish imkoniga ega bo'lgan o'zgarmas tok kuchlanishi U_0 mustaqil inverter MH ga beriladi. Demak, mustaqil invertordagi tiristorlarni boshqarish elektrodlariga turli chastotadagi musbat impulslarni berib motor uchun chastotasi M. P. Kostenko ifodasiga binoan rostdlanuvchi uch fazali kuchlanishlarni olish mumkin.

Bunda motorga beriluvchi kuchlanish chastotasi f ning qiymati tiristorlarni ochish uchun beriladigan musbat potensial impulslarining chastotasi $f_{\min}$ bilan aniqlanadi, ya'ni $f = f_{\text{imp}}$ bo'lib, kuchlanish qiymatini o'zgartirish uchun esa boshqariluvchi to'g'rilagich BT ni ochilish burchaklari yoki transformator transformasiya koeffitsiyentini o'zgartirish kerak. Sxemadagi C kondensatori filtr vazifasini bajarishdan tashqari, motorning generator rejimida unga kerak bo'lgan magnit oqimini hosil qiluvchi manba vazifasini ham bajaradi. Motorning generator rejimidagi elektr energiyasini rekuperatsiyalash uchun undan olingan uch fazali tok dastavval ventil B lar bilan o'zgarmas tokka aylantiriladi. So'ngra bu o'zgarmas tokni T_2 tiristorlari bilan uch fazali tokka aylantirib transformator orqali elektr tarmog'iga uzatiladi. Ikkinchi komplektdagi tiristor T_1 larni ochilish faza ketma-ketligini o'zgartirib, motorni reverslash imkoni ham olinadi.

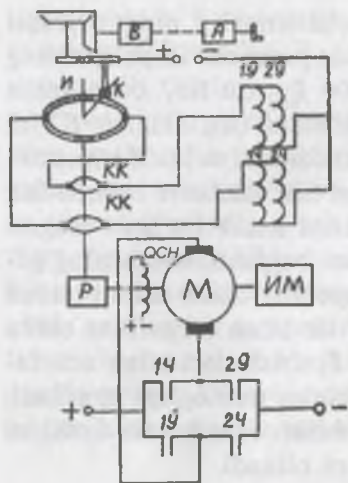
17.15. Taqlidchi elektr yuritma sistemalari

Kichik quvvatli o'lchash organi bilan berilgan mexanik harakatni taqlid etib, uni berilgan aniqlikda takrorlovchi katta quvvatli yuritma taqlidchi elektr yuritma deb ataladi.

Demak, taqlidchi elektr yuritma, asosan, buyruq beruvchi datchik va uni qabul qilib, takrorlovchi-priyomnik elementlaridan iborat bo'ladi. Hozirgi paytda, bunday elektr yuritmadan kopirlash (taqlid qilish) stanoklaridagi keskichni model profili yoki chizmadagi chiziqlar bo'yicha, radiolokatsiya qurilmasidagi antenna va astronomiya qurilmalaridagi teleskopni osmondagi obyekt bo'yicha harakatlantirish va shu kabilarda keng foydalaniladi. Taqlidchi elektr yuritmalarni o'z-o'zidan va tashqi teskari bog'lanishlar bilan sinxronlanuvchi yuritmalarga bo'lish mumkin. O'z-o'zidan sinxronlanuvchi taqlidchi elektr yuritma bilan mexanik bog'lanishga ega bo'lmagan bir necha vallarni sinxron ravishda aylantirish yoki ularni ma'lum burchaklarga burish imkoni bo'ladi. Bunday sistema turli potensiometr va selsinlardan iborat bo'lib, ularning ish prinsiplari yuqorida ko'rsatilgan.

Tashqi teskari bog'lanish bilan sinxronlanuvchi taqlidchi sistemalar uzlukli va uzluksiz (sinxron) yuritmalarga bo'linadi.

Uzlukli taqlidchi elektr yuritmalarda datchik o'qi bilan priyomnik o'qi oralig'idagi burchak farqi ma'lum qiymatga erishgandagina priyomnik o'qining aylanishiga signal beriladi. 17.25-rasmda kontakt sistemali taqlidchi elektr yuritma sxemasi ko'rsatilgan. Bunda A — datchik; B — priyomnik; K — kontakt sistemali taqlidchi mos-



17.25-rasm. Kontakt sistemali (uzlukli) taqlidchi elektr yuritma sistemasining prinsipial sxemasi.

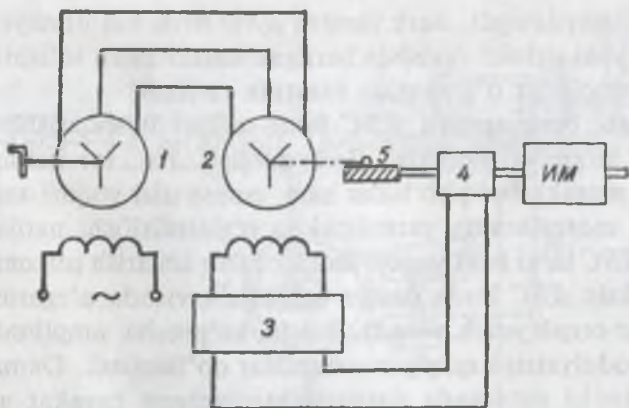
lama; $1\bar{Y}$, $2\bar{Y}$ va $1\bar{Y}$, $2\bar{Y}$ — kuchaytirgich sifatida qo'llanilgan reversiv kontaktorlar; P — reduktor.

Kontaktli taqlidchi moslama izolatsiya oralig'i H bilan ajratilgan ikki bo'lak yarim halqalardan iborat bo'lib, kontakt K ning izolatsiya oralig'idagi, ya'ni o'zining nol holatida motor elektr tarmog'iga ulanmagan bo'ladi. Datchik rotorini berilgan burchakka burish bilan priyomnik rotor ham shu burchakka burilib kontakt K ni izolatsiya oralig'idan yarim halqa tomon suradi. Buning natijasida $1\bar{Y}$, $2\bar{Y}$ lar va, demak, motor ham elektr tarmog'iga ulanib, motor bilan reduktor o'ng tomonga aylana boshlaydi. Reduktor aylanishi bilan kontaktli sistema K ham dastlabki holatiga qaytarila boshlaydi. Kontakt K dastlabki holatga qaytarilishi bilan motor o'z-o'zidan

elektr tarmog'idan ajraydi, ammo u o'z inersiyasi bilan aylanishni davom ettirib, K ni H oralig'idan chiqarib yuboradi. Natijada motor teskari tomonga aylanib, K ni yana H ga kirgizadi. Demak, motor nol holat atrofida birmuncha vaqt tebranma harakatga ega bo'lib, o'tkinchi rejimda ishlaydi. Bu esa sistemaning kamchiligidir. Bundan tashqari, sistemaga buyruq qanchalik tez berilmasin, uning qayta takrorlanishi bir xil chastotada o'tadi. Bular esa uzlukli sistemaning asosiy kamchiliklari hisoblanadi. Uzlüksiz sistemalar uzlukliligiga nisbatan, ancha murakkab bo'lsa ham, ammo ularda buyruq aniqroq va turli sinxron chastotalar bilan takrorlanadi.

17.26-rasmda uzluksiz, ya'ni sinxron taqlidchi sistemaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Bunday elektr yuritma, asosan datchik 1 , priyomnik 2 (taqlidchi organ), kuchaytirgich 3 , ish mexanizmi HM va priyomnik bilan mexanik ravishda bog'langan motor 4 dan iborat bo'ladi. Uzlüksiz sistema datchigi va priyomnigi sifatida transformator rejimida ishlovchi selsinlardan foydalanib, uning kuchaytirgichi sifatida esa elektr, magnit, mexanik, pnevmatik va gidravlik apparatlardan foydalaniladi.

Bunday sistema datchigi rotorini berilgan burchakka burish jarayonida priyomnikning bir fazali chulg'amida e.yu.k. hosil bo'ladi. Bu e.yu.k. kuchaytirgichga berilib, kuchaytirgich esa motorni elektr tarmog'iga ulaydi. Natijada motor uzatma 5 orqali priyomnikni



17.26-rasm. Uzlüksiz (sinxron) taqlidchi elektr yuritma sistemasining prinsipial sxemasi.

berilgan chastota bilan aylantira boshlaydi. Priyomnikning rotori berilgan burchakka burilganida datchik va priyomnik rotorlari burilish burchagining farqi nolga teng bo'lib, motor to'xtatiladi. O'rtaqa quvvatli taqlidchi elektr yuritmalarda o'zgarmas tok motorlari qo'llanilib, ular yarim o'tkazgich yoki tiratron, katta quvvatlarda esa simob ventillari yoki Γ —M sistemalari bilan boshqariladi. Kichik quvvatli taqlidchi elektr yuritmalarida, ko'pincha, ikki fazali qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlari qo'llaniladi.

17.16. Dastur bilan boshqariladigan elektr yuritmalar

Bunda rostlanuvchi parametrlarning o'zgarish qonuni aniq bo'lib, u dastur tariqasida berilgan bo'ladi. Sanoat buyumlarining ko'pchiligi kam seriyalab ishlab chiqariladi. Bunday elektr yuritmalarda buyumni ishlab chiqarishdagi bir rejimdan ikkinchisiga o'tish uchun unga yangi dasturni kirgizish kifoya. Shu sababli hozirgi zamon elektr apparatlari va hisoblash texnikasi imkoniyatlariga asoslanib yangi prinsipdagi, ya'ni raqamlar bilan boshqariladigan dasturli sistemalar yaratilmoqda. Bunday sistemalarning tuzilishi ancha murakkab bo'lsa ham, ammo ularni tez va osongina yangi dasturga o'tkazib ishlatish imkoni bo'ladi.

Dasturli boshqarish sistema ($\mathcal{ДБС}$) lari ham ochiq va berk zanjirli bo'ladi. Ochiq zanjirli $\mathcal{ДБС}$ lardan olinadigan natija, berilgan dastur

bilan solishtirilmaydi. Berk zanjirli ΔBC larda esa olinayotgan natija uzluksiz yoki uzlukli ravishda berilgan dastur bilan solishtirilib, sodir bo'lgan xatoliklar o'z vaqtida tuzatilib turiladi.

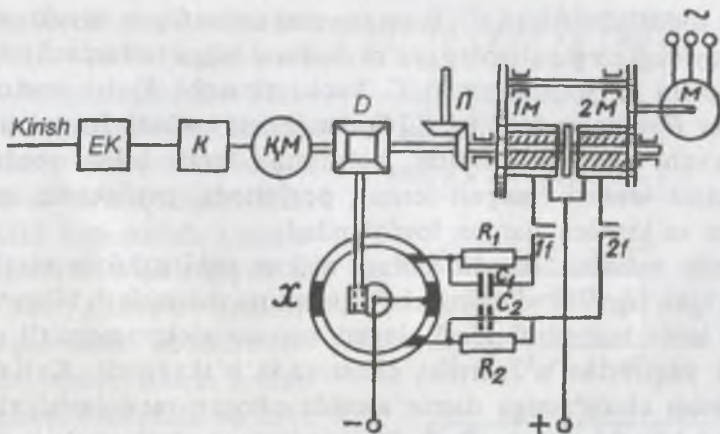
Demak, berk zanjirli ΔBC larni teskari boshqarishli sistemalar qatoriga kirgizish mumkin. Berk zanjirli ΔBC lar ochiq zanjirliga nisbatan murakkabroq bo'lsalar ham, ammo ular yuqori aniqlikka ega. Qadamli motorlarning yaratilishi va o'zlashtirilishi natijasida ochiq zanjirli ΔBC larni ham yuqori aniqlik bilan ishlatish imkoni yaratiladi.

Uzluksiz ΔBC larda dastur uzluksiz ravishda o'zgarib turadigan miqdorlar orqali yozib olinadi. Bunda, ko'pincha, amplituda yoki faza orqali modulyatsiya qilingan sistemalar qo'llaniladi. Demak, yuqoridagi birinchi sistemada dasturlashtiriladigan harakat amplitudasi uzluksiz o'zgarib turadigan miqdor bilan ifodalansa, ikkinchisida esa fazasi o'zgarib turadigan (sinusoidal) miqdor bilan ifodalanadi. Uzluksiz ΔBC larda dastur magnit lentaga yozib olingan bo'ladi. ΔBC lardan ko'proq metall qirqish stanoklarida foydalanib, stanoklardagi ish harakatlariga binoan bunday sistemalarni koordinatalar yoki konturlar asosida boshqariluvchi sistemalariga bo'lish mumkin. Koordinatalar asosidagi sistemada qirquvchi asbob (keskin) yoki ishlov beriladigan buyum o'rnatilgan mexanizmni yangi koordinataga aniq o'tishi katta ahamiyatga ega bo'lsa, uning o'tish yo'li esa ahamiyatga ega bo'lmaydi. Bunday sistemalardan parmalash va randalash stanoklarida ko'proq foydalaniladi.

Koordinataga binoan boshqariluvchi sistemalarda harakat diskret (pog'onali, uzlukli) xarakterga ega bo'lib, ularda dasturni teshikli qog'oz lentalar yoki karton varaqlari bilan ifodalash qulay bo'ladi. Konturli ΔBC sistemalari esa, ko'pincha, frezer va tokarlik stanoklarida qo'llanilib, unda keskich yoki buyumning harakat yo'nalishi yuqori aniqlikda o'tishi kerak.

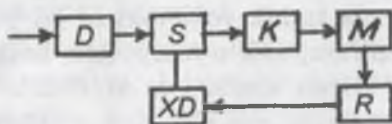
ΔBC larning asosiy elementlari

17.27-rasmda qadamli motor deb ataluvchi maxsus motorcha bilan boshqariluvchi elektromagnit muftali diskret ΔBC ko'rsatilgan. Bunda elektron kommutatori $\mathcal{E}K$ orqali berilgan buyruq signallari kuchaytirgich K bilan kuchaytirilib, qadamli motor KM ga beriladi. Qadamli motor differensial uzatma D orqali kontaktli halqa X surgichini harakatga keltirib, birinchi elektromagnit muftasi HM ni yoki ikkinchisi $2M$ ni elektr tarmog'iga ulaydi. Bunda Π vali asinxron motor bilan u yoki bu yoqqa aylantirilib, differensial uzatma orqali halqa X surgichi



17.27-rasm. Qadamli motor bilan boshqariluvchi elektromagnit muftali DBC ning sxemasi.

o'zining dastlabki holatiga buriladi. Natijada berilgan buyruq to'la ijro etilib, surgich halqaning izolatsiyalangan oralig'ida to'xtaydi. Elektromagnit mufta esa elektr tarmog'idan ajratiladi. Birinchi mufta tarmoqqa 1Φ kontakti bilan ulanganida, ikkinchisi undan 2Φ bilan ajralib turadi. Bu sistemada $1M$ va $2M$ lardan aylantiruvchi momentni kuchaytirgichlari sifatida foydalanilib, kontaktli halqa X o'rniga sel-sinlardan foydalanish ham mumkin. 17.27-rasmda kichik quvvatli qadamli motor qo'llanilgan sistemaning sxemasi ko'rsatilgan bo'lib, katta quvvatli qadamli motor bilan stanok supporti yoki stolini ham bevosita harakatga keltirish imkoni bo'ladi. Qadamli motor statorida uch qismli halqasimon chulg'amlar bo'ladi. Statorning ustki qismida tishlari bo'lib, bu tishlar soni bilan motor qadami aniqlanadi. Motor statori uning rotorining ichki qismiga joylashtiriladi. Rotorning ichki qismida ham ferromagnit tishlar o'rnatilgan bo'lib, ular har bir qismda qadamning uchdan biriga surilgan bo'ladi. Demak, stator biror chulg'aming ulanishi bilan rotor qadamning uchdan biriga buriladi. Shu sababli stator chulg'amlarining ketma-ket ulanishi bilan rotor qadamlarining uchdan biriga burilib aylanaveradi. Demak, rotorning aylanish tezligi stator chulg'amlarining ulanish chastotasi bilan aniqlansa, bu chulg'amlarning ulanish ketma-ketligi esa uning aylanish yo'nalishini aniqlaydi. 17.28-rasm, DBC



17.28-rasm. DBC ning soddalashtirilgan struktura sxemasi.

larning soddalashtirilgan struktura sxemasi ko'rsatilgan. Struktura sxemasi quyidagi elementlardan, ya'ni dasturni ishga tushiruvchi dekodlashtiruvchi $\mathcal{D}$, solishtiruvchi C , kuchaytiruvchi K , ish motori M , reduktor P va holat datchigi $X\mathcal{D}$ lardan iborat bo'ladi. Dasturni ishga tushiruvchi element sifatida, ko'pincha temir bilan qoplangan plastmassa lentasi (magnit lenta), perfolenta, perfokarta, magnit baraban va kinolentalardan foydalaniladi.

Bunda masalan, magnit lentaga diskret yoki uzluksiz xarakterga ega bo'lgan signallarni uning aktiv qatlamini magnitlash bilan yozish uchun lenta magnitofondagi singari maxsus elektromagnitli yozish kallagi yaqinidan o'zgarmas chastotada o'tkaziladi. Kallakning qo'zg'atish chulg'amiga dastur asosida olingan modulyatsiyalangan sinusoidal kuchlanish beriladi. Magnit lentaga yozilgan dasturni shu onning o'zida ijro etish yoki uni bir necha marta o'chirib, so'ngra qayta yozish imkonlari bo'ladi. Perfolenta yoki perfokarta asosida tuzilgan dastur esa berilgan tartibda joylashgan va berilgan sondagi teshiklar bilan yoziladi.

Raqamlar bilan boshqariluvchi sistemada biror miqdorni dasturga o'tkazish uchun dastavval uni ikkilik yoki o'nlik sanash sistemasi asosida shartli kod orqali ifodalash lozim.

Quyidagi misolda 1263 sonining o'nlik va ikkilik sistemasida olingan kodi ko'rsatilgan. 1263 soni o'nlik sistemada $1263 = 1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$ bo'lib, ikkilik sistemasida esa $1263 = 1 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ bo'ladi. Demak, 1263 sonining ikkilik sistemasidagi kodi 10011101111 dan iborat raqamlar bilan ifodalanadi.

Ikkilik sistemasida turli sonlarning bir va nol raqamlari bilan kodlanishi xotira va sanash elementlarini juda soddada prinsipda tuzish imkonini beradi.

Haqiqatan, bir (1) raqamini dastur lentasida teshik, magnitlanish izi yoki nur izi bilan ifodalash imkoni bo'lsa, nol (0) raqamini esa teshiksiz, magnit yoki nur izlari tushmagan oraliq bilan ifodalash imkoni bo'ladi. Demak, elektron va ion asboblari, yarim o'tkazgichli va rele-kontaktor apparatlaridan tok o'tayotgan holatni lentada teshik yoki magnit izi bor bo'lgan oraliq, ya'ni 1 deb qabul qilinsa, tok o'tmayotgan holatni esa lentada teshik va izlar yo'q bo'lgan oraliq, ya'ni 0 deb qabul qilinadi. 17.29-rasmda 1263 sonining a — o'nlik, b — ikkilik va d — ikkilik-o'nlik sanash sistemalarida kodlanishi ko'rsatilgan. Bunda raqamlarni quyidagi belgilar bilan, ya'ni $\bullet$ — teshik bor va $\circ$ — teshik yo'q deb ifodalanagan.

O'nlik sistemada kodlangan dasturni o'qish juda oson bo'lsa ham, ammo bu sistemada olingan dasturni kiritish va sanash elementlari ancha murakkab va noqulay bo'ladi.

Ikkilik sistemasida kodlangan dasturni o'qish qiyinroq bo'lsa ham, ammo bu sistemada olingan sanash va xotira elementlari sodda, dastur lentasi esa ixcham tuzilishda bo'ladi.

O'nlik sistemada aniqlangan sonlarni ikkilikka o'tkazish uchun ko'p sonli matematik hisoblarni bajarish kerak. Shuning uchun dastur bilan bosh-

qariluvchi sistemalarda ikkilik sanash sistemasi bilan bir qatorda ikkilik-o'nlik deb ataluvchi sistemadan ham keng foydalaniladi. Bu sistemada o'nlik sistemasining soddaligi (o'qishda) va ikkilik sistemasining ixchamligi va qulayligi mujassamlashgan.

Ikkilik-o'nlik sistemasining asosi uchun o'nlik sanog'idagi sonlar olinib, so'ngra undagi har bir $0 \div 9$ raqami ikkilik sistemasidagi 4-razryadli ekvivalent raqamlar bilan belgilanadi.

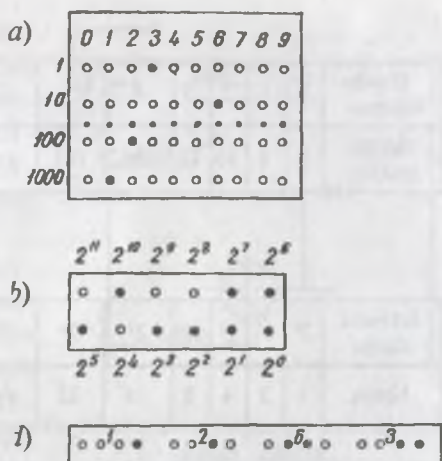
Masalan, o'nlik sistemadagi 2467,39 sonini quyidagicha ifodalash mumkin, ya'ni

2	4	6	7	3	9
0010	0100	0110	0111	0011	1001

Demak, 2467,39 soni ikkilik-o'nlik sistemasida 001001000, 1100111, 00111001 bo'ladi.

Bu sistemada dekodlash elementi ham ancha soddalashadi, kon-taktorlarning ulanish soni esa minimumgacha kamayadi.

O'nlik sistemadan ikkilikka o'tishni osonlashtirish uchun quyi-dagi 1 va 2-jadvallardan foydalanish mumkin. 1-jadvalda bir xil sonlarning o'nlik va ikkilik sistemalarida yozilishi ko'rsatilgan bo'lsa, 2-jadvalda ikki soninning har xil darajalarining natijasi ko'rsatilgan.



17.29-rasm. 1263-sonining kodlanishi.

O'nlik sistema	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ikkilik sistema	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010	1011	1100

2-jadval

Ikkinci daraja	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9	2^{10}	2^{11}	2^{12}
Natija	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096

17.30-rasmda biror buyumni parmalash uchun berilgan chizma ko'rsatilgan. Bu chizmaga binoan dasturga kiritilishi kerak bo'lgan sonlar quyidagicha aniqlanadi. Texnolog tomonidan X va U o'qlarga nisbatan parmalash koordinatalari aniqlanadi. Koordinatalarni ifodalovchi bu raqamlar 3-jadvalga o'tkaziladi. Bu jadvalga keskich o'rnatilgan mexanizm koordinata tomon harakatining tezligi ham kiritiladi. So'ngra jadvaldagi raqamlar kodlar bilan ifodalanib dasturga kiritiladi.

3-jadval

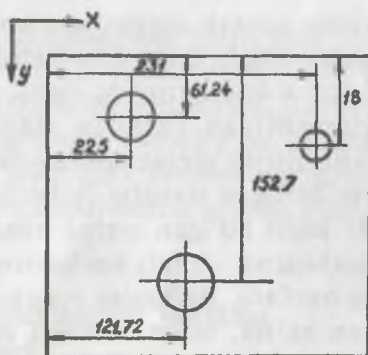
Kadr	X	Revers	Y	Parmalash
I	0 0 2 2 5 0		0 6 1 2 4	Ø20
II	1 2 1 7 2		1 5 2 7 0	Ø 25
III	2 3 1 0 0		0 1 8 0 0	Ø 15

Agar kontur asosida tuzilgan boshqarish sistemasiga dastur tayyorlash kerak bo'lsa, u holda murakkab tenglamalarni yechish kerak. Bunda ma'lum kontur bo'yicha harakatlanishni va texnologik shartlarni hisoblash mashinalariga kiritilib undan trayektoriya koordinatalariga tegishli raqamlar olinadi. Bu raqamlarga binoan perforator yordamida dastur tuziladi. Bunday masalalarni hisoblash mashinasidan foydalanmasdan yechilsa juda ko'p vaqt talab qilinadi. Hisoblash mashinalari esa bir sekundda 10000 va undan ham ko'p hisob amallarini bajarishi mumkin. Shunday qilib, kiritilgan boshqarish signallari dekodlash elementi D ga uzatiladi. Dekodlash elementiga

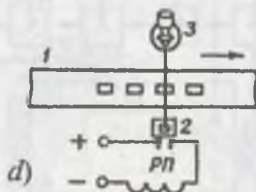
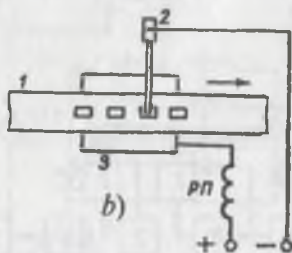
dastur asosida berilgan signallarni avtomatik boshqarish uchun qulay bo'lgan elektr signallariga aylantiriladi. Agar dastur magnit lentaga yozilgan bo'lsa, u holda dekodlash elementi faqat sanash mexanizmidan iborat bo'ladi.

Dasturdagi kodni o'qish (rasshifrovkalash) uchun sanash mexanizmidan foydalaniladi. 17.36-rasm, *a* da magnit lentaga yozilgan dasturni o'qib beruvchi sanash mexanizmi ko'rsatilgan. Bunda sanash mexanizmi faqat magnit kallagidan iborat bo'lib, uning yaqinidan magnit lenta o'tkazilganda ochiq zanjirli po'lat o'zagiga o'rnatilgan g'altak chulg'amida e.yu.k., ya'ni elektr signali hosil bo'ladi.

Dastur perfolenta yoki perfokartaga yozilgan bo'lsa, uni rasshifrovkalash uchun elektromexanik yoki fotoelektr sistemali sanash mexanizmi qo'llaniladi. 17.31-rasm, *b* da elektromexanik sanash mexanizmi ko'rsatilgan. Bunda lenta *1* ni ma'lum tezlikda tortilib uning teshigi cho'tka *2* tagiga kelganda, cho'tka bilan plastinka *3* orasida kontakt hosil bo'ladi. Natijada boshqarish sistemasining relei *PII* dan tok o'taboshlaydi. 17.31-rasm, *d* da foto-



17.30-rasm. Buyumni parmalash uchun chizma.



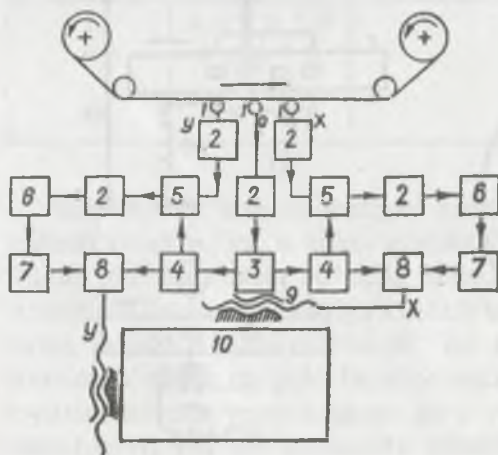
17.31-rasm.

a — magnit kallakli sanash mexanizmi; *b* — elektromexanik sanash mexanizmi; *d* — fotoelektrik sanash mexanizmining prinsipial sxemalari.

elektr sanash mexanizmi ko'rsatilgan. Bunda lentadagi teshikdan nurni o'tishi bilan fotoqarshilik 2 ning qiymati keskin kamayib PII reledan boshqaruvchi signal toki o'tadi. 17.31-rasmdagi dekodlash elementidan chiqqan signal solishtirish elementiga beriladi. Solishtirish elementidan chiqadigan signalning qiymati dastur bilan berilgan signalni holat datchigi XD signalidan ayirish natijasida hosil bo'lgan signal bilan aniqlanadi. Shunday qilib, olingan boshqarish signali kuchaytirgich K da kuchaytirilib, ish motori M ga beriladi. Bu motor reduktor orqali holat datchigi bilan bog'langan bo'lib, holat datchigi esa solishtirish elementi S bilan bog'langan bo'ladi. Demak, bu sistema ham teskari boshqarishli berk boshqarish zanjiriga ega bo'lib, uning ishlashdagi aniqligi asosan holat datchiliklarining ishlash aniqligiga bog'liq bo'ladi. 17.32-rasmda konturga binoan boshqariluvchi ΔBC li tokarlik stanogining struktura sxemasi ko'rsatilgan.

Bunda magnit lentaning tortuv mexanizmi bilan berilgan chas-totada harakatlanayotgan paytida undagi signallar magnit kallaklari 1 orqali sanab boriladi. Bunda kallaklardan biri asos signalini sanab tursa, boshqalari esa stol 10 ni X va U o'qlari bo'yicha boshqarish hamda yordamchi mexanizmlarni boshqarish uchun yozilgan signallarni sanab turadi. ΔBC ga faza bo'yicha modulatsiya qilingan signal beriladi. Rasshifrovkalangan va kuchaytirilgan asos signali kuchaytirgich 2 orqali faza bo'luvchi 3 ga beriladi. Natijada asos signali uch fazali kuchlanish signaliga aylantirilib, selsin 4 statorlariga

beriladi. Bu selsinlarni rotorlari reduktorlar 8 orqali X va U o'qlari bo'yicha harakatlanuvchi ishga tushiruvchi vintlar 9 bilan bog'langan bo'ladi. Buning natijasida holat datchigidan chiquvchi bir fazali signal fazasi stolga o'rnatilgan buyum holati bilan aniqlanadi. Bu signal solishtirish elementi 5 ga beriladi. X va U o'qlari bo'yicha boshqaruvchi signallar ham kuchaytirgichlardan o'tib, solishtirish elementiga uzatiladi. Demak, solishtirish

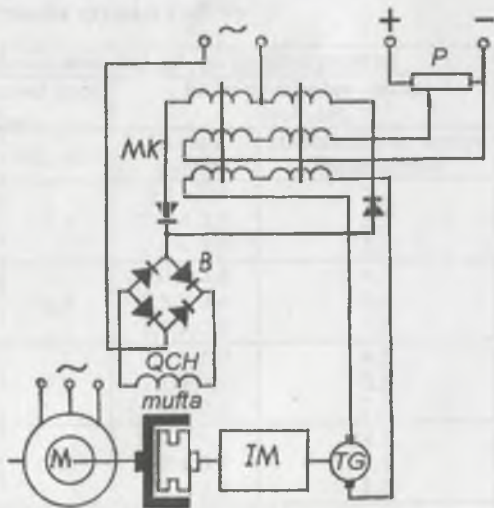


17.32-rasm. Konturga binoan boshqariluvchi ΔBC tokarlik stanogining struktura sxemasi.

elementidan chiqadigan signal buyumning haqiqiy holati bilan das- turda belgilangan holatlarining ayirmasiga proporsional bo'lad. Bu signal kuchaytirilib 2 orqali *EMK* 6 bilan 7 larni boshqaradi. Reduktor 8 va ishga tushirish vintlari 9 bilan bog'langan stanok stoli 10 motor orqali harakatga keltiriladi. Shunday qilib, *ДБС* lar asosida buyum- lara murakkab trayektoriyalar bo'yicha ishlov berish imkoni olinadi.

17.17. Sirpanuvchi muftali elektr yuritma sistemalari

Motor validagi mexanik harakatni ish mexanizmi valiga o'tkaza- digan moslama mufta deb ataladi. Texnikaning taraqqiy qilishi muftalar zimmasiga ikki valni o'zaro qo'shishdan tashqari ancha murakkabroq bo'lgan talablar qo'ymoqda. Bu talablar ishlayotgan yoki ishlamay turgan motor valining ish mexanizmi vali bilan qo'shilishi va ayrilishini masofadan turib tezda boshqarish, motorni ishga tushirishdagi mexanik siltanishlarni esa motorga o'tkazmaslik, ish mexanizmiga beriladigan aylantiruvchi moment qiymatini cheklash, motor chastotasini nominal qiymatda o'zgartirmay, saqlab, mexanizm validagi chastotani ma'lum diapazonda rostlab turish va h. k. lardan iboratdir. Turli tipdagi me- xanik va hatto elektromag- nit muftalar ham bu talab- larni to'la qondira olmaydi. Induktorli sirpanish muftasi bilan esa yuqoridagi talab- larni to'la qondirish imkoni olinadi. Bunday mufta o'za- ro konsentrik ravishda joy- lashgan ikki aylanuvchi qismdan iborat. Muftaning yakor deb ataladigan tashqi qismi kovak po'lat silindr- dan iborat bo'lib, uning ichki qismiga induktor o'r- natiladi. Induktor esa ikki qator po'lat tishli g'ildirak- lardan hosil bo'lgan pazlarga o'rnatilgan va o'zgaras tok



17.33-rasm. Induktorli sirpanish muftasiga ega teskari aloqali elektr yuritma sistemasining sxemasi.

bilan ta'minlanadigan qo'zg'atish chulg'amli elektromagnitdan iborat. Odatda, yakor induktordan 1 mm dan ham kamroq havo bo'shlig'i bilan ajralib, chastotasi rostlanmaydigan asinxron yoki sinxron motorlari bilan aylantiriladi. Induktor esa ish mexanizmi valiga mahkamlangan bo'ladi. 17.33-rasmda induktorli sirpanish muftasiga ega bo'lgan chastota bo'yicha teskari bog'lanishli elektr yuritmaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Bu sistema bilan elektr yuritmani avtomatik boshqarish va uning chastotasini D-50 diapazonida rostlash mumkin.



ILOVALAR

1-ILOVA

Amaliy o'lchov birliklari sistemasidagi ba'zi miqdorlarni xalqaro birliklar sistemasi SI ga o'tkazish.

Amaliy sistemada kuchning o'lchov birligi 1 kg bo'lib, SI sistemada esa 1 n'yuton (N) dir.

$$1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N yoki } 1 \text{ N} = 0,102 \text{ kg.}$$

Moment:

$$1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ Nm yoki } 1 \text{ Nm} = 0,102 \text{ kgm.}$$

Quvvat:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Nm/sek} = 1 \frac{\text{J}}{\text{sek}} = 0,102 \frac{\text{kgv}}{\text{sek}}.$$

$$1 \text{ kW} = 1 \text{ kNm/sek} = 102 \text{ kg/sek.}$$

Energiya:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ W. sek} = 0,102 \text{ kgm,}$$

$$1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ J} = 9,81 \text{ Vt. sek,}$$

$$1 \text{ W. soat} = 3600 \text{ J,}$$

$$1 \text{ kW. soat} = 3600 \text{ kJ.}$$

Bosim:

$$1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} = 9,81 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

$$1 \text{ N/m}^2 = 0,102 \text{ kg/m}^2,$$

$$1 \text{ N/m}^2 = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ at,}$$

$1 \text{ at} = 1 \text{ kg/sm}^2 = 104 \text{ kg/m}^2 = 10 \text{ m suv ustuni} = 10^4 \text{ mm suv ustuni bo'lgani uchun } 1 \text{ kg/m}^2 = 1 \text{ mm suv ustuni} = 9,81 \text{ N/m}^2 \text{ bo'ladi.}$

2-ILOVA

Asinxron motorlarda hosil bo'luvchi quvvat isrofi o'zgarmas qismining o'rtacha qiymati ($\Delta P =$)

Magnit qutblarining soni	Motor quvvati P _n , kW gacha	Quvvat isrofining ΔP_n ga nisbatan protsenti			
		mexanik quvvat isrofi ΔP_{mex}		Po'lat qismlardagi quvvat isrofi ΔP_p	
		A, A2	AO, AO2	Haqiqiy qiymat	Hisoblashlarda tavsiya etilgan qiymat
2	10	0,9	3,4	3,1 ÷ 3,9	3,5
	40			2,0 ÷ 2,9	2,5
	125			1,4 ÷ 2,2	1,9
4	10	0,5	0,9	3,0 ÷ 5,6	4,3
	40			2,2 ÷ 3,4	2,8
	100			1,4 ÷ 2,2	1,8
6	10	0,44	0,6	3,0 ÷ 6,0	4,5
	40			2,1 ÷ 3,0	2,6
	75			1,8 ÷ 2,4	2,1
8	10	0,3	0,45	2,5 ÷	4,2
	40			2,0 ÷ 3,3	2,6
	55			2,0 ÷ 2,3	2,1
10	10	40	0,27	0,45	2,9 ÷ 3,4

Bunda $\Delta P = \Delta P_{mex} + \Delta P_p$ bo'lib, quvvat isrofining o'zgaruvchan, ya'ni yuklanish tokiga bog'liq qismi $\Delta P_p = \Delta P_n - \Delta P =$; ΔP_n — quvvat isrofining nominal qiymati.

II seriyali o'zgarimas tok motorlarining texnika ko'rsatkichlari

Turi	P _{2n} kW	P _{2n} dagi	I _n , A	η %	Magnit oqim Φ _{min} dagi n _{maks} ayl/min	Og'irligi, kg	GD ² kgm
		n _n ayl/min					
P12	1,0	3000	11,8	77,076,	3450	23	0,015
P21	1,5		18	0		35	0,045
P22	2,2		25	80,0	3450	41	0,055
P31	3,2		35	83,0		53	0,085
P32	4,5		48,5	84,0		62	0,105
P41	6		68,5	82,0		72	0,15
P42	8		87	83,5		88	0,18
P11	0,3	1500	4,3	63,5	3000	18	0,012
P12	0,45		5,8	70,0		23	0,015
P21	0,7		8,5	75,0		35	0,045
P22	1,0		12,0	75,0		41	0,055
P31	1,5		17,4	78,5		53	0,085
P32	2,2		24,0	83,5		62	0,105
P41	3,2		37,0	78,5	2250	72	0,15
P42	4,5		51,0	80,0		88	0,18
P51	6		65,5	83,5		105	0,35
P52	8,0		85,5	85,0		127	0,4
P61	11		118	84,5		163	0,56
P62	14		147	86,5		195	0,65
P71	19		207	83,5		260	1,0
P72	25		266	85,5		300	1,2
P81	32		342	85,0		340	2,8
P82	42		439	87,0		405	3,2
P11	0,13	1000	2,0	59,0	2000	18	0,012
P12	0,2		2,75	66,0		23	0,015
P21	0,3		3,8	71,5		35	0,045
P22	0,45		5,55	73,5		41	0,055
P31	0,7		8,6	74,0		53	0,085
P32	1,0		11,5	79,5		62	0,105
P41	1,5		18,2	75,0		72	0,15
P42	2,2		26,0	77,0		88	0,18
P51	3,2		37,3	78,0		105	0,35
P52	4,5		50,5	81,0		127	0,40
P61	6		66	82,5	1800 180	163	0,56
P62	8		86	84,5		195	0,65
P71	11		126,5	79,0		260	1,0
P72	14		157	81,0		300	1,2
P81	18		210	82,5		340	2,8
P82	25		268	85,0		405	3,2
P91	32		347	84,0		560	5,9
P92	42		445	86,0		660	7,0
P21	0,2	750	2,78	65,5	1500	35	0,045
P22	0,3		3,87	70,0		41	0,055
P31	0,45		5,62	72,5		53	0,085
P32	0,7		8,34	76,0		62	0,105
P41	1,0		12,975	70,0		72	0,15
P42	1,5		18,76	72,6		88	0,18
P51	2,2		27	74,0		105	0,35
P52	3,2		37,3	78,0		127	0,40
P61	4,2		48,9	78,0		163	0,56
P62	5,7		64,3	80,5		195	0,65
P71	8		96	75,5		260	1,0
P72	11		123	81,0		300	1,2
P81	14		160	79,5		340	2,8
P82	19		204	85,0		405	3,2
P91	25		264	82,5		560	5,9
P92	32		333	85,0		660	7,0
P101	42		446	85,5		830	10,3

**A2 tipidagi qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarning
asosiy texnika ko'rsatkichlari**

Turi	Valdagi nominal quvvat, kW	Nominal yuklamada			I_n , A	I_{isht}	M_{isht}	M_{faks}	Og'ir- ligi, kg
		aylanish chastotasi ayl/min	η , %	$\cos\varphi$		I_n	M_n	M_n	
A2 61-2	17	2910	87,7	0,91	32,4	5,3	1,5	2,4	125
A2 62-2	22	2920	89,6	0,92	40,5	5,9	1,7	2,6	143
A2 71-2	30	2930	90,3	0,91	55,5	5,8	1,2	2,7	166
A2 72-2	45	2930	90,9	0,9	74,1	5,9	1,2	2,7	198
A2 81-2	53	2935	91,6	0,91	100	5,5	1,1	2,5	292
A2 82-2	75	2935	92	0,91	136	6,2	1,05	2,4	339
A2 91-2	100	2960	93,6	0,92	176	6,4	1	2,9	463
A2 92-2	125	2965	94,2	0,93	217	7,4	1,2	3,3	521
A2 61-4	13	1460	89,6	0,88	25	5,7	1,2	2,7	125
A2 62-4	17	1465	90,4	0,87	32,7	6	1,3	2,7	143
A2 71-4	22	1460	89,9	0,86	43,1	5,1	1,2	2,5	166
A2 72-4	30	1470	91,4	0,88	56,6	5,9	1,2	2,8	198
A2 81-4	40	1475	92,2	0,9	73,1	5,9	1,1	2,7	292
A2 82-4	55	1480	93	0,9	100	6,9	1,3	3,1	339
A2 91-4	75	1480	93,4	0,91	136	6,3	1,2	2,8	463
A2 92-4	100	1480	94	0,91	175	6,3	1,2	2,8	521
A2 61-6	10	970	87,6	0,87	19,8	5,2	1,3	2,5	125
A2 62-6	13	975	89,2	0,87	25,4	5,8	1,5	2,8	143
A2 71-6	17	975	89,3	0,88	32,6	5,4	1,2	2,5	166
A2 72-6	22	980	90,3	0,88	41,8	5,6	1,2	2,6	198
A2 81-6	30	970	89,8	0,91	55,6	5	1,1	2,2	292
A2 82-6	40	975	90,9	0,91	72,9	5,4	1,2	2,4	339
A2 91-6	55	980	91,6	0,92	99	5,5	1,1	2,4	463
A2 92-6	75	985	93	0,91	135	6,9	1,4	3,1	521
A2 61-8	7,5	720	85,8	0,82	16,2	4,3	1,2	2,2	125
A2 62-8	10	730	87,6	0,82	21,2	4,6	1,2	2,3	143
A2 71-8	13	730	88,1	0,81	27,7	4,8	1,2	2,4	166
A2 72-8	17	720	88,9	0,83	35,1	4,7	1,1	2,3	198
A2 81-8	22	730	89,6	0,87	42,9	5	1,2	2,3	292
A2 82-8	30	735	99,4	0,86	58,2	5,4	1,3	2,5	339
A2 91-8	40	735	91,2	0,87	76,4	5,3	1,1	2,4	463
A2 92-8	55	535	91,9	0,88	103	5,4	1,1	2,5	521
A2 81-10	17	530	87,8	0,78	37,8	3,6	1,1	1,8	292
A2 82-10	22	580	89,3	0,78	48,1	3,8	1,1	1,9	339
A2 91-10	30	585	90,4	0,78	64,2	4,5	1,1	2,2	462
A2 92-10	40	585	90,8	0,78	85,3	4,5	1,1	2,2	521

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Раҳимов Ф.Р. «Электротехника» (дарслик). «Ўқитувчи» нашр., 1966 й.
2. Раҳимов Ф.Р., Фозилов Х.Ф. ва б. «Электротехника атамаларини русча-ўзбекча сўзлиги», «Ўздавлат» нашр. 1937 й.
3. Фозилов Х.Ф. «Бошланғич электротехника» (ўқув қўлланма). 1948 й.
4. Хомидхонов М.З., Мажидов С. «Электр юритма ва уни автоматик бошқариш асослари», (дарслик) «Ўқитувчи» нашр., 1970 й.
5. Majidov S. «Elektr yuritma va uni avtomatuk boshqarish asoslari». «O'qituvchi» (Ziyo Noshir) nashriyoti (darslik) 2003-y.
6. Маджидов С. «Электр машиналари ва электр юритма» (дарслик) «Ўқитувчи» Зиё-Ношир нашриёти, (дарслик) 2002 й.
7. Маджидов С., Вохидов А.Х., Фозиева Р., Шойимов Й. «Электромеханик ускуналар ва уларни автоматлаш асослари» (ўқув қўлланма) «Ўқитувчи» нашриёти, 2005 й.
8. Маджидов С. «Электротехника энциклопедияси» (ўқув қўлланма) «Т.Д.Т.У» нашриёти, 2005 йил.
9. Маджидов С., Жаббаров Н.Ф., Якубов, Амиров С.Ф. «Электротехникадан электрон мультимедияла қўлланма» кассетаси, 2004 йил. (коллежларни ривожлантириш институти).
10. Маджидов С. «Электр машиналари ва электр юритма» (дарслик) «Ўқитувчи» Зиё-Ношир нашриёти, (дарслик) 2002 й.
11. Маджидов С. «Электротехника» (ўқув қўлланма). Ўқитувчи нашр. 2000 й.
12. Маджидов С. «Электротехника атамаларининг русча-ўзбекча лугати». — Тошкент, Ўқитувчи, 1992 й.
13. Маджидов С. «Электр машиналари ва электр юритма атамаларининг русча-ўзбекча изоҳли лугати». Фан нашр. 1971 й.
14. Эфендизодэ А.А., Хомидхонов М.З., Маджидов С. ва б. «Автоматик бошқариш системасига оид атамаларининг 6 тилли (русча-инглизча, азарбайжонча, туркманча, қирғизча-ўзбекча лугати)», «Элм» нашр., Баку, 1978 й.
15. Эфендизодэ А.А. «Электрик интигалларынын автоматик идроэ едилмаси», Баку, 1964 й.
16. Мансуров Х. «Автоматика ва тўқимачилик ҳамда енгил саноат ишлаб чиқариш процессларини автоматлаштириш» (дарслик) «Ўқитувчи» нашр., 1987 й.
17. Мансуров Х. «Автоматика ва пахтани дастлабки ишлаш жараёнларини автоматлаштириш» (дарслик соҳа бакалаврлари учун) «Ўзбекистон нашр. 1996 й.
18. Мансуров Х. «Автоматика ва пахтани дастлабки ишлаш жараёнларини автоматлаштириш» (дарслик, коллежлар учун) «Ўзбекистон», нашр. 2002 й.
19. Мансуров Х. «Саноат қурилмаларини автоматлаштириш бўйича атамалар изоҳли лугати» (ўзбекча-инглизча-русча). «Ўзбекистон» нашр. 2002 й.
20. Якубов М.С., Жаббаров Н.Г., Амиров С.Ф. «Электротехниканинг назарий асослари ва электр ўлчашлар» (ўқув қўлланма) «Ўқитувчи» нашр. 2002 й.

21. Жаббаров Н.Г., Якубов М.С., «Электротехника ва электроника асосларидан масалалар тўплами», (Ўқув қўлланма). Инкомцентр, «Чулпон» нашриёти. 2005 й.
22. Amirov S.F., Yakubov M.S., Jabborov N.G'. «Elektr o'lashlar», Cho'lpon nomidagi nashr., 2004-у.
23. Каримов А.С. ва б. «Электротехника ва электроника асослари (дарслик). «Ўқитувчи» нашриёти, 1998 й.
24. Каримов А.С. «Электротехника ва электроника асослари» (дарслик). «Ўқитувчи» нашриёти. 2003 й.
25. Иброҳимов У. «Электр машиналари», (дарслик) «Ўқитувчи» нашр. 1972 й.
26. Герасимов В.Я. «Электротехника и основы электроники» (учебник) изд. «Энергия». 1985 г.
27. Попов В.С., Николаев С.А. «Общая электротехника с основами электроники» (учебное пособие), изд. «Энергия», 1976 г.
28. Ғозиева Р.Т., Воҳидов А.Х. ва б. ҳаммуалифликда «Автоматика асослари ва воситалари», ҳамда «Технологик жараёнларни автоматлаштириш» номли ўқув қўлланма.
29. Ғозиева Р.Т., Воҳидов А.Х. ва б. ҳаммуалифликда «Технологик жараёнларни автоматлаштириш» номли ўқув қўлланма.
30. Маджидов С., Ибодуллаев М.И., Бердиев У.Т., Тўхтамишев Б.Қ., Саттаров Х.А. «Электр машина ва электр юритмалардан лаборатория практикуми» (ўқув қўлланма). «Ўқитувчи» нашр. 2005 й.
31. Ражабов А., Муратов Х. «Электротехнология» (дарслик). «Фан» нашр. 2001 й.
32. Сағатов Т., Бейсакулов Т.Т., Усмонхўжаев Н.М. «Метрополитен электр таъминоти» (дарслик), 1, 2 ва 3 китоблар. Тошкент темир йўл транспорт институти нашриёти. 2002 й.

MUNDARIJA

Kirish	3
--------------	---

BIRINCHI QISM

Elektr mashinalar va transformatorlar

I bob. Elektr mashinalar to'g'risida umumiy tushunchalar

1.1. Elektr mashinalarining vazifasi va tasnifi	7
1.2. Elektr mashinalari va transformatorlarning ishlash prinsipi	8
1.3. Elektr mashinalari va transformatorlar taraqqiyotining qisqacha tarixi	11

II bob. O'zgarmas tok mashinalarining ishlash prinsipi va tuzilishi

2.1. O'zgarmas tok generatorining ishlash prinsipi	13
2.2. O'zgarmas tok mashinasining asosiy qismlari	15

III bob. Yakor chulg'amlari va ularda hosil bo'ladigan elektr yurituvchi kuch

3.1. Umumiy tushunchalar	18
3.2. Sirtmoqsimon oddiy chulg'am	20
3.3. To'lqinsimon oddiy chulg'am	24
3.4. Sirtmoqsimon va to'lqinsimon murakkab chulg'amlar	25
3.5. Aralash sxemali chulg'amlar	26
3.6. Yakor chulg'amining elektr yurituvchi kuchi	27

IV bob. O'zgarmas tok mashinasining magnit zanjiri, yakor reaksiyasi va kommutatsiyasi

4.1. Magnit zanjiri va uni hisoblash	29
4.2. Yakor reaksiyasi	31
4.3. O'zgarmas tok mashinasining kommutatsiyasi	33

V bob. O'zgarmas tok generatorlari

5.1. Umumiy tushunchalar	37
5.2. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatori va uning xarakteristikallari	40
5.3. Parallel qo'zg'atishli generator va uning xarakteristikallari	44

5.4. Ketma-ket qo'zg'atishli generator va uning xarakteristikallari	46
5.5. Aralash qo'zg'atishli generator va uning xarakteristikallari	47
5.6. Elektr mashina kuchaytirgichlari	48
5.7. Avtotraktor generatorlari va startyorlari	49

VI bob. O'zgaras tok motorlari

6.1. Umumiy tushunchalar	52
6.2. Elektr motor valiga ta'sir etuvchi momentlar va ularning muvozanat tenglamasi	54
6.3. Qarshilik va siltash momentlarini motor validagi chastotaga keltirish	57
6.4. O'zgaras tok motorlarining mexanik xarakteristikasi	59
6.5. O'zgaras tok motorlarini ishga tushirish	61
6.6. Elektr motorning tormoz rejimlari	63
6.7. Elektr motorlar chastotasini roslash	65
6.8. Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok motori	67
6.9. Parallel qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikalarini qurish	68
6.10. Parallel qo'zg'atishli motorni ishga tushirish rezistorini hisoblash	70
6.11. Parallel qo'zg'atishli motor tormoz rejimlarining mexanik xarakteristikallari ..	73
6.12. Parallel qo'zg'atishli motor chastotasini roslash usullari	77
6.13. Mexanik xarakteristikallarni qurishda nisbiy birliklardan foydalanish	81
6.14. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgaras tok motori	81
6.15. Ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasini roslash usullari	88
6.16. Aralash qo'zg'atishli o'zgaras tok motori	90

VII bob. Transformatorlar

7.1. Transformatorning tuzilishi, ishlash prinsipi va ishlatilishi	92
7.2. Transformator konstruksiyasining asosiy qismlari	95
7.3. Transformatorning salt ish rejimi	96
7.4. Transformatorning yuklama rejimi	98
7.5. Transformatorning qisqa tutashish rejimi	101
7.6. Transformatorning tashqi xarakteristikasi	102
7.7. Transformatorning foydali ish koeffitsiyenti	103
7.8. Uch fazali transformatorlar	104
7.9. Transformatorlarning parallel ishlashi	108
7.10. Maxsus transformatorlar	109
7.11. Kuchlanish mo''tadillashtirgichi (stabilizatori).	114
7.12. Magnit kuchaytirgich	116

VIII bob. O'zgaruvchan tok mashinalari

8.1. Umumiy tushunchalar	117
8.2. O'zgaruvchan tok mashinasining chulg'amlari	120

8.3. Sinxron generatori stator chulg'aming elektr yurituvchi kuchi	121
8.4. Statorning bir faza va bir qatlamli chulg'amlari	121
8.5. Statorning uch fazali chulg'ami	124
8.6. Statorning magnit maydoni	126
8.7. Yakor reaksiyasi	127
8.8. Sinxron generatorning vektor diagrammalari	129
8.9. Sinxron generatorlarning qo'zg'atish sxemalari	137
8.10. Sinxron generatorlarning parallel ishlashi	140
8.11. Sinxron generatorlarni parallel ishlashga ulash usullari	142

IX bob. Sinxron motorlar

9.1. Sinxron motorning ishlash prinsipi	148
9.2. Sinxron motorning mexanik va burchak xarakteristikalari	149
9.3. Sinxron motorni ishga tushirish	152
9.4. Kontaktsiz sinxron motorlar	154
9.5. Sinxron motorni tormozlab to'xtatish usullari	156
9.6. Sinxron motorning ish xarakteristikalari	156
9.7. Sinxron mashinaning foydali ish koeffitsiyenti	157
9.8. Sinxron reaktiv motori	158

X bob. Asinxron mashinalar

10.1. Umumiy tushunchalar	159
10.2. Uch fazali asinxron motor	160
10.3. Asinxron motordagi elektromagnit jarayonlar	163
10.4. Asinxron motorning vektor diagrammasi va ekvivalent sxemasi	166
10.5. Asinxron motorning energetik diagrammasi	168
10.6. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi	169
10.7. Asinxron motorni ishga tushirish	173
10.8. Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish	174
10.9. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni ishga tushirish	176
10.10. Asinxron motorning generator va elektromagnit tormoz rejimlari	180
10.11. Asinxron motorining ish xarakteristikalari	183
10.12. Asinxron motorning aylana diagrammasi	184
10.13. Asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash usullari	189
10.14. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarning maxsus tiplari	197
10.15. Paxta terish mashinasi shpindellarining yuritmasiga mo'ljallangan ko'p rotorli asinxron motor	199
10.16. Bir fazali asinxron motorlar	200
10.17. Bir fazali motorlarni ishga tushirish	202
10.18. Uch fazali asinxron motorni bir fazali elektr tarmog'iga ulab ishga tushirish	204

10.19. Ketma-ket qo'zg'atishli bir fazali va universal tipdagi kollektorli motorlar	205
10.20. Induktiv va faza rostagichlari.	208

XI bob. O'zgartirgichlar

11.1. Umumiy tushunchalar	211
11.2. Tok turi va chastota qiymatini o'zgartiruvchi elektr mashina o'zgartirgichlar	212
11.3. Yarim o'tkazgichli statik chastota o'zgartirgichlar	216
11.4. Tiristor va tiristorli chastota o'zgartirgich	219

XII bob. Elektr mashinaning nuqsonlari

12.1. Elektr mashinalar va transformatorlar o'ta qizishining asosiy sabablari	223
12.2. Elektr mashinalar dirillashining asosiy sabablari	224
12.3. O'zgarmas tok generatorlarining asosiy nuqsonlari	225
12.4. O'zgarmas tok motorlarining asosiy nuqsonlari	226
12.5. Transformatorning asosiy nuqsonlari	227
12.6. Sinxron mashinalarning asosiy nuqsonlari	229
12.7. Asinxron motorlarning asosiy nuqsonlari	230

IKKINCHI QISM

Elektr yuritma va uni avtomatik boshqarish

XIII bob. Elektr yuritma to'g'risida umumiy tushunchalar va uning rivojlanish tarixi

13.1. Elektr yuritma va uning ta'rifi	232
13.2. Elektr yuritmalarning klassifikatsiyasi	232
13.3. Elektr yuritma rivojlanishining qisqacha tarixi	235
13.4. Mamlakatimizda elektr yuritmaning taraqqiyoti	236
13.5. Qishloq xo'jalik mashinalari elektr yuritmalari taraqqiyotining asosiy yo'nalishlari	236

XIV bob. Elektr yuritmalarning o'tkinchi rejimlari

14.1. Umumiy tushunchalar	237
14.2. O'tkinchi jarayon vaqtini analitik usul bilan hisoblash	238
14.3. O'tkinchi jarayon vaqtini grafik usul bilan hisoblash	240
14.4. O'tkinchi jarayon vaqtini grafoanalitik usul bilan hisoblash	243
14.5. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining ishga tushirish jarayondagi o'tkinchi rejimi	243
14.6. Asinxron motorlarning o'tkinchi rejimlari	249

14.7. Elektr yuritmaning o'tkinchi jarayonlarini modellash usuli bilan aniqlash	251
---	-----

XV bob. Elektr yuritma sistemasini tanlash

15.1. Umumiy tushunchalar	257
15.2. Elektr yuritmaning ish rejimlari	259
15.3. Motorning uzoq muddatli o'zgarmas yuklama bilan ishlash rejimidagi qizish va sovish jarayonlari	260
15.4. Uzoq muddatli o'zgarmas yuklamada motor quvvatini aniqlash	264
15.5. Uzoq muddatli o'zgaruvchan yuklamada motor quvvatini aniqlash	270
15.6. Qisqa muddatli yuklamada motor quvvatini aniqlash	274
15.7. Takrorlanuvchi qisqa muddatli yuklamada motor quvvatini aniqlash	275
15.8. Tok turi, kuchlanish qiymati, aylanish chastotasi va tuzilish konstruksiyasiga binoan motor turini tanlash	277
15.9. Elektr motorlarining asosiy tiplari	280
15.10. Elektr motorlarining quvvat koeffitsiyentlari	281

XVI bob. Elektr yuritmaning avtomatik boshqarish apparatlari

16.1 Umumiy tushunchalar	285
16.2. Dastaki boshqarish apparatlari	285
16.3. Rele-kontaktorli boshqarish apparatlari	287
16.4. O'zgarmas tok kontaktorlari	288
16.5 O'zgaruvchan tok kontaktorlari	289
16.6. Magnitli ishga tushirgich	290
16.7. Boshqarish relelari	290
16.8. Vaqt relelari	291
16.9. Kuchlanish va tok relesi	294
16.10. Himoyalash apparatlari	294
16.11. Elektr yuritma hamda avtomatikada ishlatiladigan ba'zi datchik, qurilma va mantiqiy elementlar	297
16.12. Yo'lakay datchiklar (almashlab ulagichlar)	297
16.13. Chastota datchiklari	299
16.14. Qalqovichli relelar	301
16.15. Bosim relesi	301
16.16. Elektromagnitlar va elektromagnit muftalar	302
16.17. Selsinlar	303
16.18. Kontaktsiz datchik va mantiqiy elementlar	306

XVII bob. Elektr yuritmalarning avtomatik boshqarish sxemalari

17.1. Umumiy tushunchalar	314
17.2. Avtomatik boshqarish sxemalarining tuzilishi	315
17.3. Ochiq sistemali avtomatik boshqarish sxemalari	316

17.4. Elektr yuritmaning avtomatik boshqarish sxemalarida qo'llaniladigan blokirovka bog'lanishlari	319
17.5. Elektr yuritmani avtomatik ishga tushirish usullari	321
17.6. Elektr yuritmani avtomatik tormozlab to'xtatish usullari	325
17.7. O'zgaruvchan tok motorlarining boshqarish zanjiriga tok turini tanlash	326
17.8. Elektr yuritma bilan texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish usullari	327
17.9. Stanoklarning avtomatik liniyalari	330
17.10. Berk sistemali avtomatik boshqarish sxemalari	331
17.11. Teskari bog'lanish zanjirlari	332
17.12. Elektr mashina kuchaytirgichli generator motor elektr yuritma sistemi	335
17.13. Magnit kuchaytirgichli elektr yuritma sistemalari	338
17.14. Ion va yarim o'tkazgichli elektr yuritma sistemalari	340
17.15. Taqlidchi elektr yuritma sistemalari	345
17.16. Dastur bilan boshqariladigan elektr yuritmalar	347
17.17. Sirpanuvchi muftali elektr yuritma sistemalari	355
Ilovalar	357

S. Majidov.

Elektr mashinalari va elektr yuritma: Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma. T.: O'MKHTM, «Bilim» nashriyoti, 2005, — 368 bet.

22.21ya73

Sapi Majidov

ELEKTR MASHINALARI VA ELEKTR YURITMA

Kasb-hunar kollejlarining o'quvchilari uchun o'quv qo'llanma

«Bilim» — 2005

Muharrir *U. Husanov*

Rassom *J. Gurova*

Musahhihlar *M. Akromova, S. Abdullayeva*

Kompyuterda tayyorlovchi *Ye. Gilmutdinova*

IB 8134

Bosishga ruxsat etildi 12.04.05-y. Bichimi 60×90¹/₁₆. Ofset qog'ozi.

Kegli 10 shponli. Tayms garniturasi. Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli b.t. 23,0. Nashr b.t. 23,5. 1000 nusxada bosildi. Buyurtma № 54.

«ARNAPRINT» MCHJ bosmaxonasida sahifalandi va chop etildi.

Toshkent sh., H. Boyqaro ko'chasi, 51.

