

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

Y. SHOYIMOV

# ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA ASOSLARI

*Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma*

«MAJBURIY NUSXA»

TOSHKENT  
«VORIS NASHRIYOT»  
2012

УДК: 621.3(075)

КБК 31.2

32.85ya723

Sh74

*Электротехника*  
*Электроника*

**O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi  
markazi ilmiy-metodik kengashi tomonidan nashrga tavsiya etilgan**

**Taqrizchilar:**

Elektrotexnika va elektr yuritma kafedrası dotsenti *M.A. Tojiyev*,  
Qishloq va suv xo'jaligi vazirligi o'quv yurtlari va malaka oshirish bo'limi  
boshlig'i, t.f.n. dotsent *Sh. Joniqulov*

**Shoyimov, Y.**

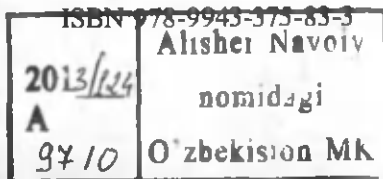
Elektrotexnika va elektronika asoslari. Kasb-hunar kollejlari uchun  
o'quv qo'llanma /Y. Shoyimov. O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta  
maxsus ta'lim vazirligi. – T.: «Niso Poligraf»; «Voris nashriyot». – 160 b.

УДК 621.3(075)

КБК 31.2

32.85ya723

MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI  
10 41748  
291



© «Niso Poligraf», 2012.  
© «Voris nashriyot», 2012.

## KIRISH

### O'zbekistonda elektrotexnikaning rivojlanishiga doir tarixiy ma'lumotlar

U yoki bu mamlakatning ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishi hamda taraqqiyotini qiyosiy baholashda 1913-yil ko'rsatkichlarini sarhisob nuqtasi sifatida qabul qilish sho'rolar davrida odat turiga kirgan. Buning boisi, 1913-yil umumdunyoviy rivojlanishda I jahon urushidan avval eng yuqori ko'rsatkichlar yili bo'lganligini eslash joiz.

1913-yilda sobiq Turkistonning O'zbekiston hududiga tegishli qismidagi barcha elektr stansiyalarining quvvati XX asr boshlarida 3000 kVt bo'lib, jami 3,3 mln. kVt·soat elektr energiya ishlab chiqarilgan, bu esa aholi jon boshiga yiliga 1 kVt·soatdan to'g'ri kelardi.

Toshkent shahrida dastlabki elektr stansiya 1910-yilda qurilgan (quvvati 125 kVt). 1911–1912-yillarda Toshkent tramvaylari uchun Belgiya hissadorlik jamiyati tomonidan qurib ishga tushirilgan issiqlik elektr stansiya, har biri 290 kVt quvvatli beshta o'zgarmas tok generatoridan tarkib topgan edi. Bu generatorlarni dizel agregatlari harakatga keltirardi: jami quvvat 1450 kVt (2159 ot kuchi), kuchlanishi  $U=600$  V.

20-yillarda O'zbekiston shaharlarida bir necha dizel issiqlik elektr stansiyalar (IES) ishga tushirildi: Buxoroda (490 kVt), Samarqandda (360 kVt), Qo'qonda (395 kVt), Marg'ilonida (75 kVt), Termizda (89 kVt), Qarshi, Vobkent, Xovos va b.

1928-yilning 1-mayida Toshkentda Bo'zsuv GESning (loyiha quvvati 4000 kVt) birinchi navbati (2000 kVt, har biri 1000 kVt dan 2 ta agregat), 1929-yilda uchinchi agregat va 1936-yilning aprelida to'rtinchi agregat ishga tushirildi (hozir bu stansiya binosi O'zbekiston energetiklari muzeyi). 1924–1928-yillarda O'zbekiston Respublikasi elektr-energetika xo'jaligi quvvati 2400 kVt dan 12600 kVt gacha ko'paydi. Jami elektr energiya hosil qilish 10 martaga oshdi.

Toshselmash zavodining qurilishi esa kuchli energetik baza yaratishni taqozo etdi. Toshkentda dizel elektr stansiya ishga tushirildi. Respublikamizning bir qator sanoat korxonalarida, Kattaqo'rg'on yog'-moy zavodi, Andijon neft tarmoqlari va hoshqalarda yangi elektr stansiyalar qurilib, ba'zi eskilari esa qayta jihozlandi. Natijada 1937-yilga kelib fabrika-zavod elektr stansiyalarining quvvati 25,4 ming kVt ga yetdi.

1937-1340-yillarda elektr energiya ishlab chiqarish tez o'sib bordi. Chirchiq IES (12000 kVt), Quvasoy rayon IES (12000 kVt) ishga tushirildi. Oq-tepa va Darg'om GES lari qurilishi boshlandi. Sanoat korxonalarida elektr motorlarni ishlatish ko'amlari kengaydi.

Shu davrlarda elektr ta'minotini markazlashtirish darajasi ham keskin ko'paydi. Agar 1925-yilda markazlashgan elektr ta'minoti umum talabning 12,2% ini tashkil etgan bo'lsa, 1937-yilda 72% ga yetdi. Umum energetik balansda elektr energiyasining solishtirma ko'rsatkichi elektrlashtirish koeffitsiyenti 1925-1926-yillardagi 22,5 foizdan 1940-yilda 81,6 foizga yetdi. Elektr jihozlanganlik koeffitsiyenti 1940-yilda 3,31 marta ko'paydi.

Elektr stansiyalarda o'rnatilgan generatorlar quvvati 170,1 dan 303,1 mVt ga yetdi. Respublika energetik bazasining mustahkamlanishi sanoat tuzilmasini batamom qayta qurib, qator yangi sohalarni rivojlantirishga asosiy turtki bo'ldi. Og'ir sanoat keskin rivoj topdi. 1944-yilda esa Bekobod elektr metallurgiya zavodi po'lat quymalarini tuhfa etdi.

Natijada jami ishlab chiqarishda og'ir sanoat ulushi 1940-yildagi 13,3 foizdan 1945-yilda 47,3 foizga ko'paydi.

Chirchiq - Bo'zsuv GES lari qurilishi natijasida energiya ishlab chiqarish ko'payishi bilan bu gidrotexnik inshootlar qo'shimcha 70000 gektar qo'riq yerni o'zlashtirish imkonini berdi.

Farhod GES va Qayroqqum suv ombori qurilishlari 300000 gektar yerga obi hayot baxsh etdi. 1955-yilda 1950-yilga nisbatan elektr energiya ishlab chiqarish 3,88 mlrd. kVt/s ga yetdi. 1951-yil esa O'zbekiston olimlari uchun ulkan zafarlar yili bo'ldi. Sobiq Ittifoqda eng birinchi to'liq avtomatlashtirilgan va telemexanizatsiyalashgan elektr stansiyalar majmui sifatida o'zbek energetizimli GES lari ro'yxatga olindi.

O'zbekistonda bu davr asosan issiqlik elektr stansiyalarni loyihalash, qurish va ishga tushirish bo'ldi. 1958-yilda Angren GRES ning birinchi (umumiy loyiha quvvati 600000 kVt) bloki ishga tushirildi. Toshkent energetizimida bu stansiya boshqa GES lar bilan elektr energiya iste'molchi grafagini barcha rejimlarda tartibga tushirish va eng samarali rostdash imkoniyatini yaratdi.

1960-yilda Navoiy GRES (loyiha quvvati 840 MVt) qurilishi, 1961-yilda esa Toshkent GRES (loyiha quvvati 1800 MVt) qurilishi boshlandi.

1963-yilda Toshkent GRES da birinchi energetik blok (150 MVt) ishga tushirildi. Taxiatoshdagi yangi 2 ta energoblok (quvvati 100 MVt dan) ishlatildi. Bu stansiya Xorazm hamda Qoraqalpog'iston elektr ta'minotida va iqtisodiyotida muhim o'rin tutadi. Olmaliq va Farg'ona issiqlik energetik markaz (IEM) lari kengaytirildi.

Chorbog' GES qurilishining ahamiyatini, ayniqsa, o'z vaqtida qilingan ishlar qatorida munosib baholash joiz. Suv ombori deyarli 2 mlrd m<sup>3</sup> bo'lib, 300000 gektar yerni doimiy sug'orish imkonini yaratdi.

GES quvvati 600 MVt (har biri 150 MVt dan 4 ta gidrogeneratorlar). Qurilishlar nafaqat elektr ta'minot hamda irrigatsiya masalalarini, balki kompleks hal etishga qaratilganligini ham alohida ta'kidlash kerak. Chorbog' GES qurilishi, umuman Chirchiq – Bo'zsuv tizimidagi barcha GES lar, ish vaqti samarasini oshirish va qo'shimcha 160 MVt arzon elektr quvvati olish imkonini yaratdi.

**Gidroenergetika.** O'zbekiston energetika tizimida, ya'ni jami 27 ta GESlarda o'rnatilgan quvvatlar 1420 MVtni tashkil etadi. 2002-yili ularda 6331, 2 mlrd. kVt·s elektr energiyasi ishlab chiqarildi.

*1-jadval*

**Respublikada eng yirik gidroelektr stansiyalar**

Nomi	O'rnatilgan quvvatlar, MVt	Turbinalar soni	Qurilgan yillari	Suv manbai
Chorvoq GES	620,5	4	1970–1972	Chirchiq
Xo'jakent GES	165	3	1976	Chirchiq
G'azalkent GES	120	3	1980–1981	Chirchiq
Farhod GES	126	4	1948–1949	Sirdaryo

Transformator podstansiyalarida jami o'rnatilgan quvvat esa 45 mln. kVtga yetdi.

**Issiqlik energetikasi.** 60-yillarda respublikada elektr energiyasi hosil qilishni ko'paytirish, asosan gazda ishlaydigan yirik IESlarni ishga tushirish yo'nalishida olib borildi. Yirik GES va IESlar qurilishi natijasida O'zbekiston energetika tizimining jami quvvati 2002-yilda 11,3 ming MVt ga yetdi (1 va 2-jadvallar).

## Respublikada eng yirik issiqlik elektr stansiyalar

Nomi	O'rnatilgan quvvatlar, MVt	Turbo-agregatlar soni	Qurilgan yillari	Joylashgan shahar	Izoh
Sirdaryo GRES	3000	10	1972–1981	Shirin	
Yangi Angren GRES	1800	6	1985–qurilish davom etmoqda	Nurobod	Loyiha quvvati 2400 MVt
Toshkent GRES	1860	12	1963–1971	Toshkent	
Navoiy	1250	11	1963–1981	Navoiy	
Angren GRES	484	8	1957–1963	Angren	
Taxiatosh GRES	730	5	1961–1990	Taxiatosh	
Talimarjon GRES	–	–	qurilish 1984-yilda boshlangan	Nuriston	Loyiha quvvati 3200 MVt

O'zbekiston elektr energetika tizimi yiliga 47–48 mlrd. kVt·soat elektr energiya ishlab chiqarmoqda, shundan 90 foizi issiqlik elektr stansiyalarning hisobiga bo'lmoqda. Bu aholi jon boshiga deyarli 2000 kVt·soat to'g'ri keladi, demakdir.

Hozirgi vaqtda O'zbekiston energotizimi Markaziy Osiyo Birlashgan energotizimining tarkibiy qismi bo'lib qolmoqda. Unda deyarli 50 foiz elektr quvvatlari mujassamlangan.

Bozor iqtisodiga o'tish davrida O'zbekiston elektr energetika tizimida uchrayotgan energoresurslarning yetishmayotganligi, tizim ishlarini avtomatlash, yangi energiya manbalarini topish, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini yaratish, ular samaradorligini oshirish energetiklar oldida turgan muhim masalalardan bo'lib, ularni bosqichma-bosqich hal etish mamlakatni 2010-yilgacha rivojlantirish va rekonstruksiya qilish energetik Dasturida o'z aksini topgan. Bu programma asosini yonilg'i energoresurslardan samarali foydalanish, yangi zamonaviy texnologiyalarni sohada tatbiq etish, dolzarb ekologik muammolarni hal qilish, bozor iqtisodiyoti talablari asosida tashkiliy-boshqaruv tizimini yangilash va b. tashkil etadi. Yangi tashkil etilgan (2001-yil) Davlat aksionerlik «Uzbekenergo» kompaniyasi aniq maqsadlar yo'lida tadbirlar ishlab chiqib, amaliyotga tatbiq etmoqda.

Hozir Yevropa rekonstruksiya, tiklanish va taraqqiyot banki kredit mablag'lari hisobiga «Siemens» (Germaniya) firmasi Sirdaryo IESda ikkita energoblokni qayta tiklash ishlarining birinchi bosqichini amalga oshirdi.

Ikkinchi bosqich ishlarini AQSHning Savdo va taraqqiyot agentligi granti hisobiga Sirdaryo IESda 5 va 6-energobloklarni qayta tiklash loyihasi ishlab chiqilmoqda.

Yaponiya hukumatining imtiyozli krediti hisobidan eng zamonaviy par-gazli energoblokni Toshkent IESda o'rnatish ishlari olib borilmoqda. Buni Yaponiyaning xalqaro hamkorlik agentligi amalga oshirmoqda. Chet el investitsiyalarini Navoiy IES, Muborak va Toshkent IEMlarda, shuningdek, Toshkent shahri elektr energiya uzatish tarmoqlarini yangilash va qayta tiklashga jalb etish masalalari hal etilmoqda.

Osiyo taraqqiyot banki va Bank moliya institutlarining mablag'larini esa mintaqamizda elektr tarmoq obyektlarini dispetcherlik va texnologik avtomatlashgan boshqaruvini hamda elektr energiya uchun hisob-kitobni takomillashtirishga yo'naltirish mo'ljallanmoqda.

Talimarjon IESda Markaziy Osiyoda birinchi bo'lib quvvati 800 MVtli energoblokni montaj qilish ishlari tugallanyapti. Samarqand viloyatida 500 kVli «So'g'diyona» podstansiyasi qurilishi boshlandi. Umuman, mamlakatimizda elektr tarmoqlarini yangilash va yanada rivojlantirishga, magistral va taqsimlash tarmoqlarini optimal shakllantirish va natijada elektr uzatish samaradorligini oshirish kompleks texnik va texnologik yechimlarini joriy etishga ahamiyat kuchaytirilyapti.

Respublikamiz suv xo'jaligi obyektlarining ulkan imkoniyatlaridan samaraliroq foydalanish maqsadida yurtimizda kichik gidroenergetikani rivojlantirish Dasturi ishlab chiqildi. Jumladan, qurilayotgan To'palang GESida (Surxondaryo viloyati) ikkinchi blokni (quvvati 72 MVt) o'rnatish jadal olib borilmoqda. Yaqin kelajakda jami 440 MVt quvvatli qator kichik GESlar qurilishi loyihalashtirildi. Natijada qo'shimcha 1,3 mlrd. kVt·soat arzon elektr energiya iste'molchilarga yetkazildi.

### **O'zbekistonda elektrotexnikaning rivojlanishiga hissa qo'shgan olimlar to'g'risida**

O'zbekistonda energetika fanlari rivojlanishi XX asrning 30-yillariga to'g'ri keladi. Dastavval kichik bir olimlar guruhi sanoat xo'jaligi bilan hamkorlikda energetika muammolarini hal qilish ustida ishlar olib borishdi.

Urush yillari Moskva, Leningrad, Kiyevdan Toshkentga ko'chirib keltirilgan mashhur olimlar M. Kostenko, M. Shatelen, L. Neyman, N. Shchedrin va b. bilan bir qatorda, O'zFA akademiklari A. Askochenskiy, V. Poslavskiy, R. Alimov, institut direktori O. Saidxo'jayevlar samarali tadqiqot olib bordilar.

Chirchiq, Bo'zsu, Sirdaryo, Norin, Amudaryo suvidan energetika va sug'orishda kompleks foydalanish masalalarini tadqiq qilishdi. O'sha davrda M. Kostenko va yosh olim H. Fozilov o'tkazgan ilmiy izlanishlar mavjud GESlardan olinadigan quvvatni 20%ga oshirish mumkinligini ko'rsatdi.

Akademik H. Fozilov (1909–2003-yy.) rahbarligida (T. Nosirov, Q. Al-layev, S. Solihov va b.) berilgan elektr tizimlarni optimal rejimlarini hisoblash sohasidagi ishlar katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etdi.

Akademik G'. Rahimov (1905–1972-yy.) Markaziy Osiyoda birinchi bo'lib «Elektrotexnikaning nazariy asoslari» kafedrasini (1934-y.) tashkil etdi. Bu olim elektrotexnika fanini rivojlantirish sohasida maktab yaratdi. Bu maktab ko'plab fan doktorlari (A. Karimov, P. Hasanov, Z. Ismoilov, T. Qodirov, M. Ibodullayev va b.) va nomzodlarini tayyorladi.

Zamonaviy eksperimental baza yaratish va yuqori malakali kadrlar tayyorlashda N. Shchedrin, H. Fozilov, M. Homidxonov va Z. Solihov-larning xizmatlari katta bo'ldi.

Elektroenergetika sohasini axborot va boshqarish tizimisiz tasavvur qilish mumkin emas. EHM yordamida energetika tizimlari rejimlarini operativ boshqarish bo'yicha ma'lumotlarni ishlab chiqish tizimining matematik modelini akademik J. Abdullayev, elektr tarmoqlari optimal rejimini boshqarishni professor E. Payziyev taklif etdi. Axborot va o'lchash texnikasiga doir mutlaqo yangi prinsipdagi birlamchi o'zgartkichlarni prof. M. Zaripov, Sh. Zohidov va b. ishlab chiqdilar.

Elektr energiyasidan samarali foydalanish yo'nalishida akademik M. Homidxonov va uning shogirdlari (N. Usmonxo'jayev, A. Hoshimov, S. Usmonov, M. Xusanov, A. Dadajanov va b.) hamda A. Dzevenskiy olib borgan ishlar ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston elektroenergetikasini rivojlantirishda O'zbekiston energetika va elektrlashtirish vazirligi va uning sobiq vaziri A. Hamidov xizmatlarini alohida qayd etish joiz.



Noan'anaviy energoresurslardan, xususan, quyosh energiyasidan samarali foydalanish yo'nalishida akademiklar G'. Umarov, R. Zohidov, P. Habibullayev, T. Risqiyev va boshqalarning izlanishlarini hamda ular rahbarligida yaratilgan jihoz va qurilmalarni ko'rsatish mumkin.

Sanoat, transport, qurilish, qishloq va suv xo'jaligi ishlab chiqarish jarayonlarida elektr energiyasidan samarali foydalanish yo'nalishida professorlar A. Radjabov, M. Mamedshaxov, N. Bozorov, A. Muxammadiyev, T. Kamolov, X. Karimov, M. Ismoilov, S. Amirov, H. Murodov tadqiqotlarini qayd etish mumkin.

«Kadrlar tayyorlash milliy dasturi»da belgilangan vazifalarni amalga oshirish o'zbek tilida «Elektrotexnika va elektronika asoslari» bo'yicha yangi o'quv qo'llanmalarni nashr etishni taqozo etmoqda. Bu sohada professorlar A. Karimov, S. Majidov, X. Mansurov, U. Ibraximov va boshqalar mehnatini alohida ta'kidlash zarur.

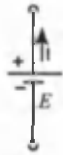
## I BOB

### O'ZGARMAS TOK ZANJIRLARI

#### 1.1. Chiziqli o'zgarmas tok zanjirlari va uning elementlari

O'zgarmas tok manbalari, iste'molchilari va ularni simlar bilan o'zaro ulashdan hosil qilingan berk kontur *o'zgarmas tok zanjiri* deyiladi. Elektr zanjiri elementlariga tok o'zgartgichlari, kommutatsiya apparatlari va o'lchash asboblari kiradi. 1.1-rasm, *a* da tok manbalari, *b* da iste'molchilar, *d* da kommutatsiya apparatlarining shartli belgilari va 2-rasmda elektr zanjirning sxemasi ko'rsatilgan.

a)



galvanik element yoki  
razryadlanuvchi akkumulyator



o'zgarmas tok  
generatori



termopara



quyosh elementi

b)



zaryadlanuvchi  
akkumulyator



o'zgarmas  
tok motori



elektr qo'ra  
(pechka)



elektr  
lampa



rezistiv  
element

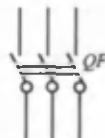
d)



bir qutbli ulab-uzgich



almashlab ulagich



uch fazali ulab-uzgich

1.1-rasm. Elektr zanjiri elementlari:

a) tok manbalari, b) iste'molchilar, d) kommutatsiya apparatlari.

Elektr zanjiri elementlaridagi kuchlanishning tegishli tokka bo'lgan bog'lanishi  $U=f(I)$  ni *volt – amper xarakteristikasi* (VAX) deb ataladi.

Iste'molchi qarshiligi  $R$  va tok  $I$  manbaining ichki qarshiligi  $R_u$  qiymatlari kuchlanishga bog'liq bo'lmagan zanjir elementlari va bunday elementlardan iborat zanjirni *chiziqli zanjir* deyiladi. Chiziqli elementlardagi kuchlanish  $U$  ning tok  $I$  ga bog'lanishi Om qonuni  $U=I \cdot R$  asosida topiladi, bunda  $R$ – yuklama qarshiligidir.

Har qanday elektr zanjirning tavsifi energiya manbaining elektr yurituvchi kuchi  $E$ , tok  $I$ , kuchlanish  $U$  va iste'molchi qarshiligi  $R$  bilan aniqlanadi. Xususan, 1.2-rasmda ko'rsatilgan zanjir uchun Om va Kirxgof qonunlari asosida quyidagi tenglamani tuzish mumkin:

$$E = I(R_u + R_{AB}) = I \cdot R_u + U_{AB} \quad (1)$$

bunda:  $I \cdot R_u$  – manbadagi kuchlanish tushuvi;  $U_{AB} = I \cdot R_{AB}$  – iste'molchidagi kuchlanish;  $R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$  – iste'molchi qarshiligi;

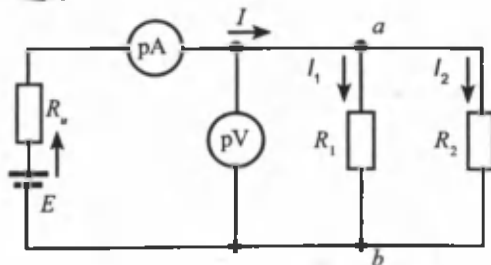
(1) tenglamadan Om qonunining butun zanjir va uning bir bo'lagi uchun quyidagi formulalarini yozamiz:

$$I = \frac{E}{R_u + R_{AB}} \quad (2)$$

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} \quad (3)$$

Odatda, elektr manbalarining ichki qarshiligi qiymati juda kichik bo'lganligi uchun  $R_u = 0$  va shu boisdan  $U = E$  deb qabul qilinadi hamda sxema qismlarida kuchlanish ko'rsatiladi.

Elektr zanjirlarini tahlil etish va hisoblash uchun asosiy qonun sifatida Kirxgofning 1 va 2-qonunlaridan foydalaniladi. 1-qonunga binoan, 3 yoki ko'proq tarmoqlarning ulangan tugunidagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng, ya'ni  $\sum_{i=1}^n I = 0$ .



1.2-rasm. O'zgarmas tok zanjirining elektr sxemasi.

Tugunga yo'nalgan toklarni musbat, tugundan yo'nalganlarni manfiy deb, 1.2-rasm uchun quyidagi tenglamalarni tuzish mumkin:

$$I - I_1 - I_2 = 0 \text{ yoki } I = I_1 + I_2$$

Kirxgofning 2-qonuniga binoan, manba kuchlanishi berk kontur elementlaridagi kuchlanish tushuvlarining algebraik yig'indisiga teng,

$$\text{ya'ni } U = \sum_{k=1}^m I_k R_k.$$

Bunda  $U$  yo'nalishi konturdagi tok yo'nalishida bo'lsa, ular musbat, aks holda manfiy ishora bilan olinadi. Agar iste'molchilarning qarshiliklarida elektr energiyasi yorug'lik, issiqlik yoki mexanik energiyaga aylansa, ularni *rezistiv elementlar* deyiladi. Ketma-ket ulangan rezistiv elementlarning ekvivalent  $R_{ek}$  qarshiligi:

$$R_{ek} = \sum_1^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

parallel ulanganda esa,

$$\frac{1}{R_{ek}} = \sum_1^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

yoki

$$g_{ek} = \sum_1^n g_i = g_1 + g_2 + \dots + g_n \quad \text{bo'ladi.}$$

Bunda:  $g_{ek} = \frac{1}{R_{ek}}$  – ekvivalent o'tkazuvchanlik bo'lib, uning tashkil etuvchilari:

$$g_1 = \frac{1}{R_1}; \quad g_2 = \frac{1}{R_2} \quad \text{– va h.k. elementlar o'tkazuvchanliklari.}$$

O'zgarmas tok zanjiridagi quvvat  $R$  quyidagicha aniqlanadi:

$$P = U \cdot I = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

1.2-rasmda keltirilgan sxema uchun quvvatlarning muvozanat tenglamasi:

$$E = P R_{ur} + P R_{AB} \quad \text{bo'ladi.}$$

Bunda:  $E$  – elektr manbaining quvvati;

$P R_{AB}$  – iste'molchilar quvvati;

$P R_{ur}$  – elektr manbaidagi quvvat isrofi.

Elektr zanjiri – elektr toki uchun yo'l hosil qiluvchi obyekt va qurilmalarning majmui bo'lib, undagi elektromagnit jarayonlar elektr yurituvchi kuch (EYuK), tok va kuchlanish tushunchalari bilan ifodalanadi.

Elektr zanjiri tushunchasi elektrotexnika fanining asosiy tayanch tushunchasidir.

Elektr zanjir holatini elektr toki va kuchlanish ifodalaydi. Elektr zanjirlarining grafik tasviri *elektr sxema* deb ataladi.

1.3-rasmda oddiy elektr zanjirining sxemasi keltirilgan.

$V$  – akkumulator, elektr energiya manbai. U kimyoviy energiyani elektr energiyaga aylantiradi;

$EL$  – cho‘g‘lanish lampasi, iste‘molchi elektr energiyasini yorug‘lik energiyasiga aylantiradi;

$Q$  – kalit, zanjirni ulab uzadi;

$pA$  – ampermetr, tok kuchini o‘lchaydi, to‘g‘ri chiziqlar – ulagich simlar o‘tkazgichlardir.

Manba bilan iste‘molchilar o‘zaro o‘tkazgich simlar yordamida birlashtiriladi. Ular elektr energiyasini manbadan iste‘molchiga kam isrof bilan uzatadi. Elektr zanjirlariga ko‘pincha yordamchi va o‘lchash qurilmalari ulanadi. Yordamchi elementlar elektr zanjiri ish holatini boshqarish uchun xizmat qiladi: o‘ta kuchlanish va katta toklardan saqlash va h.k.

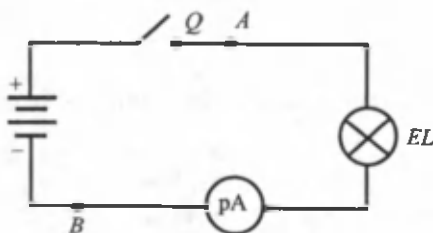
Elektr zanjirdagi elektr magnit jarayonlarni EYuK, tok, kuchlanish, qarshilik (o‘tkazuvchanlik), induktivlik, sig‘im tushunchalari bilan ifodalanadi.

**O‘zgarmas tok** – bu yo‘nalishi va qiymati vaqt bo‘yicha o‘zgar-maydigan tokdir. Demak, **o‘zgarmas tok** bu zaryadlangan zarrachalar-ning tartibli bir yo‘nalishdagi harakatidir.

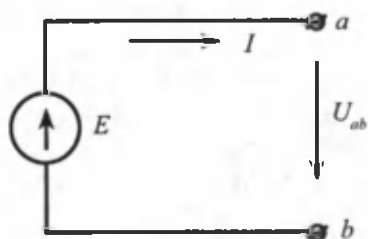
Elektr energiya manbai – EYuK ni qiymati, yo‘nalishi va ichki qarshiligining miqdori bilan tavsiflanadi.

Rezistordan o‘tayotgan tok bilan shu rezistorda hosil bo‘lgan kuch-lanish orasidagi bog‘lanish elementning volt-amper tavsifi (VAT) deb ataladi.

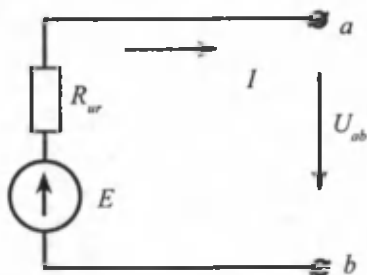
Chiziqli aktiv element elektromagnit energiyasi manbai bo‘lib, shartli ikki xilga bo‘linadi: ideal va real.



1.3-rasm. Eng oddiy elektr zanjir sxemasi.



1.4-rasm. Ideal E.Yu.K. manbai.



1.5-rasm. Real E.Yu.K. manbai.

Ideal EYuK manbaida  $E = U_{ab}$ . Bunday manba qismlaridagi kuchlanish  $U_{ab}$  tok miqdori  $I$  ga bog'liq bo'lmaydi. Ideal EYuK manbai uchun manbaning ichki qarshiligi  $R_{ich} = 0$ . (1.4-rasm).

Real (haqiqiy) EYuK manbai EYuK manbaining ichki qarshiligi nolga teng bo'lmasa, bunday EYuK manbai haqiqiy EYuK manbai bo'ladi. Unda Om qonuniga asosan  $U_{ab} = E - IR_{ur}$ . (1.5-rasm).

Tok manbaining tok kuchi uning qismlaridagi  $U_{ab}$  kuchlanishga bog'liq bo'lmasa, bunday manba *ideal tok manbaidir*.

Ikki tugun oralig'iga ketma-ket ulangan elementlardan iborat bir xil tok o'tadigan zanjirning qismi *shoxobcha* deb ataladi.

Kamida uchta shoxobcha birlashgan nuqta esa, *elektr zanjirining tuguni* deyiladi.

Elektr zanjirlarini tahlil etishda yana bir tushuncha – kontur ishlatiladi.

Kontur – elektr zanjirining bir nechta shoxobchalaridan o'tuvchi berk yo'l.

### Om qonuni va uning turli shakllari

**Elektr zanjirining ayrim qismi uchun Om qonuni.** Agar zanjirning qismida EYuK manbai bo'lmasa, unda tok bilan kuchlanish orasidagi bog'liqlik Om qonuni bilan aniqlanadi.

$$I = \frac{U_{AB}}{R} = \frac{j_A - j_B}{R}. \text{ Umumiy holda } I = \frac{j_A - j_B}{\Sigma R_{AB}}$$

Bir konturli berk zanjir uchun Om qonuni quyidagicha yoziladi:

$$I = \Sigma E / \Sigma R.$$

Bunda:  $\Sigma R$  – ichki va tashqi qarshiliklarning zanjir bo'yicha arifmetik yig'indisi,  $\Sigma E$  – zanjirda ta'sir etuvchi EYuK larning algebraik yig'indisi. Agar tok yo'nalishi EYuK yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, unda EYuK  $E$  musbat, har xil yo'nalishda bo'lsa, manfiy ishora bilan olinadi.

## Quvvatlar muvozanati (balansi)

Rezistordan tok o'tganida unda issiqlik energiyasi ajralib chiqadi. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan zanjir qarshiligida vaqt birligida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori shu vaqt ichida manbadan kelayotgan energiyaga teng bo'lishi kerak.

Agar EYuK manbaidan kelayotgan tok yo'nalishi EYuK yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, unda manba vaqt birligi ichida zanjirga energiya (yoki quvvat)  $R = E \cdot I$  yetkazib beradi va bu holda  $E \cdot I$  tenglamaga musbat ishora bilan kiradi. Agar tok yo'nalishi EYuK yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lsa, u holda EYuK manbai zanjirga energiya bermaydi, aksincha energiyani qabul qiladi, ya'ni iste'molchi vazifasini bajaradi. Misol tariqasida akkumulator zaryadlanishini keltirish mumkin. Bu holda  $E \cdot I$  quvvatlar muvozanati tenglamasiga manfiy ishora bilan kiradi.

Demak, energetik muvozanat tenglamasi zanjir ta'minoti EYuK manbalari orqali bajarilganda quyidagicha ifodalanadi:

$$\sum_{i=1}^n I_i^2 R_i = \sum_{K=1}^m E_K I_K$$

## Kirxgof qonunlari

Har qanday elektr zanjirdagi jarayonlar Kirxgofning I va II qonunlari bilan ifodalanadi.

**I qonun.** Har qanday elektr zanjirining tugunida toklarning algebraik yig'indisi nolga teng, ya'ni:

$$\sum_{k=1}^m I_k = 0,$$

yoki har qanday elektr zanjirning tugunida tugunga kelayotgan toklar shu tugundan chiqayotgan toklarning arifmetik yig'indisiga tengdir.

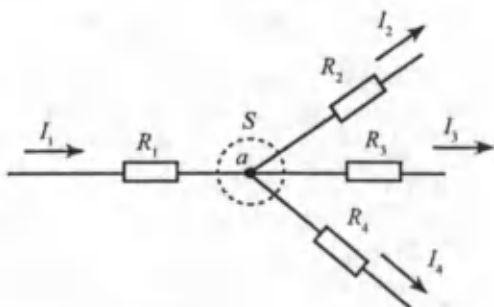
1.6-rasmda elektr zanjirining  $a$  tuguni ko'rsatilgan. Agar tugun  $a$  ga kirayotgan toklarni musbat ishora bilan olsak, tugundan chiqayotgan toklar ishorasi manfiy bo'ladi (yoki aksincha).

Kirxgofning I qonuniga asosan:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$

yoki 2-ta'rifga asosan:

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4.$$



1.6-rasm. Elektr zanjirining shaxobchalanishi.

## II qonun:

1) har qanday elektr zanjirining konturida kuchlanishlar tushuvining algebraik yig'indisi, shu konturda ta'sir etuvchi EYuK larning algebraik yig'indisiga teng, ya'ni:

$$\sum_{k=1}^m E_k = \sum_{k=1}^n I_k \cdot R_k.$$

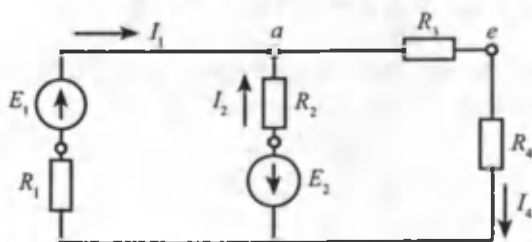
Agar konturni aylanib chiqish yo'nalishi bilan tok yo'nalishi bir xil bo'lsa, har bir yig'indiga tegishli tashkil etuvchilar «musbat» ishora bilan olinadi. Aks holda esa, manfiy ishora bo'ladi;

2) har qanday zanjirning konturi uchun shu kontur bo'yicha kuchlanishlarning algebraik yig'indisi nolga teng:

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0$$

Misol: 1.7-rasmda *abc* konturi uchun:

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0.$$



1.7-rasm. Elektr zanjiri.



Kirxgof qonunlarini chiziqli va nochiziqli zanjirlarni hisoblash uchun qo'llash mumkin.

Agar chiziqli elektr zanjirida tok manbalari ulangan bo'lsa, tugunlardagi potentsiallar yoki shoxobchalardagi kuchlanishlar har bir tok manbai toklarini chiziqli funksiyasi bo'ladi. Ular matematik ko'rinishda quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\varphi_k(U_k) = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^{q-1} I_i \Delta_{ik}$$

Bu formulaning fizik ma'nosi: chiziqli elektr zanjirda har bir tugunning potentsiali shu tugunda har bir tok manbaining alohida (ta'siridan hosil bo'lgan) potentsiallarning algebraik yig'indisiga tengdir. Ustmalash usuliga binoan har bir qisman tugun potentsialini aniqlashda fikran bitta tok manbaini qoldirib, qolganlari sxemadan chiqariladi, ularning o'rniga esa, manbalarning ichki o'tkazuvchanliklari ulangan deb qaraladi.

## 1.2. Murakkab o'zgarmas tok elektr zanjirlarini hisoblash usullari

Umumiy holda elektr zanjirlarini hisoblash Kirxgofning I va II qonunlaridan foydalanib tuzilgan tenglamalar tizimini birgalikda yechishga asoslanadi. Faraz qilaylik, elektr sxemada  $r$  ta shoxobcha va  $q$  ta tugun bo'lsin; shoxobchalardagi toklarni aniqlash kerak. Demak, noma'lum toklar soni shoxobchalar soniga tengdir.

Kirxgofning I qonuniga asoslanib,  $y = q - 1$  o'zaro bog'liq bo'lmagan tenglamalarni yozamiz: so'nggi, ya'ni  $q$  tuguniga tegishli tenglama oldingi  $q - 1$  tenglamalarga bog'liq bo'lib qoladi. Kirxgofning I qonuniga asoslanib tuziladigan o'zaro bog'lanmagan tenglamalar zanjirning o'zaro bog'lanmagan tugunlari deb ataladi.

Kirxgofning II qonuniga asoslanib, o'zaro bog'lanmagan konturlar tenglamasi miqdorini aniqlaymiz:

$$K = p - p_{im} - (q - 1).$$

Agar  $p_{im} = 0$  bo'lsa,  $K = p - q + 1$  o'zaro tuziladi.

bog'lanmagan tenglamalar	
2018/120	Alisher Navoiy
A	nomidagi
9710	O'zbekiston MK

## Kontur toklar usuli (KTU)

Bu usul asosida o'zaro bog'liq bo'lmagan konturdan yakka kontur toki o'tadi, deb faraz qilinadi va shoxobchalar toki shu kontur toklari orqali aniqlanadi. KTU – Kirxgofning II qonuniga asoslanadi. Tenglamalar shu kontur toklariga nisbatan tuziladi, keyin noma'lum kontur toklari aniqlanadi. Shunday qilib, KTU zanjirni hisoblash usuli bo'lib, unda noma'lumlar soni o'zaro bog'liq bo'lmagan konturlar soniga tengdir.

Demak, KTU hisoblash ishlari bo'yicha ancha tejamkor bo'lib, Kirxgof qonunlariga asoslangan usulga nisbatan hisoblash vaqtini tejaydi. 1.8-rasmda keltirilgan sxema uchun tenglamalarni tuzamiz. Bu sxemada ikkita bog'liq bo'lmagan kontur bor. Shu sababdan bu konturlardan o'zining kontur toklari o'tadi.

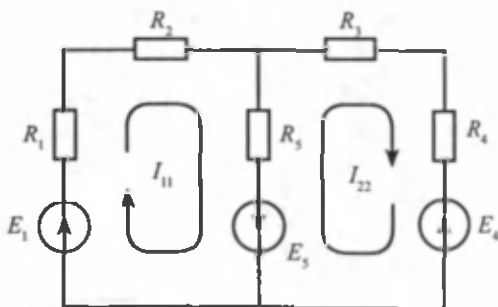
Faraz qilaylik, chap konturda soat mili harakati yo'nalishida  $I_{11}$  toki, o'ngdagi konturda esa shu yo'nalishda  $I_{22}$  kontur toki o'tmoqda. Har bir kontur uchun Kirxgofning II qonuniga asoslanib tenglamalar tuzamiz. Bunda ba'zi shoxobchalardan, masalan,  $R_5$  rezistori bor shoxobchadan ikkala kontur toklarining ayirmasi (yoki yig'indisi) o'tishi mumkin.

Bunday shoxobcha *yondosh shoxobcha* deyiladi. Tenglamalar tuzishda yondosh shoxobchalardagi kontur toklari yo'nalishi albatta e'tiborga olinishi kerak. Konturlarni aylanib o'tishni ham soat mili bo'yicha olamiz. I kontur uchun:

$$(R_1 + R_2)I_{11} + R_5(I_{11} - I_{22}) = E_1 + E_5$$

yoki

$$(R_1 + R_2 + R_5)I_{11} - (R_5)I_{22} = E_1 + E_5 \quad (1.1)$$



1.8-rasm. Murakkab elektr zanjir sxemasi.

II kontur uchun:

$$\begin{aligned} R_5(I_{22} - I_{11}) + (-R_5)I_{22} &= -E_4 + E_5 \\ -R_5I_{11} + (R_3 + R_4 + R_5)I_{22} &= -E_4 - E_5 \end{aligned} \quad (1.2)$$

(1.1) tenglamalarda  $I_{11}$  oldidagi ko'paytuvchi birinchi konturga qarashli qarshiliklar yig'indisidir, uni  $R_4$  bilan belgilaymiz.  $I_{22}$  oldidagi ko'paytuvchi esa o'zaro konturlar oralig'idagi qarshilik, uni  $R_{12}$  bilan belgilab, (1.2) tenglamada esa  $I_{11}$  oldidagi  $R_{21}$ ,  $I_{22}$  koeffitsiyentni esa  $R_{22}$  bilan belgilaymiz, unda  $R_{11}$ ,  $R_{22}$  - xususiy (shaxsiy) qarshilikdir.  $R_{12} = R_{21}$  - konturlararo qarshilik (manfiy ishorada olinadi.) (1.1) va (1.2) tenglamalarni o'ng tomonini  $E_{11}$  va  $E_{22}$  bilan belgilaymiz.  $E_{11}$  - birinchi konturda ta'sir etuvchi EYuKlar algebraik yig'indisiga teng. Bunda yig'indiga musbat ishora EYuK yo'nalishi konturni aylanib chiqish yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, manfiy ishora - agar yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lsa beriladi.  $R_{22}$  - II kontur xususiy qarshiligi,  $R_{21}$  - II va I konturlar orasidan yondosh (o'zaro) qarshilik deyiladi. Uning ishorasi kontur toklari yo'nalishiga bog'liqdir.  $E_{22}$  - II konturning EYuK. Bu holda tenglamalar quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} &= E_{11} \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} &= E_{22} \end{aligned} \quad (1.3)$$

tenglamalardagi

$$\begin{aligned} R_{11} &= R_1 + R_2 + R_5 & E_{11} &= E_1 + E_5 \\ R_{22} &= R_3 + R_4 + R_5 & E_{22} &= -E_4 - E_5 \\ R_{12} &= R_{21} = -R_5 \end{aligned}$$

Agar sxemada mustaqil konturlar soni ikkita bo'lsa, masalan, uchta bo'lsa, u holda tenglamalar tizimi quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} &= E_{11} \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} &= E_{22} \\ R_{31}I_{11} + R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} &= E_{33} \end{aligned} \quad (1.4)$$

## **Ustma-ustlash usuli va uni bir nechta EYuK manbali elektr zanjirlarini hisoblashda qo'llash**

Murakkab elektr zanjirini hisoblash quyidagi ketma-ketlikda bajariladi:

– har bir EYuK manbai ta'siridan hosil bo'lgan toklar aniqlanadi, bunda fikran sxemada yagona EYuK manbai qoldirilib, boshqa EYuK lar olib tashlanadi va ularni ichki qarshiliklari zanjirga EYuK lar o'rniga ulangan deb qabul qilinadi;

– shoxobchalar toklari alohida har bir EYuK manbai uchun hisoblanadi;

– shoxobchalardagi haqiqiy toklar esa, alohida hisoblangan toklarning algebraik yig'indisi ko'rinishida aniqlanadi.

Agar chiziqli elektr zanjirida tok manbalari ulangan bo'lsa, tugunlardagi potensiallar yoki shoxobchalardagi kuchlanishlar har bir tok manbai toklarini chiziqli funksiyasi bo'ladi. Ular matematik ko'rinishda quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\varphi_k(U_k) = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^{n-1} I_i \Delta_{ik}$$

Bu formulaning fizik ma'nosi: chiziqli elektr zanjirda har bir tugunning potentsiali shu tugunda har bir tok manbaining alohida ta'siridan hosil bo'lgan potentsiallarning algebraik yig'indisiga tengdir. Ustma-ustlash usuliga binoan har bir qisman tugun potentsialini aniqlashda fikran bitta tok manbaini qoldirib, qolganlarini sxemadan chiqariladi, ularning o'rniga esa, manbalarning ichki o'tkazuvchanliklari ulangan deb qaraladi.

## II BOB

### CHIZIQLI O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLAR

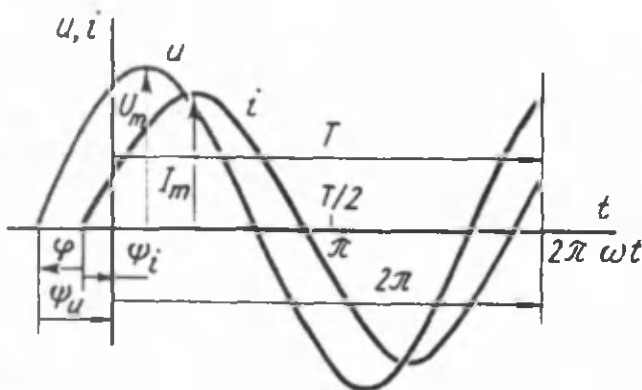
#### 2.1. Chiziqli o'zgaruvchan tok zanjirlari

O'z yo'nalishi va kattaligini davriy ravishda o'zgartirib turadigan tok (yoki kuchlanish) *o'zgaruvchan tok* deyiladi. Vaqt bo'yicha sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaruvchan tokni *sinusoidal tok* deb ataladi:

$$i = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi\right) = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.1)$$

**$I-t$  daqiqada tokning oniy qiymati.** Bu holda davr orasida uning o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi. 2.1-rasmda sinusoidal tokning grafigi keltirilgan.

Funksiyaning maksimal qiymati amplituda deyiladi. Tokning amplituda qiymati  $I_m$ , davr –  $T$  – bu muayyan vaqt oralig'ida tokning o'zgarishi takrorlanadi, ya'ni to'liq bitta to'liq o'zgarishi bajariladi. Bir sekunddagi davrlar soni chastota ( $f$ ) deb ataladi.



2.1.-rasm. Sinusoidal tok va kuchlanish.

$$f=1/T \quad (2.2)$$

$\omega=2\pi f=2\pi/T$  – o'zgaruvchan tokning burchak chastotasi, Rad/sek yoki sek<sup>-1</sup> da o'lchanadi. Sinusning argumenti, ya'ni  $(\omega t + \varphi)$  kattaligi faza deb ataladi. Faza tebranishning shu oniy vaqt  $t$  dagi holatini tasvirlaydi. Elektrotexnik qurilmalar uchun kuchlanishning chastotasi standartlashtirilgan. Yevropada va Mustaqil Davlatlar Hamdo'stligi hududlarida 50 Gs, AQSH da – 60 Gs.

Har qanday sinusoidal o'zgaruvchan funksiya uchta kattalik bilan aniqlanadi: amplituda, burchak chastotasi va boshlang'ich fazasi. Past chastotali (bir necha kilogersgacha) sinusoidal tok va EYuK larni sinxron generatorlar yordamida hosil qilinadi. Yuqori chastotali sinusoidal tok va EYuK larni lampali yoki yarim o'tkazgichli generatorlar yordamida olinadi.

O'zgaruvchan tokning eng ko'p tarqalgan manbalaridan biri mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirib beruvchi sinxron generatordir. Sinxron generatorda sinusoidal EYuK olish uchun doimiy magnit maydonida ramka ko'rinishdagi o'ramni doimiy burchak tezligida aylantirib olinadi. O'zgaruvchan tok generatorlari ikki asosiy qismdan iborat. Qo'zg'almas qismi – stator va aylanuvchi qismi rotordir. Ularning birida (ko'pincha rotorda) doimiy magnit qutblari joylashtiriladi, ya'ni elektromagnitlar, ularning chulg'amlari o'zgaruvchan tok manbaiga ulanib, doimiy magnitni hosil qiladi. Boshqasida (statorda) asosiy chulg'amlar o'rnatiladi va unda o'zgaruvchan EYuK hosil bo'ladi. Stator pazlarida joylashgan chulg'am simlarida, rotorning aylanishi natijasida EYuK paydo bo'ladi.

Sinusoidal EYuK generatorining elektr sxemalardagi shartli qabul qilingan belgisi – 10 mm diametrli aylana ichiga sinusoida belgisi EYuK ning musbat yo'nalishini ko'rsatuvchi mili (strelkasi) bo'lishi kerak.

Sinusoidal tok zanjirlarida rezistiv, induktiv va sig'im qarshiliklar ketma-ket va aralash ulanishlari uchraydi.

Agar bir xil chastotali bir necha sinusoidal funksiyalar sinusoidalarning (masalan, EYuK va tok) boshlanishi mos kelmasa, bu sinusoidalar faza jihatdan bir-biriga nisbatan siljigan deyiladi. Faza siljishi EYuK va tok boshlang'ich fazalarining ayirmasi bilan o'lchanadi.

Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarning o'rtacha qiymati deb, yarim davr ichidagi sinusoidaning o'rtacha qiymati tushuniladi. Demak, tokning o'rtacha qiymati:

$$I_{\text{o'rt}} = \frac{1T/2}{T/2} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t \, dt = \frac{2}{\pi} I_m \quad (2.3)$$

Ya'ni, sinusoidal tokning o'rtacha qiymati amplituda qiymatining  $2/\pi=0,63$  qismini tashkil qiladi. Xuddi shunday:

$$E_{\text{o'rt}} = \frac{2}{\pi} E_m, \quad U_{\text{o'rt}} = \frac{2}{\pi} U_m \quad (2.4)$$

Sinusoidal o'zgaruvchan kattalikning juda keng ishlatiladigan tushunchasi ta'sir qiymatidir. Uni effektiv yoki o'rtacha kvadrat qiymati deb ataladi. Tokning ta'sir qiymati:

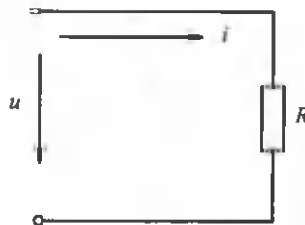
$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \, dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t \, dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \quad (2.5)$$

Demak, sinusoidal tokning ta'sir etuvchi qiymati  $0,707 I_m$  ga teng. Xuddi shunday:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.6)$$

### Rezistiv elementli sinusoidal tok zanjiri

Rezistiv elementdan tarkib topgan oddiy elektr zanjiri sxemasi 2.2-rasmda keltirilgan. Sxemada  $R$  – rezistor.



2.2-rasm. Rezistiv elementli zanjir.

Sinusoidal kuchlanish:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u) \quad (2.7)$$

bo'lsa, elektr zanjirlardan o'tuvchi tok:

$$i = u/R = (U_m/R) \sin(\omega t + \varphi_u) \quad (2.8)$$

ifodadan aniqlanadi yoki:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (2.9)$$

$$I_m = U_m/R$$

$$\varphi_u = \varphi_i$$

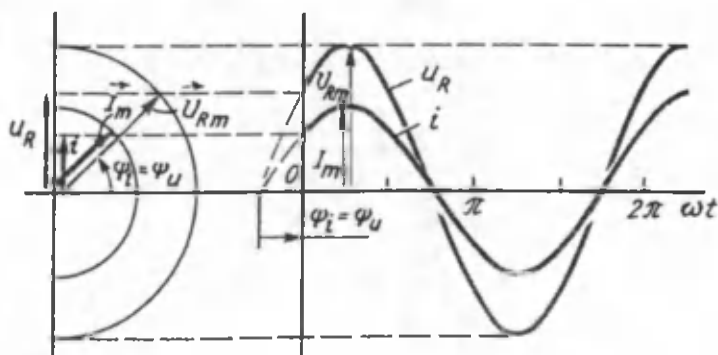
2.3-rasmda kuchlanish va tok oniy qiymatlarining grafigi keltirilgan. Ushbu grafikda  $\Psi_u - \Psi_i = 0$ .

Demak, rezistiv elementli elektr zanjiridagi tok shakli sinusoidal bo'lib, uning chastotasi va fazasi manba kuchlanishi chastotasi va boshlang'ich fazasi bilan bir xil bo'ladi. Kuchlanish va tokning o'zaro faza siljish burchagi  $\Psi_u - \Psi_i = 0$  ga teng bo'lib, boshlang'ich faza esa musbat yoki manfiy bo'ladi.

Kuchlanish va tokning ta'sir qiymatlari uchun va rezistiv elementli zanjir uchun Om qonuni:

$$I = U/R \quad (2.10)$$

ko'rinishida yoziladi.



2.3-rasm. Kuchlanish va tokning oniy qiymatlari.



Ushbu zanjir uchun quvvat quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$P = ui = U_m I_m \sin^2(\omega t + \varphi_u) = U_m I_m \frac{1 - \cos 2(\omega t + \varphi_u)}{2} \quad (2.11)$$

yoki

$$R = UI - UI \cos 2(\omega t + \varphi_u) \quad (2.12)$$

Quvvatning davr ichidagi o'rtacha qiymati:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} UI \int_0^T dt - \frac{1}{T} UI \int_0^T \cos 2(\omega t + \varphi_u) dt \quad (2.13)$$

yoki

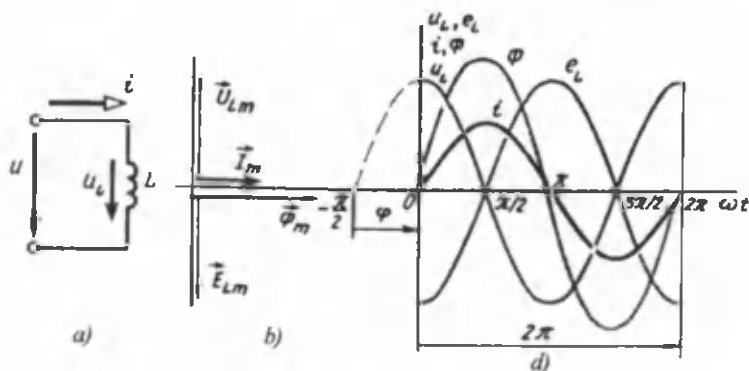
$$R = UI = RI^2.$$

Oniy quvvatning o'zgarish grafigi 2.3-rasmda keltirilgan. Rezistorda oniy quvvat noldan  $2R = 2UI$  qiymatgacha pulsatsiyalanishi rasmdan ko'rinib turibdi. Demak, rezistiv elementli zanjirda manba quvvati rezistorda issiqlikka o'tib, to'la isrof bo'ladi.

### Induktiv elementdan tashkil topgan elektr zanjirida sinusoidal tok. Induktiv qarshilik

Amalda har qanday induktiv g'altak faol qarshilik  $R$  va induktivlik  $L$  ga egadir. Induktiv g'altakni sxemada ko'pincha ketma-ket ulangan  $R$  – rezistor (aktiv qarshilik) va induktivlik  $L$  elementlari bilan ifodalanadi.

Sxemada faqat induktiv element  $L$  ni ajratib olamiz, ya'ni  $R=0$  deb, ideal induktiv g'altakdagi jarayonni tahlil qilamiz.



2.4-rasm:

a) L elementli zanjir sxemasi; b) vektor diagrammasi; d) to'liqin diagrammasi.

Agar induktiv elementdan tok  $i = I_m \sin \omega t$  o'tsa, unda o'zinduksiya hodisasiga asosan EYuK hosil bo'ladi.

$$e_L = -L(di/dt) = \omega L \cdot I_m \cos \omega t = \omega L \cdot I_m \sin(\omega t - 90^\circ) = E_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$e_L = E_m \quad (2.14)$$

Rasmda EYuK  $e$  ning musbat yo'nalishi strelka bilan ko'rsatilgan, uning yo'nalishi tok  $i$  ning musbat yo'nalishi bilan bir xildir.  $a$  va  $b$  nuqtalari potentsiallari farqini aniqlaymiz.  $b$  nuqtadan  $a$  nuqta tomon siljiganimizda EYuK  $e_L$  ning yo'nalishiga qarama-qarshi harakat qilamiz, shuning uchun:

$$u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = -e_L = L(di/dt) \quad (2.15)$$

Demak, kuchlanish  $u_{ab}$  ning yo'nalishi tokning musbat yo'nalishi bilan bir xil. Endi kuchlanishning  $ab$  indekslarini qo'llaymiz, masalan, induktivlikdagi kuchlanish:

$$u_{ab} = u = -e_L \quad (2.16)$$

Demak,

$$u = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

Bu ifodadan:

$$U_m = \omega L I_m$$

$\omega L$  ko'paytma  $X_L$  deb belgilanadi va u induktiv qarshilik deb ataladi.

$$X_L = \omega L \quad (2.17)$$

Uning o'lchami:  $[X_L] = [\omega] [L] = (1/C) \text{ Om} \cdot \text{s} = \text{Om}$

$$L = \frac{\phi}{i} = \frac{B \cdot c}{A} = \text{Om} \cdot \text{s}.$$

Shunday qilib, induktivlik o'zgaruvchan tokga  $X_L = \omega L$  qarshiligini ko'rsatadi. U chastotaga to'g'ri proporsional, chastota  $\omega$  oshsa,  $X_L$  ko'payadi va aksincha.

Induktiv g'altakda kuchlanish tokka nisbatan faza jihatdan  $90^\circ$  oldinda yuradi. 2.4-b, rasmda  $i$ ,  $u$ ,  $r$  larni oniy qiymatlarining grafigi keltirilgan. Oniy quvvat:

$$p = iu = U_m \cos \omega t I_m \sin \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t \quad (2.18)$$

Uning grafigi noldan o'tadi, chunki kuchlanish yoki tok noldan o'tganda:  $r=0$ .

Birinchi chorak davrda,  $u$  va  $i$  lar musbat bo'lganda,  $r$  ham musbatdir.

Abssissa o'qi va  $r$  egri chizig'i bilan chegaralangan yuza vaqt birligidagi energiya-quvvatdir. Bunda manbadan qabul qilingan energiya magnit maydonini hosil qiladi, ya'ni magnit maydoni energiyasiga aylanadi. Ikkinchi chorak davrda esa tok zanjirda maksimumdan nolgacha kamayadi, bu holda magnit maydonining energiyasi manbaga qaytariladi, oniy quvvat esa, manfiydir. Uchinchi chorak davrda manbadan yana energiya qabul qilinadi, magnit maydoni hosil bo'ladi, keyingi chorak davrda esa, manbaga qaytariladi va hokazo, ya'ni energiya davriy ravishda induktiv elementda magnit maydonini hosil qiladi yoki induktiv element energiyani orqaga, manbaga qaytaradi. Sarf bo'lmaydigan energiya, iste'molchi bilan manba o'rtasida bir turdan ikkinchi turga o'tib va manbaga qaytadigan energiyani *reaktiv energiya* deb ataladi. Uning quvvatini esa, induktiv xarakterdagi reaktiv quvvat deyiladi.

### Sig'im elementli elektr zanjiridagi sinusoidal tok.

#### Sig'im qarshiligi

Agar kondensatorga berilgan kuchlanish vaqt bo'yicha o'zgarmasa, unda kondensator qoplamalaridan birida yig'ilgan zaryad  $q=CU$ , ikkinchisidagi esa  $-q=-CU$  dir.  $C$ —kondensatorning sig'imi. Ular o'zgarmas bo'lib, kondensatordan tok o'tmaydi.

$$i=dq/dt=0 \quad (2.19)$$

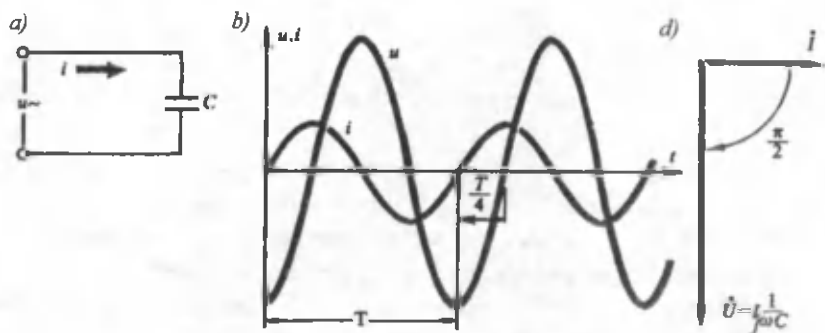
Agar kuchlanish vaqt bo'yicha sinusoidal o'zgarsa, (2.5-rasm):

$$u=U_m \sin \omega t.$$

$U$  holda kondensatordagi zaryad  $q$  ham sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi.  $q=CU=CU_m \sin \omega t$  va kondensator davriy zaryadlanadi. Kondensatorning davriy zaryadlanishi esa undan tok o'tishiga sabab bo'ladi:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} (CU_m \sin \omega t) = \omega CU_m \cos \omega t = \omega CU_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (2.20)$$

Kondensatorda (2.5-a, rasm) tokning musbat yo'nalishi kuchlanishning musbat yo'nalishi bilan bir xildir. Kondensatordan o'tayotgan tok kuchlanishga nisbatan  $90^\circ$  oldinda bo'ladi.



2.5-rasm. Kondensatorli elektr zanjiri:  
a), b) to'liqin diagramma, d) vektor diagramma.

2.5-rasmda keltirilgan vektor diagrammada tok vektori  $I_m = U_m / X_C$ , ya'ni kuchlanish amplitudasining sig'im qarshiligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2.21)$$

Demak,

$$I_m = \omega C U_m = \frac{U_m}{1/\omega C} = \frac{U_m}{X_C} \quad (2.22)$$

Sig'im qarshiligi chastotaga teskari proporsionaldir, ya'ni chastota oshsa, sig'im qarshiligi kamayadi, va aksincha,  $X_C$  ni o'lchov birligi – Om.

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(1/c)(Kl/B)} = \frac{l}{(1/c)(Ac/B)} = \frac{B}{A} = Om$$

Oniy quvvat:

$$p = ui = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t \quad (2.23)$$

Birinchi chorak davrda kondensator manbadan energiyani qabul qilib, o'zida elektr maydoni hosil qiladi. Ikkinchi chorak davrda kuchlanish kondensatorda maksimumdan nolgacha o'zgaradi va yig'ilgan elektr maydoni energiyasi orqaga – manbaga qaytariladi. Oniy quvvat bu vaqtda manfiydir. Uchinchi chorak davrda energiya (elektr maydon energiyasi) kondensatorda yig'iladi va keyingi chorak davrda esa, orqaga – manbaga qaytadi.

$$i = C \frac{du}{dt}; \quad i dt = cdu \quad (2.24)$$

Agar bu tenglamani ikkala qismini integrallasak, u holda:

$$u = \frac{1}{C} \int idt. \quad (2.25)$$

Bu tenglama yordamida kondensatorning kuchlanishini undan o'tayotgan tok orqali aniqlashimiz mumkin.

## 2.2. Ketma-ket ulangan $r$ , $l$ va $s$ elementli elektr zanjirida sinusoidal tok. Kuchlanishlar va qarshiliklar uchburchagi. Toklar va o'tkazuvchanliklar uchburchagi

Sinusoidal tok zanjirlarini hisoblashda juda keng tarqalgan usullardan biri simvolik yoki kompleks usuldir. Simvolik usul bilan hisoblashning asosida sinusoidal tok zanjiri uchun tuzilgan differensial tenglamalarni algebraik tenglamalar bilan almashlash yetadi. Buning uchun oniy qiymatlardan uning kompleks qiymatlariga o'tish zarur. Har qanday zanjir uchun Kirxgof qonunlariga asosan, tok va kuchlanishlarning oniy qiymatlari uchun tuzilgan differensial tenglamalardan algebraik tenglamalarga o'tish uchun har bir tashkil etuvchilarni kompleks qiymatlarini belgilaymiz, tokning oniy qiymati  $i$  ni kompleks amplituda  $i_m$  bilan, kuchlanishning oniy qiymati  $u$  ni kompleks amplituda  $U_m$  bilan, qarshilikdagi kuchlanish  $u_R = Ri$  ni  $RI$  bilan, induktiv elementdagi oniy kuchlanishning qiymatini  $u_L = L(di/dt)$  ni kompleks amplituda  $j\omega LI_m = U_{mL}$  bilan, kondensatordagi kuchlanish qiymati  $U_C = I/C$ ,  $\int idt$  ni kompleks  $I_m / j\omega C = U_{mC}$  bilan almashtiramiz.

Oldingi mavzuda ko'rsatilganidek, induktiv g'altakdagi kuchlanishning amplitudasi  $U_{Lm} = j\omega LI_m$  tok amplitudasi  $I_m$  ni  $X_L = \omega L_L$  qarshiligiga ko'paytmasiga teng;  $j$  ga ko'paytirish esa, kuchlanish vektoridan tok vektori  $90^\circ$  orqada qolishini ko'rsatadi. Xuddi shunday kondensatordagi kuchlanish tok amplitudasini sig'im qarshiligiga ko'paytirib aniqlanadi. Bunda kuchlanish tokdan  $90^\circ$  orqada qoladi.

Oniy qiymatlar uchun Kirxgofning II qonuniga asosan, elektr muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$R_1 + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t idt = e. \quad (2.26)$$

$$R_1 \dot{I}_m + j\omega L I_m + \left(-\frac{j}{\omega C}\right) \dot{I}_m = \dot{E}_m.$$

$$\dot{I}_m \left( R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} \right) = \dot{E}_m. \quad (2.27)$$

$$\dot{I}_m \frac{E_m}{R + j\omega L - \frac{j}{\omega C}} = \frac{E_m}{Z}.$$

Bu formuladan foydalanib kompleks tok amplitudasi  $I_m$  ni ma'lum kompleks EYuK amplitudasi va qarshiliklar  $R$ ,  $\omega L$  va  $(1/\omega C)$  lar orqali aniqlash mumkin.

Tok va kuchlanishlarning oniy qiymatlarini kompleks tasvirlari – simvollar bilan almashlab, elektr zanjirini hisoblash usuliga simvolik usul deb ataladi, ya'ni vaqtga bog'liq, ya'ni vaqt funksiyasidagi integro-differensial tenglamalardan, kompleks shaklda yozilgan va vaqt kattaligi istisno qilingan algebraik tenglamalarga o'tish elektr zanjirlarini hisoblashni juda ham soddalashtiradi.

### Kompleks qarshilik. Sinusoidal tok zanjiri uchun Om qonuni

$Z = R + j\omega L - j/\omega C$  – kompleks qarshilik bo'lib, umumiy holda,  $Z$  bilan belgilanadi, uning o'lchov birligi [Om]. Kompleks qarshilik uch xil: algebraik, ko'rsatkichli va trigonometrik shakllarda yozilishi mumkin.

$Z$  – kompleks qarshilikning moduli.

$I_m = E_m / Z$  ifoda Om qonunini simvolik usulida yozilishi.

Agar bu tenglamaning ikkala tomonini amplituda koeffitsiyenti  $K_a = \sqrt{2}$  ga bo'lsak, u holda effektiv qiymatlar bo'yicha Om qonuniga ega bo'lamiz:

$$i = \frac{E}{Z}. \quad (2.28)$$

Bu sinusoidal tok zanjiri uchun Om qonunini ifodalaydi.

Umumiy holda 2 kompleks qarshiligi haqiqiy qismdan –  $r$  rezistiv (aktiv) qarshilikdan va mavhum  $jX$  qismdan – reaktiv qarshilikdan iborat bo'ladi.

$$Z = R + jx \quad (2.29)$$

$R$  – aktiv qarshilik,

$X$  – reaktiv qarshilik.  $X = \omega L - 1/\omega C$  – agar  $X$  musbat ishorali bo'lsa, reaktiv qarshilik induktiv xarakterga, manfiy bo'lsa, sig'im xarakterga ega bo'ladi.

**Kompleks o'tkazuvchanlik.** Kompleks o'tkazuvchanlik  $Y$  bilan belgilanadi va u qarshilikning teskari qiymatidir:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = g \pm jb \quad (2.30)$$

Bu yerda:  $g$  – aktiv (faol) o'tkazuvchanlik,

$b$  – reaktiv o'tkazuvchanlik, agar manfiy ishora bilan bo'lsa, induktiv, musbat ishora bilan bo'lsa, sig'im xarakterda bo'ladi.

Kompleks o'tkazuvchanlik Simens [Sm] da o'lchanadi. Haqiqiy tashkil etuvchisi  $g$  bilan, mavhum qism  $b$  bilan ifodalanadi.

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{R + jX} = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2} = g - f_0$$

Demak,

$$g = \frac{R}{R^2 + X^2}, \quad b = \frac{X}{R^2 + X^2}, \quad Y = \sqrt{g^2 + b^2}$$

$Y$  – kompleks o'tkazuvchanlik moduli.

Kompleks o'tkazuvchanlik orqali Om qonuni quyidagicha yoziladi:

$$\underline{I} = \underline{U} \cdot \underline{Y} = \underline{U}(g \pm jb) = \underline{I}_a + j\underline{I}_b \quad (2.31)$$

bunda:  $\underline{I}_a$  – kompleks tokning aktiv tashkil etuvchisi.

$\underline{I}_b$  – kompleks tokning reaktiv tashkil etuvchisi,

$\underline{U}$  – kompleks qarshilik  $Z$  dagi kuchlanish.

**Qarshiliklar va o'tkazuvchanliklar uchburchagi.** Kompleks qarshilikning moduli:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}. \quad (2.32)$$

Demak,  $Z$  moduli to'g'ri burchakli uchburchakning gipotenuzasi faol qarshilik  $R$  shu uchburchakning kateti, ikkinchi kateti esa, reaktiv qarshilik  $X$  bo'ladi. Unda  $\text{tg}\varphi = X/R$ .

Xudda shunday, kompleks o'tkazuvchanlikning moduli:

$$Y = \sqrt{g^2 + b^2} \quad (2.33)$$

Bu holda ham  $Y$  – gipotenuza,  $g$  – uchburchakning bir kateti,  $b$  esa ikkinchi kateti bo'ladi va:

$$\operatorname{tg}\varphi = b/g \quad (2.34)$$

Demak, uchburchak to'g'ri burchakli bo'lib, gipotenuzasi kompleks qarshilik yoki o'tkazuvchanlikning modulini ko'rsatadi, aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari esa, uchburchakning katetlarini tashkil etadi.

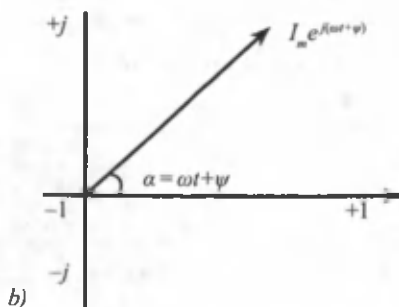
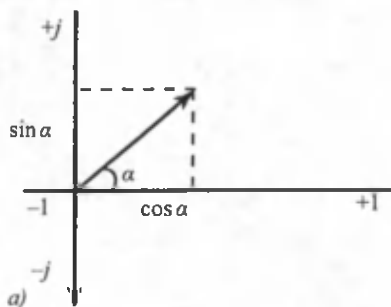
### Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarni kompleks tekislikda vektorlar bilan tasvirlash

2.6-rasmda kompleks tekislik keltirilgan. Ma'lumki, bunday tekislikda kompleks sonlarni ifodalash mumkin. Abssissa o'qi haqiqiy sonlar o'qi, ordinata o'qi esa, mavhum sonlar o'qi hisoblanadi.

Har qanday kompleks son haqiqiy va mavhum qismlardan iborat. Agar kompleks tekislikda absissa o'qiga kompleks sonning haqiqiy qismini masshtab bilan joylashtirilsa, ordinata o'qiga esa, mavhum qismini masshtab bilan o'rnatilsa, u holda kompleks son tekislikda bir nuqtani ifodalaydi. Kompleks tekislikda haqiqiy o'qni  $+1$  belgisi bilan, mavhum o'qni esa  $+j = (j = \sqrt{-1})$  bilan belgilanadi. Matematika kursidan bizga Eyler formulasi ma'lum. Unga ko'ra:

$$e^{j\alpha} = \cos\alpha + j\sin\alpha \quad (2.35)$$

Kompleks son  $e^{j\alpha}$  kompleks tekislikda vektor ko'rinishda tasvirlanadi, uning amplitudasi  $I$  ga teng va haqiqiy o'q nisbatan  $\alpha$  burchakka burilgan.  $\alpha$  – burchakning haqiqiy o'qqa nisbatan ( $+1$  o'q) soat miliga teskari yo'nalishda hisoblanadi. Funksiyaning moduli  $e^{j\alpha}$  birga teng.



2.6-rasm. Kompleks tekislik.



$$|e^{\alpha}| = \sqrt{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = 1$$

$e^{\alpha}$  funksiya vektorining +1 o'qiga soyasi proyeksiyasi  $\cos \alpha$  ga teng, +j o'qiga soyasi esa  $\sin \alpha$  ga teng, Agar  $e^{\alpha}$  funksiya o'rniga  $I_m e^{j\alpha}$  funksiyasini olsak, u holda

$$I_m e^{\alpha} = I_m \cos \alpha + j I_m \sin \alpha \quad (2.36)$$

Kompleks tekislikda bu funksiyaning +1 o'qiga nisbatan burchagi, xuddi  $e^{\alpha}$  funksiyasining burchagi  $\alpha$  ga teng, faqat vektorning amplitudasi  $I_m$  marta kattadir. (2.36) formuladagi burchak  $\alpha$  har xil bo'lishi mumkin. Masalan,  $\alpha = \omega t + \varphi$ , ya'ni  $\alpha$  burchagi vaqtga nisbatan to'g'ri proporsional o'zgaradi. U holda:

$$I_m e^{j(\omega t + \varphi)} = I_m \cos(\omega t + \varphi) + j I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.37)$$

$I_m \cos(\omega t + \varphi)$  tashkil etuvchi  $I_m e^{j(\omega t + \varphi)}$  ifodasining haqiqiy (*Re*—real) qismidir.

$$Re I_m e^{j(\omega t + \varphi)} = I_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (2.38)$$

$I_m \sin(\omega t + \varphi)$  tashkil etuvchi esa  $I_m e^{j(\omega t + \varphi)}$  ifodasining mavhum (*jm*) qismidir, ya'ni:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) = j I_m e^{j(\omega t + \varphi)} \quad (2.39)$$

Shunday qilib, sinusoidal o'zgaruvchan tokni  $i = j I_m e^{j(\omega t + \varphi)}$  ko'rinishda yozish mumkin, yoki xuddi o'shani o'zi aylanuvchi vektor  $I_m e^{j(\omega t + \varphi)}$  ni +j o'qiga soyasidir. Kompleks tekislikda vaqt bo'yicha sinusoidal o'zgaruvchi kattaliklarni bir xil maqsadda qabul qilish uchun vektor tasvirini  $\omega t = 0$  vaqtida olingan. Bu holda vektor  $I_m e^{j(\omega t + \varphi)}$   $\omega t = 0$  bo'lganda:

$$I_m e^{j\varphi} = I_m \quad (2.40)$$

bo'ladi.

$I_m$  — kompleks kattalik uning moduli  $I_m$  ga teng,  $I_m$  vektorni +1 o'qiga nisbatan hosil qilgan burchagi boshlang'ich fazaga teng.  $I_m$  qiymatini  $i$  tokining kompleks amplitudasi deb ataladi. Demak, kompleks amplituda

kompleks tekislikdagi  $\omega t = 0$  vaqt uchun tasvirlangan vektordir. Qo'yilgan 2 ta misolda tokni oniy qiymatidan kompleks amplitudaga va kompleks amplitudadan oniy qiymati tasviriga o'tishini ko'ramiz.

**1-misol.** Agar berilgan tok  $i = 8 \sin(\omega t + 20^\circ)$  A bo'lsa, tokni kompleks shaklda yozing.

Misolda  $I_m = 8$  A,  $G = 20^\circ$ . Demak,  $I_m = 8e^{j20}$  A.

**2-misol.** Agar tokning kompleks amplitudasi  $I_m = 25e^{-j30}$  A bo'lsa, oniy tok ifodasini yozing.

Yechish: Kompleks amplitudadan oniy qiymatga o'tish uchun  $I_m$  ni  $e^{j\omega t}$  ga ko'paytiramiz va vektor mavhum qismini olib yozamiz:

$$i = I_m 25e^{-j30} = I_m 25e^{j(\omega t - 30)} = 25 \sin(\omega t - 30^\circ) \text{ A}$$

Tok effektiv qiymatining kompleks yoki tok kompleksi  $I$ , kompleks amplituda qiymatini amplituda koeffitsiyenti  $\sqrt{2}$  bo'linganiga teng.

$$i = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j\psi} = I e^{j\psi}$$

**3-misol.** 1-misolda keltirilgan tokning effektiv qiymatining kompleks ifodasini yozing:

Javob:

$$I = 8e^{j20} / \sqrt{2} = 5,67 e^{j20} \text{ A.}$$

### Kompleks tekislikda sinusoidal o'zgaruvchan funksiyalarni qo'shish va ayirish. Vektorlar diagrammasi

Faraz qilaylik, ikkita bir xil chastotali toklarni qo'shish kerak. Ular yig'indisi shu chastotali qandaydir tokka teng:  $i = i_1 + i_2$

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (2.41)$$

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

Umumiy tok  $i$  ning amplitudasi va  $\varphi$  boshlang'ich fazasini aniqlash kerak. Buning uchun  $i_1$  tokni kompleks tekislikda,  $I_{1m} = I_{1m} e^{j\varphi_1}$  vektor bilan tasvirlaymiz,  $i_2$  tokni esa  $I_{2m} = I_{2m} e^{j\varphi_2}$  vektori bilan tasvirlaymiz.

$i_{1m}$  va  $i_{2m}$  vektorining geometrik yig'indisi umumiy tokka  $i_m = i_m e^{j\varphi}$  ga teng. Tok  $I_m$  ni amplitudasining yig'indisi vektorning uzunligi bilan,

boshlang'ich fazali  $\varphi$  esa,  $\varphi_1 + \varphi_2 = \varphi$  haqiqiy o'q +1 bilan vektor orasidagi burchak belgilanadi. Bu ikki toklarning ayirmasini aniqlash uchun kompleks tekislikda vektorning geometrik ayirmasini aniqlaymiz.

Ikkita vektorning yig'indisi parallelogramni bir diagonal bo'lsa, ikkinchisi uning ayirmasidir.

Agarda  $I_{1m}$ ,  $I_{2m}$  va  $I_m$  vektorlarni koordinata o'qlari boshiga nisbatan  $\omega$  burchak chastotasi bilan aylantirilsa, unda ularning o'zaro joylashishi o'zgarmay qolaveradi.

Vaqt bo'yicha sinusoidal o'zgaruvchan funksiyalarni kompleks tekislikda vektorlar jami bilan tasvirlashga *vektorlar diagrammasi* deb ataladi.

Bunda vektorlarning chastotalari bir xil bo'lishi kerak va ularning o'zaro faza jihatidan joylashishlari vektorlarni qurishga asoslangandir. 2.6-rasmda vektor diagramma misol sifatida keltirilgan.

### 2.3. Elektr zanjirlarida rezonans jarayonlari

**O'zaro ketma-ket ulangan  $R$ ,  $L$ ,  $C$  konturda kuchlanishlar rezonansi.** Elektr zanjirlarida kuchlanishlar yoki toklar rezonansi hodisasi sodir bo'lishi mumkin bo'lgan zanjirlarga *rezonans* yoki *tebranish zanjirlari* deb ataladi.

Induktiv va sig'im elementlari bo'lgan passiv elektr zanjirining reaktiv qarshiligi yoki reaktiv o'tkazuvchanliklari nolga teng bo'lgan rejimiga *rezonans rejimi* deyiladi.

Elektr zanjirining ketma-ket ulangan qismida induktivlik va sig'im elementlari bo'lsa, unda kuchlanishlar rezonansi sodir bo'ladi.  $R$ ,  $L$  va  $C$  elementlar o'zaro ketma-ket ulangan zanjir eng oddiy zanjir bo'lib, radiotexnikada bunday zanjirni ulangan tebranish konturi deb ataladi. Kuchlanishlar rezonansida zanjirning bir qismidagi induktiv qarshilikli sig'im qarshiligi bilan kompensatsiyalanib, zanjirdan o'tayotgan tok maksimumga yotadi. Natijada zanjirning kirish qismlarida reaktiv qarshilik va reaktiv quvvat nolga teng bo'ladi. Rezonans hodisasi sodir bo'lgan chastota *rezonans chastotasi* deb ataladi.

**Kuchlanishlar rezonansi sharti.**  $R$ ,  $L$  va  $C$  elementlar o'zaro ketma-ket ulangan elektr zanjirida (2.7-rasm) kuchlanishlar rezonansi sodir bo'ladi. Bu holda zanjir toki EYuK bilan ustma-ust tushadi, ya'ni fazalari bir xil bo'ladi. Bu esa, zanjirning kirish qarshiligi faol bo'lganda sodir bo'ladi.

Kirxgofning II qonuni bo'yicha:

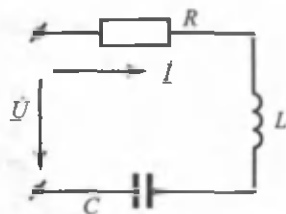
$$U = \left[ R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \right] I \quad (2.42)$$

Demak, 2.7-rasmdagi sxema uchun rezonans sharti quyidagicha yoziladi:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad (2.43)$$

Rezonans chastotasi esa:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



2.7-rasm.  $R, L, C$  ketma-ket ulangan sinusoidal tok zanjiri.

$$U_i = U_c = \omega_0 L I = \frac{1}{\omega_0 C} I = \frac{\omega_0 L}{R} E. \quad (2.44)$$

$$\frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 R C} = \frac{\sqrt{L}}{R} = \frac{P}{R} = Q. \quad (2.45)$$

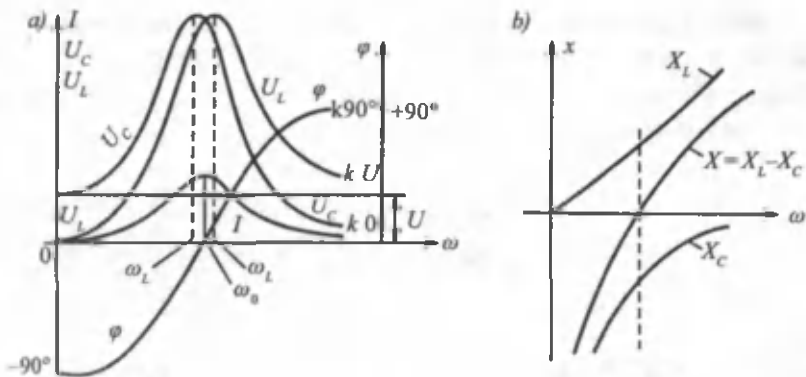
Bu yerda:  $Q$  – rezonans konturining asilligi deb ataladi.

Asillik koeffitsiyenti  $Q$  induktiv yoki sig'ım elementlaridagi rezonans vaqtidagi kuchlanishni sxemaning kirish qismlariga ulangan kuchlanishdan necha marta kattaligini ko'rsatadi. Amalda radiotexnika qurilmalarda asllik koeffitsiyenti  $Q$  500 va undan kattaroq ham bo'lishi mumkin.

Rezonans rejimi uchun vektor diagramma 2.8-rasmda keltirilgan karakteristik qarshilik  $r$  (to'liq qarshiligi)ga teng:

Zanjirning to'liq qarshiligi rezonans rejimida eng kichikdir, shu sababdan zanjir toki o'zining maksimumiga ega bo'ladi, bu qiymat  $I_0$  ga teng. Asllik koeffitsiyenti  $Q$  rezonans egri chizig'ining cho'qqilik xususiyatini belgilaydi.  $I_0 = E/R$ .

Shuningdek, zanjirning kirishiga ulangan kuchlanishi bilan tok orasidagi faza siljishi  $45^\circ$  ga teng, pastki chegarasida kompleks qarshilik sig'ım xarakterda (tok kuchlanishdan oldinda) va  $G = -45^\circ$ , yuqori chegarasida esa, kompleks qarshilik induktiv xarakterda (tok kuchlanishdan orqada qoladi) va  $G = 45^\circ$ .



2.8.-rasm. Rezonans  $R, L, C$  ketma-ket ulangan zanjir sxemasi, to'liqin diagrammalari, qarshiliklar grafigi.

Rezonansga yaqin sharoitda induktiv va sig'im elementlardagi kuchlanishlar bir-biriga qiymati jihatdan juda katta bo'lib, uning qurilmalardagi izolatsiyani ishdan chiqarishini hisobga olish kerak.

Masalan, rezonans paytida reaktiv elementdagi kuchlanishlar bir-biriga teng va qarama-qarshi yo'nalgandir. U quyidagicha aniqlanadi.

$$\dot{U}_{10} = -\dot{U}_{c0} = \frac{E}{R} j\omega_0 L = jEQ. \quad (2.46)$$

Agarda  $Q > 1$  bo'lsa, bu kuchlanishlar qiymati jihatidan rezonans konturiga ulangan kuchlanishdan  $Q$  marta katta bo'ladi. Ammo, bu kuchlanishlarning qiymati maksimal kuchlanishdan kam bo'lib,  $U_L$  kuchlanishlarning maksimumi rezonans chastotadan kattaroq qiymatida bo'ladi,  $U_C$  maksimumi esa rezonans chastotasidan kamroq qiymatda joylashadi. Induktiv elementdagi kuchlanish  $U_L = \omega LI$ , nolga teng bo'ladi,  $\omega = 0$  bo'lganda, chastota  $\omega$  oshgan sari, kuchlanishi ham ortib boradi,  $\omega$  shunday qiymatgachaki, toki tokning kamayishi chastotani o'sishidan tezroq bo'lgunicha. Bundan keyin  $U_L$  kuchlanishi kamayib boradi va cheksizlikda  $E$  ga teng bo'ladi. Sig'imdagi kuchlanish,  $U_C I / (\omega C)$  teng, chastota  $\omega = 0$  bo'lganda, uning kuchlanishi  $U_C = E$  bo'ladi va  $\omega$  oshishi bilan  $U_C$  ham ma'lum tok qiymatigacha oshib boradi, bunda tok qiymatining oshishi chastotani oshishidan ko'proq bo'ladi. Keyinchalik kuchlanish  $U_C$  kamaya boradi va cheksizlikda nolga teng bo'ladi.

Nisbiy birlikdagi induktiv va sig'ım elementlaridagi kuchlanishlarni chastota bilan bog'lanishi xarakteristikalarini.  $U_L$  va  $U_C$  egri chiziqlari rezonans nuqtasida kesishadi, uning qiymati  $QE$  ga teng. Rezonans konturining asilligi:

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{U_{LO}}{E} = \frac{U_{CO}}{E}, \quad (2.47)$$

$L$  va  $C$  elementlardagi kuchlanishi necha marta  $E$  ga kattaligini ko'rsatadi.

**$R$ ,  $L$  va  $C$  o'zaro parallel ulangan konturda toklar rezonansi.**  
**Parallel konturning chastotaviy xarakteristikasi**

Toklar rezonansi hodisasi  $R$ ,  $L$  va  $C$  elementlar o'zaro parallel ulangan elektr zanjirda ro'y beradi. Bunday zanjirning kompleks o'tkazuvchanligi:

$$Y = g - j\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right) = g - iB \quad (2.48)$$

Rezonans chastotasi quyidagi shartdan aniqlanadi:

$$B = 0, \quad \frac{1}{\omega L} \text{ yoki } \omega^2 = LC = 1; \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (2.49)$$

Demak, rezonans vaqtida zanjirning to'liq o'tkazuvchanligi minimum, kirish qarshiligi esa maksimum bo'ladi. Berilgan kuchlanishda zanjirdan o'tuvchi tok:

$$I = Y U = U \left[ g - i\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right) \right]. \quad (2.50)$$

Bu tokning qiymati rezonans chastotada minimum bo'ladi va bunda:

$$I_0 = U g. \quad (2.51)$$

Toklar rezonansida induktiv va sig'ım elementlaridagi toklar miqdor jihatdan bir-biriga teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshidir.

$$I_{C_0} = -I_{L_0} = j\omega_0 C U = j I_0 Q. \quad (2.52)$$

Bu ifoda  $L$  va  $C$  elementlardan o'tuvchi toklar umumiy tok  $I_0$  dan necha marta katta ekanligini ko'rsatadi.

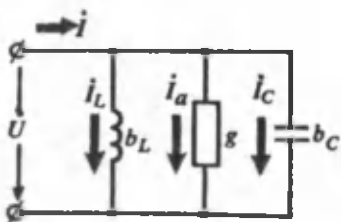
$Q > 1$  bo'lganda bu toklar miqdor jihatdan  $I_0$  dan bir necha marta katta bo'ladi. Agar parallel tebranish konturining ichki qarshiligi  $R_1$  bo'lgan tok manbaidan ta'minlansa, konturning aslligi katta bo'ladi. Shu sababdan ketma-ket tebranish konturiga nisbatan parallel tebranish konturi uchun ichki qarshiligi katta bo'lgan tok manbai ancha afzalroqdir. 2.9-rasmdagi sxema uchun ham oldingi xulosa o'z kuchini saqlaydi: induktiv va sig'im elementlarida o'zaro uzluksiz energiya almashishi sodir bo'lib turadi, ya'ni elektr maydon energiyasi bilan magnit maydon energiyalari almashadi. Agar  $L$  va  $C$  elementlaridagi faol (aktiv) quvvat isrofi e'tiborga olinsa, ya'ni  $L$  va  $C$  elementlar ulangan shoxobchalarga  $R_1$  va  $R_2$  rezistorlar ham kiritilsa (2.10-rasm), toklar rezonansi sharti: reaktiv o'tkazuvchanliklar tengligi quyidagicha yoziladi.

$$\frac{\omega_0 L}{R_1^2 + (\omega_0 L)^2} = \frac{1/\omega_0 C}{R_2^2 + (1/\omega_0 C)^2} \quad (2.53)$$

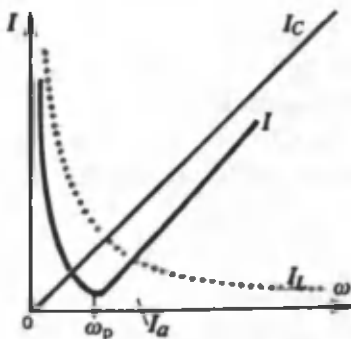
Bundan:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \cdot \frac{1/C - R_1^2}{\sqrt{1/C - R_2^2}} \quad (2.54)$$

Agar ildiz ostidagi ifoda musbat bo'lsa, ya'ni  $L/C - R^2$  va  $L/C - R_2^2$  kattaliklar bir xil ishoraga ega bo'lsalar, rezonans sodir bo'lishi tenglamadan ko'rinib turibdi. Agar  $R_1 = R_2 = \sqrt{L}$  bo'lsa, u holda zanjir har qanday chastotada ham rezonans holatida bo'ladi.



2.9-rasm.  $R, L, C$  parallel ulangan zanjir sxemasi.



2.10-rasm. Rezonans grafiqi.

Bunday sxemaga *abadiy rezonans sxemasi* deb ataladi. Sxemaning toklar rezonansi holatida kuchlanish va toklarning vektorlari diagrammasi keltirilgan. Induktiv va sig'im shoxobchalaridagi toklar aktiv  $I_{la}$ ,  $I_{ca}$  va reaktiv

$$I_{lp} = -I_{cp} \quad (2.55)$$

tashkil etuvchilardan iborat. Umumiy tok  $I_0$  esa:

$$I_{la} + I_{ca} = -I_0$$

Agar  $R_1$  va  $R_2$  rezistorlar,  $\omega_0 L$  va  $1/\omega_0 C$  reaktiv qarshiliklarga nisbatan qancha kichik bo'lsa,  $I_{la}$  va  $I_{ca}$  toklari orasidagi burchak siljishi  $180^\circ C$  ga yaqinlashadi; bunda shoxobchalardagi toklar bir-biriga teng bo'ladi.  $I_k = I_{la} = I_{ca}$  tebranish konturi bo'yicha o'tadi.

Rezonans vaqtida zanjir faqat aktiv o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi.

$$Y_0 = g_0 = \frac{R_1}{R_1^2 + (\omega_0 L)^2} + \frac{R_2}{R_2^2 + (1/\omega_0 C)^2}.$$

$$Y_0 = \frac{R_1 + R_2 \omega_0^2 LC}{R_1^2 + (\omega_0 L)^2}. \quad (2.56)$$

### Elektrotexnik qurilmalarning quvvat koeffitsiyenti

( $\cos \varphi$ ) va uning mohiyati.

#### Quvvat koeffitsiyentini oshirish usullari va hisoblash asoslari

Elektr energiyasi tok iste'molchilari amaliyotda asosan aktiv induktiv xarakterli bo'ladi va yuklama toki fazasi manba kuchlanishi fazasidan orqada qoladi.

Yuklama quvvat koeffitsiyentini  $\cos$  ning  $\varphi$  kamayishi yuklama tokining ortib borishiga olib keladi, ya'ni:

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi} \quad (2.57)$$

Sinusoidal tok generatorlari ma'lum bir  $S_{nom} = U \cdot I_{nom}$  nominal quvvatga mo'ljallangan bo'ladi, ya'ni  $U_{nom}$  nominal kuchlanishda ular faqat belgilangan nominal  $I_{nom}$  tokdan oshmagan yuklamaga ulanishi mumkin.



Generator va birlamchi motordan iborat elektr manbaining umumiy foydali ish koeffitsiyenti har bir uskunaning foydali ish koeffitsiyentiga bog'liq bo'lib, birlamchi motorning ishi asosan generatorning aktiv quvvatiga bog'liq. Shu sababli generatorni aktiv quvvat bilan to'la yuklantirmaslik, ayniqsa birlamchi motorni, umuman energetik qurilmaning foydalanish koeffitsiyentini pasayishiga olib keladi. Oqibatda elektr energiyasi uchun to'lovlar ko'payadi.

Bundan tashqari, uzatish liniyasidagi quvvat isrofi katta bo'ladi.

$$\Delta P = r_{\text{ll}} I^2 = \frac{r_{\text{ll}} P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} \quad (2.58)$$

Ifodadan ko'rinib turibdiki, yuklamaning quvvat koeffitsiyenti qancha kam bo'lsa, quvvat isrofi shuncha ko'p bo'ladi. Binobarin yuklamaning  $\cos \varphi$  quvvat koeffitsiyenti qancha kam bo'lsa, uni ta'minlab turadigan elektr energiyasining narxi shuncha qimmatga tushadi.

Elektr uskunaning quvvat koeffitsiyentini oshirishning uchta usuli mavjud:

1. Induktiv xarakterli yuklamaga kondensator batareyalarni parallel ulash;
2. Induktiv xarakterli yuklamaga kondensatorlarni ketma-ket ulash;
3. Elektr tarmog'iga sinxron motor ulash usuli.

Quyida birinchi usulda qo'llaniladigan kondensatorlar batareyasini hisoblash yo'lini ko'rib chiqamiz. Vektor diagrammadan  $I$  tok bilan  $U$  kuchlanish orasidagi kerakli burchak siljishini olish uchun sig'im shoxobchasidagi  $I_C$  tok yuklamaning kompensatsiya qilishdan avvalgi reaktiv tashkil etuvchi  $I_{\text{ryuk}}$  tokidan kompensatsiya qilingandan keyingi  $I_r$  toklarning ayirmasiga teng bo'lishi kerak:

$$I_C = I_{\text{ryuk}} - I_r \quad (2.59)$$

(2.59) dagi toklarni yuklamaning aktiv tashkil etuvchi  $I_a$  tok orqali ifodalash mumkin:

$$I_{\text{ryuk}} = I_a \operatorname{tg} \varphi_{\text{yuk}} \quad \text{va} \quad I_r = I_a \operatorname{tg} \varphi$$

Natijada (2.59) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$I_C = I_a \operatorname{tg} \varphi_{\text{yuk}} \quad \text{va} \quad I_r = I_a \operatorname{tg} \varphi$$

Bu ifodada:  $I=U\omega C$ ;

$I_a$  tokni quvvat va kuchlanish orqali ifodalab,  $I_a=R/U$  ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$U_{\omega C} = \frac{P}{U} (tg\varphi_{yuk} - tg\varphi)$$

Oxirgi ifodadan kondensator batareyasining sig'imini topamiz:

$$C = \frac{P(tg\varphi_{yuk} - tg\varphi)}{\omega U^2} \quad (2.60)$$

Odatda, kondensator batareyalari yordamida  $\cos\varphi=0,92-0,96$  gacha ko'tariladi. Quvvat koeffitsiyenti bundan katta bo'lishi texnik iqtisodiy ko'rsatgichlarga ko'ra maqsadga muvofiq emas.

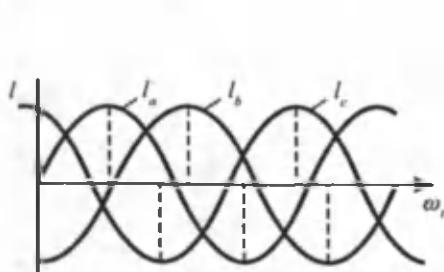
### III BOB

## UCH FAZALI O'ZGARUVCHAN TOK ELEKTR ZANJIRLARI

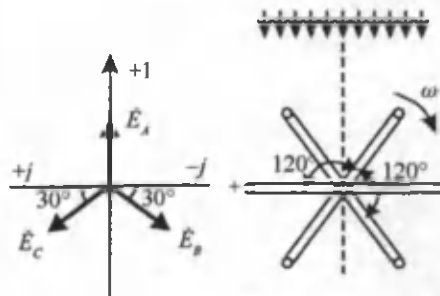
### 3.1. Uch fazali o'zgaruvchan tok elektr zanjirlari haqida tushuncha

Uch fazali EYuKning simmetrik tizimi deb, o'zaro bir-biridan fazasi  $120^\circ$  ( $2\pi/3$  rad) burchakka burilgan bir xil chastotali va amplitudali EYuKlar majmuiga aytiladi. 3.1-rasmda shunday tizimi EYuKlari oniy qiymatlarining grafigi, 3.2-rasmda esa, uning vektorlar diagrammasi keltirilgan.

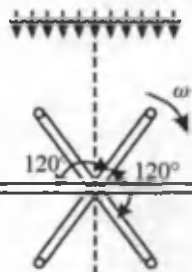
3.3-rasmda uch fazali EYuK tizimini hosil qilish prinsipi keltirilgan. Agar uchta bir-biriga nisbatan  $120^\circ$  ga siljitib mustahkamlangan chulg'amlarni magnit maydonida  $\omega$  burchak tezligi bilan soat mili bo'yicha aylantirilsa, chulg'amlarda sinusoidal EYuK hosil bo'ladi. Bu EYuKlar bir xil amplitudali bo'lib, fazalari esa  $120^\circ$  ga farq qiladi. Xuddi shu usul bilan ikki, to'rt va ko'proq fazali EYuK tizimini hosil qilish mumkin. Sanoat korxonalarida, qishloq va suv xo'jaligida, umuman iqtisodiyotning barcha sohalarida asosan uch fazali tizimi juda keng tarqal-



3.1-rasm. Uch fazali EYu.k. grafigi.



3.2-rasm. Vektor diagrammasi.



3.3-rasm. Uch fazali EYu.k hosil qilish.

gan. Uch fazali generatorning EYuK lari 3.2-rasmdagidek ko'rsatiladi: birinchi fazadagi EYuKni  $E_A$  deb belgilasak, undan  $120^\circ$  orqadagi ikkinchi faza EYuK  $-E_B$ ,  $120^\circ$  oldindagi uchinchi faza EYuK  $E_C$  deb belgilanadi. Uch fazali zanjirda faza tushunchasining keng ma'nosi bor.

Uch fazali manba, uch fazali iste'molchi va ularni birlashtiruvchi o'tkazgich simlar birgalikda *uch fazali zanjir* deb ataladi.

Uch fazali zanjirda faza deb shunday zanjirning bir qismiga aytiladiki, undan bir xil tok o'tadi. Demak, faza deganda bir fazali zanjirni tushunish zarur. Ikkinchi tomondan esa, sinusoidal o'zgaruvchi kattalikning argumenti ham faza deb ataladi. Shunday qilib, ko'rilayotgan masalaga qarab, faza deganda uch fazali zanjirning tarkibiy qismi yoki sinusoidal o'zgaruvchan kattalik EYuK, tok yoki kuchlanishning argumenti tushuniladi.

**Uch fazali zanjirning simmetrik rejimi.** Hozirgi vaqtda elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash uch fazali tizimi yordamida amalga oshiriladi.

Sistemaning barcha fazalari uchun uch fazali sinxron generator elektr energiya manbai hisoblanadi.

Uch fazali generator EYuK larning oniy qiymatlari quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

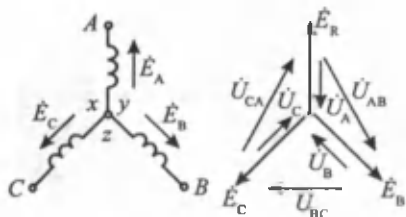
EYuK oniy qiymatlarining algebraik yig'indisi  $e_A + e_B + e_C = 0$ . EYuK vektorlarining geometrik yig'indisi yopiq uchburchak hosil qiladi.

$E_A + E_B + E_C = 0$  - bu EYuKlarning uch fazali simmetrik sistemasidir.

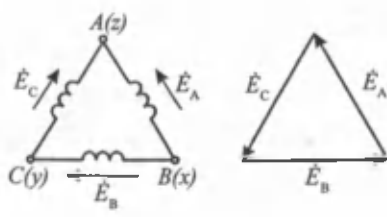
Uch fazali simmetrik tizimi EYuK ifodalari kompleks shaklda quyidagicha bo'ladi:

Uch fazali zanjirlarda generator, transformator chulg'amlari, iste'molchilar ikkita usulda: yulduz va uchburchak usulida ulanadi.

Masalan, generatorning chulg'amlarini yulduz va uchburchak usulda ulanishi va EYuKlarning vektor diagrammalari 3.4 va 3.5-rasmlarda keltirilgan.



3.4-rasm. E.Yu.K vektor diagrammasi (Δ sxema uchun).



3.5-rasm. E.Yu.K lar vektor diagrammalari (Δ sxema y uchun).

Generator faza chulg'amlarini uchta elektr energiyasi iste'molchilariga 6 ta sim yordamida ulash (3.6-rasm) va shu bilan uchta mustaqil faza zanjirlarini hosil qilish mumkin. Amalda bunday ulash iqtisodiy samarasiz bo'lgani uchun qo'llanilmaydi.

Agar generator chulg'amlari yulduz yoki uchburchak usulda ulanib, iste'molchilar ham shu usullarda ulangan bo'lsa, ularni birlashtiruvchi simlar sonini uchta yoki to'rttaga keltirish mumkin. Elektr sxemalarda generator faza chulg'amlari qismlarni belgilanishi EYuKlar musbat yo'nalishini aniqlab beradi. Chulg'amlar boshlanishi katta  $A, B, C$  harflar bilan chulg'amlari oxiri esa, katta  $X, Y, Z$  harflar bilan belgilanadi.

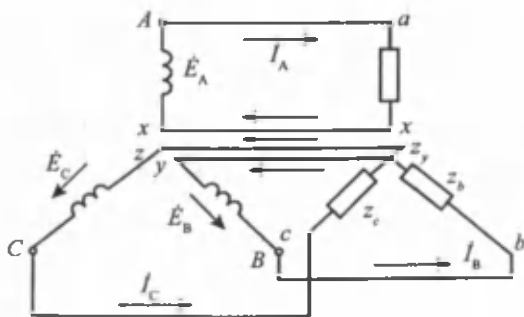
Chulg'amlar ichida EYuK va toklar  $X, Y, Z$  dan  $A, B, C$  tomon yo'naltiriladi. Tashqi zanjirda toklar generatorning faza chulg'amlarining boshlanishidan iste'molchilar tomon yo'nalgan bo'ladi.

**Fazalarni yulduz sxemasida ulash.** Yulduz usulida ulash uchun (shartli belgisi  $X, Y, Z$ ) qismlar (generator fazalari chulg'amlarining «oxiri») bitta umumiy nuqta  $N$  ga birlashtiriladi. Tegishli  $n$  nuqtada iste'molchi faza zanjirlarining uchta uchi ham birlashtiriladi (3.7-rasm).

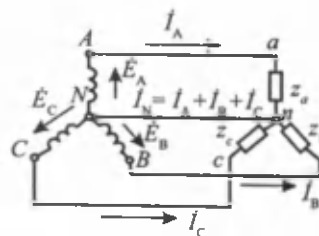
Generator bilan iste'molchining neytral tugunlari o'zaro neytral sim bilan birlashtiriladi. Bu sim oldingi rasmdagi faza toklari qaytish simlarini birlashtirish natijasida hosil bo'ladi. Demak, tizimining neytral simidagi tok faza toklarning vektor yig'indisiga teng bo'ladi.

$$I_N = I_A + I_B + I_C \quad (3.1)$$

Agar barcha fazalarda toklar bir xil va faza kuchlanishlari hamda toklari orasidagi faza siljishlari, shuningdek iste'molchi ayrim fazalarning to'la qarshiliklari o'zaro teng bo'lsa, u holda bunday tizimi



3.6-rasm. Uch fazali sistema.



3.7-rasm. Uch fazali to'rt simli sistema.

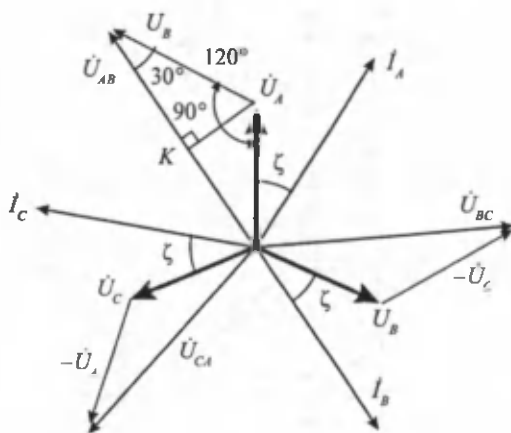
simmetrik deyiladi. Simmetrik yuklamada faza toklari vektorlarining yig'indisi yopiq uchburchak hosil qiladi. Demak, u holda neytral simdagi tok  $I_N=0$ . Xuddi shu sababga ko'ra simmetrikligi oldindan ma'lum bo'lgan uch fazali yuklama uchun neytral sim kerak emas ekan. Bu xususiyatdan uch fazali transformatorlar va elektr motorlarni ishlatishda foydalaniladi.

Generator bilan iste'molchi fazalari yulduz sxemasida ulanganda ularning qismlaridagi kuchlanishlar faza kuchlanishlari  $U_f$  deyiladi. ( $U_A, U_B, U_C$  – faza kuchlanishlari). Tizimda liniya simlari (fazalararo) orasida kuchlanishlar bo'lib, ular liniya  $U_L(U_{AB}, U_{BC}, U_{CA})$  – fazalaoaro kuchlanishlar deyiladi. Faza kuchlanishlarining yo'nalishi faza EYuK yo'nalishlariga teskari bo'ladi (3.8-rasm). Liniya kuchlanishi tegishli faza kuchlanishlarining vektor ayirmasiga teng.

Simmetrik tizimida liniya va faza kuchlanishlarini vektor diagramma yordamida oson aniqlash mumkin (3.8-rasm). Diagrammaga faza kuchlanishlarning uchta vektori –  $U_A, U_B,$  va  $U_C$  larni asos qilib olish mumkin.

Ular orasidagi burchaklar  $120^\circ$  ga teng, liniya kuchlanishi vektori  $U_{AB}$  ni qurish uchun  $U_A$  dan  $U_B$  ni ayirish lozim yoki  $U_A$  ga  $(-U_B)$  ni qo'shish kerak.

Fazalari yulduz usulda ulangan simmetrik yuklamada toklar, faza va liniya kuchlanishlari vektorlari diagrammasi 3.8-rasmda keltirilgan.



3.8-rasm. Vektor diagramma.

$(-U_B)$  moduli kattaligt jihatidan  $U_B$  ga teng, lekin yo'nalishi jihatidan esa, unga qarama-qarshidir. Ko'rilyotgan kuchlanishlar simmetrik bo'lgani uchun faza va liniya kuchlanishlarining vektorlari o'tkir burchaklari  $30^\circ$  dan va o'tmas burchagi  $120^\circ$  bo'lgan uchta teng yonli uchburchak hosil qiladi. Istalgan bitta uchburchakning o'tmas burchagi uchidan qarama-qarshi tomonga perpendikular tushirib, quyidagini hosil qilish mumkin:

$$U_i = \sqrt{3}U_f \quad (3.2)$$

Demak, yulduz usulida ulangan uch fazali simmetrik tizimida liniya kuchlanishlari faza kuchlanishlaridan  $\sqrt{3}$  marta katta bo'ladi. Yoritish va kuch yuklamalari ulangan tizimlarda 380 V liniya kuchlanishi uch fazali motor yoki transformator qismlariga,  $220\text{ V} = 330/\sqrt{3}$  faza kuchlanishi esa, yoritish asbolariga ulanadi. Yulduz usulida ulashda uzatish liniyalarining simlaridagi toklar liniya toklari  $I_l$  faza toklariga  $I_f$  teng bo'ladi, chunki faza zanjirining barcha qismlari (fazalari) bilan liniya simlari ketma-ket ulangan:

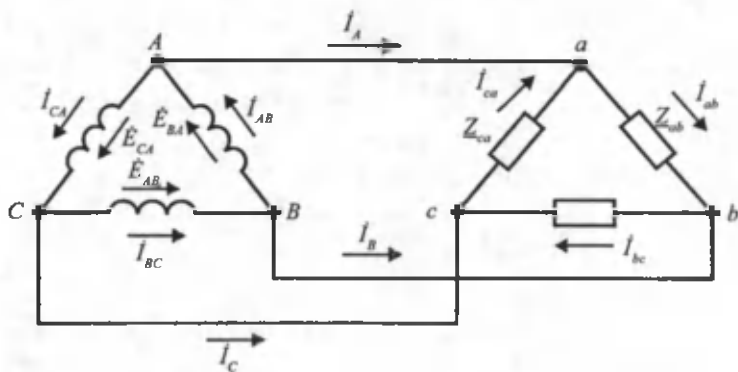
$$I_l = I_f \quad (3.3)$$

Yoritish yuklamasi yulduz usulida ulanganda, iste'molchilar liniya simlari bilan neytral sim orasiga ulanadi. Ko'pincha yoritish yuklamasi nosimmetrik bo'ladi, bu holda qaytish toki uchun neytral sim zarur. Neytral sim bo'lmaganida, iste'molchi fazalari qarshiliklarining nisbatiga qarab, bitta faza kuchlanishi kerakligidan kamroq, boshqasi esa ancha ko'p bo'lishi mumkin. Xuddi shu sababli neytral simlarga saqlagichlar yoki ulab uzgichlar o'rnatish taqiqlanadi.

**Fazalarni uchburchak usulida ulash.** Uch fazali qurilmalarda uchburchak usulida ulash (shartli belgilanishi  $\Delta$ ) yulduz usulida ulashga qaraganda kamroq qo'llaniladi. Uchburchak usulida ulashda (3.9-rasm) generator fazalarining chulg'amlari faza bitta chulg'amining boshi undan oldingi chulg'amning oxiriga ulanadigan qilib birlashtiriladi. ( $A$  bilan  $Z$ ,  $B$  bilan  $X$  va  $C$  bilan  $Y$ ).

Bunday ulashda EYuK musbat yo'nalishlari generator fazalar chulg'amlarining uchburchak ichida bir xil yo'naladi; demak, shu uchburchak ichida faza EYuK oniy qiymatlarining algebraik yig'indisi ta'sir etadi.

Lekin  $e_A + e_B + e_C = 0$  va shu sababli generator chulg'amlariga tenglashtiruvchi tok paydo bo'lmaydi.



3.9-rasm. Fazalarni uchburchak usulida ulash.

Chulg'amlarining ikkita qismasini birlashtirishdan hosil bo'lgan umumiy nuqtalar liniya simlariga biriktiriladi va ularga iste'molchilarning fazalari ulanadi. Sistemaning liniya simlaridagi tok ikkita faza toklari yig'indisiga teng bo'lib, ularning musbat yo'nalishlari qarama-qarshi bo'ladi (3.9-rasm).

Demak, liniya simlaridagi natija tok tegishli faza toklarining vektor ayirmasiga teng.

Bu tizimda uchta faza kuchlanishlari bir vaqtning o'zida liniya kuchlanishlarini tashkil etadi.  $U_f = U_l$  faza toklari ikkita indeks bilan ifodalanadi:  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$  va  $I_{CA}$ .

Liniya toklari esa, bitta indeks bilan:  $I_A$ ,  $I_B$  va  $I_C$ .

Sistemaning vektor diagrammasini tuzishda uchta liniya kuchlanishlari asos qilib olinadi (3.10-rasm). Ular orasidagi burchaklar  $120^\circ$  ga teng.

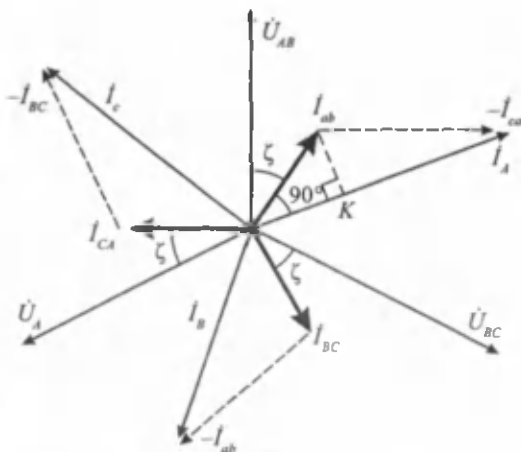
Simmetrik yuklamada faza toklarining vektorlari:  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$  va  $I_{CA}$ , ularni hosil qiluvchi kuchlanishlarga nisbatan G burchakka siljigan bo'ladi. Bu burchakning qiymati iste'molchining reaktiv va faol qarshiliklarining nisbatiga bog'liq.

Kuchlanish va toklarning vektor diagrammasi siljigan bo'ladi.

3.10-rasmdan ko'rinib turibdiki liniya tokining vektori  $I_A$  ni qurish uchun  $I_{AB}$  va  $(-I_{CA})$  ni, ya'ni  $I_{CA}$  ga kattaligi jihatidan teng, yo'nalishi jihatidan unga qarama-qarshi bo'lgan vektorni qo'shish lozim.

Qolgan ikkita liniya toklari ham shunday aniklanadi. Simmetrik yuklamada faza toklari kattaligi jihatdan bir xil:  $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_f$  bo'ladi va liniya toklari ham o'zaro tengdir:  $I_A = I_B = I_C = I_L$ .





3.10-rasm. Uchburchak usulida ulangan simmetrik uch fazali tizimi.

Diagrammada faza va liniya toklarining vektori o'tkir burchaklari  $30^\circ$  va o'tmas burchagi  $120^\circ$  li teng yonli uchburchak hosil qiladi. Bunday uchburchakning o'tmas burchagi uchidan qarama-qarshi tomonga perpendikular tushirib, quyidagini topamiz:

$$I_l = \sqrt{3} I_f \quad (3.4)$$

Demak, uchburchak usulida ulangan uch fazali simmetrik tizimida faza kuchlanishlari bir vaqtning o'zida liniya kuchlanishlarini ham tashkil etadi.

$U_f = U_p$  liniya toklari esa, faza toklaridan  $\sqrt{3}$  marta ko'p bo'ladi.

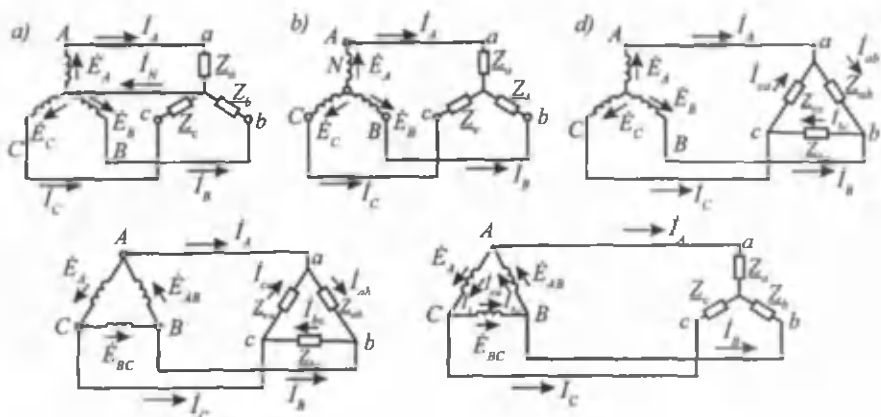
Fazalarni uchburchak usulida ulashning afzalligi shuki, nosimmetrik yuklamasida to'rtinchi simdan foydalanishning hojati bo'lmaydi.

Iste'molchilar uch fazali tarmoqning uchta simiga ulanadi, bunda ular tarmoqqa energiya beradigan generator fazalarining ulanishi usulidan qat'i nazar, yulduz usulida ham, uchburchak usulida ham ulanishi mumkin.

Uch fazali generatorni uch fazali yuklamalar bilan ulanishining beshta oddiy usuli quyida keltirilgan (3.11-rasm).

Generatorning  $A, B, C$  qismlarini yuklamaning  $a, b, c$  qismlari bilan birlashtiruvchi simlarga **liniyalar** deb ataladi. Shu sababdan liniya simlaridan o'tuvchi toklarni *liniya toklari* deb ataymiz.

Ularning shartli yo'nalishlari generatordan yuklama tomon deb qabul qilingan liniya toklarining modulini  $I$  deb belgilaymiz.  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  moduli  $U_f$  ga teng.



3.11-rasm. Uch fazali generatorning iste'molchilar bilan ulanish sxemalari.

Generatorning har bir chulg'amini generator fazasi deyiladi, ulardan o'tuvchi tokni faza toklari,  $I_f$  kuchlanishlarini esa, faza kuchlanishlari  $U_f$  deb belgilaymiz.

#### Uch fazali tizimning afzalliklari:

1. Uzoq masofaga elektr energiyasini uzatishda uch fazali toklar tizimisi boshqa sonli o'zgaruvchan toklar tizimidan iqtisodiy jihatdan ancha afvazdir.
2. Sistema elementlari – uch fazali asinxron motor (yuritgich) va uch fazali transformatorlarni sanoq tizimida yasash juda sodda, materiallar sarfi kam va ishlashdagi puxtaligi esa ancha yuqoridir.
3. Agarda hamma uchta fazada bir xil yuklama bo'lsa, ya'ni simmetrik rejim bajarilganda, tizimida oniy quvvat sinusoidal tokning har bir davrida o'zgarmaslik xususiyatiga egadir.

### 3.2. Nosimmetrik uch fazali zanjirlar va ularni hisoblash

Uch fazali zanjirlarda nosimmetriya har xil sabablar natijasida paydo bo'ladi:

1. Yuklama faza qarshiligining har xil bo'lishi;
2. Nosimmetrik qisqa tutashuv;
3. Fazalardan birining uzilib ketishi;
4. Generator faza EYuKlari kattaligini har xil bo'lishi va boshqalar.

Bunday hollarda uch fazali zanjirni tarmoqlangan bir nechta bir fazali manbalardan hosil qilingan va har bir fazasi o'z almashlash sxemasiga ega

bo'lgan zanjir deb, uning rejimini hisoblash mumkin. 3.12-*a* rasmda uch fazali zanjir sxemasi keltirilgan. Manba yulduz usulida ulangan bo'lib, to'rtta sim orqali iste'molchiga biriktirilgan. Sxemada liniya simlarining qarshiligi hamda  $N$  va  $n$  neytrallarni birlashtiruvchi simning qarshiligi va nosimmetrik iste'molchining qarshiliklari bilan ko'rsatilgan. Iste'molchi ham yulduz usulida ulangan.

$N$  va  $n$  tugunlar orasidagi kuchlanishni ikki tugun usulidan foydalanib, quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$U_{Nn} = \frac{E_A Y_A + E_B Y_B + E_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N} \quad (3.5)$$

Bu ifodadan:

$$Y_A = \frac{1}{Z + Z_A}; \quad Y_B = \frac{1}{Z + Z_B}; \quad Y_C = \frac{1}{Z + Z_C}; \quad Y_N = \frac{1}{Z + Z_N} \quad (3.6)$$

Bu uch fazali zanjirni 3.12-*b* rasm ko'rinishida ham chizish mumkin. Sxemada liniya toklari faza toklariga teng. Faza toklari esa quyidagicha aniqlanadi:

$$I_A - (E_A - U_{Nn}) Y_A; \quad I_B - (E_B - U_{Nn}) Y_B; \quad I_C - (E_C - U_{Nn}) Y_C \quad (3.7)$$

Neytral simlardagi tok:

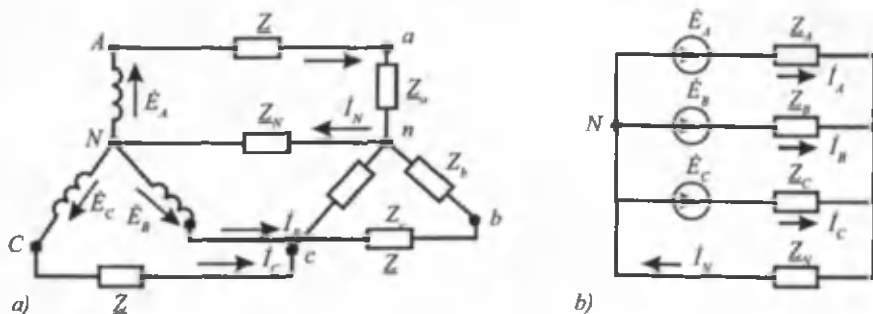
$$I_N = U_{Nn} Y_N - I_A + I_B + I_C \quad (3.8)$$

Aniqlangan faza toklari orqali yuklama faza kuchlanishlari hisoblanadi.

$$\dot{U}_A = Z_A I_A; \quad \dot{U}_B = Z_B I_B; \quad \dot{U}_C = Z_C I_C \quad (3.9)$$

Liniya kuchlanishlari esa:

$$\dot{U}_{An} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \quad \dot{U}_{Bc} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \quad \dot{U}_{Ca} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \quad (3.10)$$



3.12-rasm. a) uch fazali zanjir sxema, b) ekvivalent sxemasi.

Agar generatorning EYuKlari  $E_A, E_B, E_C$  berilgan bo'lsa, unda  $A, B, C$  nuqtalari bilan neytral  $n$  nuqtasi orasidagi faza kuchlanishlarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\dot{U}_{An} = \dot{E}_A - \dot{U}_{nN}; \quad \dot{U}_{Bn} = \dot{E}_B - \dot{U}_{nN}; \quad \dot{U}_{Cn} = \dot{E}_C - \dot{U}_{nN} \quad (3.11)$$

Iste'molchi neytrali  $n$  bilan generator neytrali  $N$  orasidagi kuchlanish  $U_{nN}$  vektor ko'rinishda  $n$  neytralning siljish kuchlanishini ko'rsatadi.

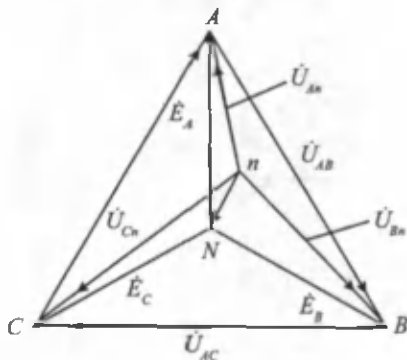
3.13-rasmda nosimmetrik uch fazali zanjirning topografik diagrammasi keltirilgan. Oldin generator simmetrik EYuK lari  $E_A, E_B, E_C$  vektorlarini quramiz.

Bitta manbaga bir nechta iste'molchilar ulanganda ham ko'rsatilgan tartibda nosimmetrik zanjirni hisoblash mumkin. Agar yuklama ( $Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$ ) usulida ulangan bo'lsa, uning qarshiliklarini unga ekvivalent bo'lgan yulduz usulida ulangan qarshiliklar bilan almashlab, yana yuqorida ko'rsatilgan usulda zanjirlarni hisoblaymiz.

Uchburchak usulda ulangan qarshiliklarni yulduz usulida ulangan qarshiliklar bilan almashtiramiz.

Bu  $Z_A, Z_B, Z_C$  qarshiliklar liniya qarshiliklari  $z$  bilan ketma-ket ulangan. Shuning uchun har bir fazaning kompleks qarshiligi  $Z_A = Z + Z_A, Z_B = Z + Z_B, Z_C = Z + Z_C$  bo'ladi va ular nosimmetrik yulduz sxemani tashkil etadi. Faza kuchlanishlari  $U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}$  ni berilgan liniya kuchlanishlari  $U_{AB}, U_{BC}$  va  $U_{CA}$  orqali aniqlasak, u holda:

$$U_{nN} = \frac{\dot{U}_A \cdot Y_A + \dot{U}_B \cdot Y_B + \dot{U}_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}; \quad (3.12)$$



3.13-rasm. Nosimmetrik uch fazali zanjirning topografik diagrammasi.

ya'ni:

$$U_{nN} = \frac{\dot{U}_A \cdot \dot{U}_B (Y_B/Y_A) + \dot{U}_C (Y_C/Y_A)}{1 + Y_B/Y_A + Y_C/Y_A} \quad (3.13)$$

bu tenglamalarni birgalikda yechib, faza kuchlanishlari aniqlanadi.

Bu formulalardan foydalanib, ekvivalent yulduz sxemasi uchun liniya toklari quyidagicha hisoblanadi:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_{An} Y_A; \quad \dot{I}_B = \dot{U}_{Bn} Y_B; \quad \dot{I}_C = \dot{U}_{Cn} Y_C \quad (3.14)$$

Aniqlangan toklardan foydalanib, ekvivalent yulduz sxemasining  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  qarshiliklaridagi faza kuchlanishlarini topamiz:

$$\dot{U}_{An} = Z_A \dot{I}_A; \quad \dot{U}_{Bn} = Z_B \dot{I}_B; \quad \dot{U}_{Cn} = Z_C \dot{I}_C \quad (3.15)$$

Uchburchak usulida ulangan qarshiliklardagi kuchlanishlar, ya'ni liniya kuchlanishlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\dot{U}_{AB} = Z_A \dot{I}_A - Z_B \dot{I}_B; \quad \dot{U}_{BC} = Z_B \dot{I}_B - Z_C \dot{I}_C; \quad \dot{U}_{CA} = Z_C \dot{I}_C - Z_A \dot{I}_A \quad (3.16)$$

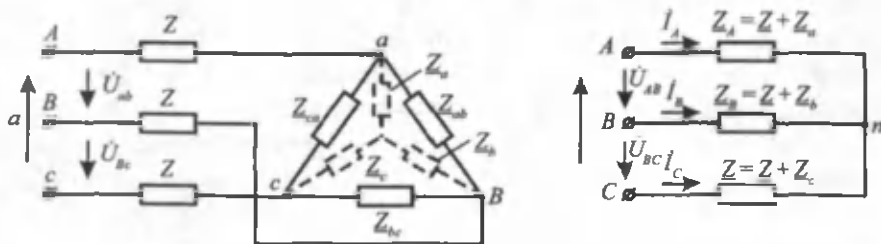
Uchburchak usulda ulangan qarshiliklardagi faza toklari esa:

$$\dot{i}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \dot{i}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{AC}}; \quad \dot{i}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}} \quad (3.17)$$

bo'ladi.

Juda katta nosimmetriyali yuklamalarda neytral simning yo'qligi yoki uning uzilib ketishi yuklama neytrali  $n$  nuqtasining potentsiali katta qiymatlarga ega bo'lishiga sababchi bo'ladi va shu bilan birga,  $n$  nuqtani liniya kuchlanishlari uchburchagi tashqarisida bo'lishiga olib keladi. Neytrallarni birlashtiruvchi  $Nn$  sim esa, neytralni siljish kuchlanishi  $U_{Nn}$  ni kamaytiradi, chunki har bir fazaning qarshiligi neytral simning qarshiligidan ancha kattadir.

Demak, neytral sim uch fazali nosimmetrik tizimida faza kuchlanishlarining simmetriyasini ta'minlaydi.



3.14-rasm. Uchburchak usulida ulangan uch fazali nosimmetrik zanjir.

---

---

## IV BOB

# TRANSFORMATORLAR VA ELEKTROTEXNIK QURILMALAR

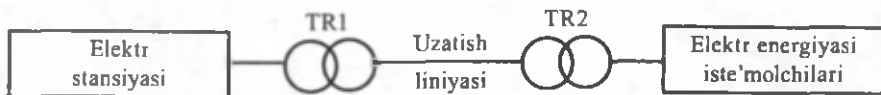
### 4.1. Transformatorning vazifasi va qo'llanish sohasi

Katta elektr quvvatlarini uzoq masofaga uzatishda energiya isrofini (rangli metallarni kam sarflagan holda) yuqori kuchlanishlardan foydalanib kamaytirish mumkin. Hozirgi vaqtda 500, 750 va 1150 kV li tizimlararo elektr uzatish liniyalari qurilgan va qurilmoqda. Ammo bunday yuqori kuchlanishlarni bevosita generatorlarda hosil qilib bo'lmaydi, ikkinchi tomondan, elektr energiya iste'molchilari 380 yoki 500 V ga mo'ljallangan bo'ladi. Shu munosabat bilan transformatorlardan keng foydalaniladi.

Transformatorlar asosan elektr energiyasini stansiyalardan sanoat korxonalariga uzatib berish tizimlarida kuchlanishni o'zgartirish uchun xizmat qiladi.

Elektr generatorlarining chiqish kuchlanishi 20 kV dan ortiq bo'lmagani uchun elektr uzatish liniyasining boshlanishida kuchaytiruvchi transformatorlar o'rnatiladi, ular o'zgaruvchan tokning kuchlanishini kerakli qiymatgacha ko'paytirib beradi.

Elektr uzatish liniyasining uzunligi va uzatiladigan quvvat qanchalik katta bo'lsa, bu kuchlanish ham shunchalik katta bo'lishi kerak. Elektr energiyasi iste'molchilariga taqsimlanadigan joylarda pasaytiruvchi transformatorlar o'rnatiladi: ular kuchlanishni talab qilinadigan darajagacha, masalan, 6 kV gacha pasaytirib beradi va nihoyat, elektr energiyasi iste'mol qilinadigan joylarda kuchlanish pasaytiruvchi transformatorlar vositasida yana 127, 220 ekm 380 V gacha kamaytiriladi va bevosita korxonalarining iste'molchilariga hamda turlari joy binolariga beriladi. Quyida elektr energiyasining uzoq masofalarga uzatish sxemasi tasvirlangan.



4.1-rasm: Elektr energiyasini uzatishning sxemasi.

TR1 – kuchaytiruvchi transformator; TR2 – pasaytiruvchi transformator.

1. Ishlatish joyiga yoki vazifalariga ko'ra.

**Quvvat transformatorlari.** Elektr energiyasini uzatish va taqsimlashda ishlatiladigan kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformator.

**Maxsus transformatorlar:**

1. Maxsus maqsadlarda ishlatiladigan quvvat transformatorlari,
2. To'g'rilagich transformatorlar,
3. Payvandlash transformatorlari,
4. Radio transformator,
5. O'lchov va sinov transformatorlari,
6. Avtotransformatorlar,
7. Chastotali o'zgartirish uchun ishlatiladigan transformatorlar.

**Transformatorlarning turlari va vazifalari.** Transformator deb, bir kuchlanishli o'zgaruvchan tokni boshqa bir kuchlanishli o'zgaruvchan tokka aylantirish uchun xizmat qiladigan statik elektrotexnik qurilmaga aytiladi.

Transformatorlar elektr energiyasini uzatishda, tarqatishda keng qo'llaniladi.

Vazifalariga ko'ra transformatorlar:

- quvvat transformatorlari,
- maxsus transformatorlarga bo'linadi.

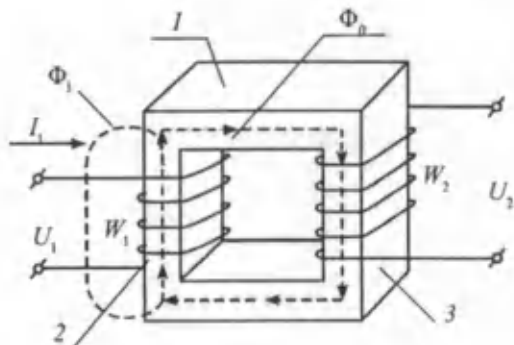
Katta quvvatli transformatorlar, bir fazali va uch fazali transformatorlarga, pasaytiruvchi va kuchaytiruvchi transformatorlarga bo'linadi. Sovitish usuliga qarab havo yordamida va suyuqlik yordamida sovitiladigan transformatorlarga bo'linadi.

Maxsus transformatorlarga esa, o'lchash transformatorlari, payvandlash transformatorlari, avtotransformatorlar va boshqalar kiradi.

**Bir fazali quvvat transformatorlarining tuzilishi va ishlash prinsipi.**

Transformatorning ishlash prinsipi elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan.

Transformatorning manbaga ulanadigan chulg'ami birlamchi, iste'molchiga ulanadigan chulg'ami esa ikkilamchi chulg'ami deyiladi. (4.2-rasm).



4.2-rasm. Transformatorning tuzilishi.

Agar birlamchi chulg'amga  $U_1$  kuchlanish berilsa, u holda bu chulg'amdagi o'zgaruvchan  $i_1$  toki magnit o'tkazgichda o'zgaruvchan magnit oqimi  $\Phi_0$  hosil qiladi. Bu magnit oqimi birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar bilan ilashishi natijasida elektromagnit induksiya qonuniga binoan birlamchi  $e_1$  va ikkilamchi  $e_2$  EYuK hosil bo'ladi:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi_0}{dt}, \quad e_2 = W_2 \frac{d\Phi_0}{dt} \quad (4.1)$$

Birlamchi chulg'amdagi tok:

$$i_1 = \frac{(u_1 + e_1)}{r_1} \quad \text{yoki} \quad u_1 = -e_1 + i_1 r_1 \quad (4.2)$$

Aktiv qarshilik  $r_1$  juda kichik bo'lganligi uchun:

$$u_1 = -e_1$$

Agar magnit oqimi o'zgarishi sinusoidal qonun bilan o'zgaruvchan bo'lsa, ya'ni:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (4.3)$$

U holda:

$$u_1 = -e_1 = W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \omega W_1 \Phi_m \sin \omega t \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (4.4)$$

EYuK ning maksimal qiymati esa:

$$E_{1m} = \omega W_1 \cdot \Phi_m = 2\pi f W_1 \Phi_m$$

ta'sir etuvchi qiymati:

$$E_{11} = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} = 4,44 \quad (4.5)$$



Induksiyalangan EYuK esa:

$$E_1 = 4,44 f W_1 \Phi_m \text{ yoki } E_2 = 4,44 f W_2 \Phi_m \quad (4.6)$$

$E_1/E_2$  – doimiy kattalik bo‘lib, transformatsiya koeffitsiyenti deyiladi va  $K$  harfi bilan belgilanadi:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = K. \quad (4.7)$$

Agar  $K > 1$  bo‘lsa, transformator pasaytiruvchi,  $K < 1$  bo‘lsa, kuchaytiruvchi transformator deyiladi.

Transformatorning birlamchi chulg‘amidagi quvvatni  $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi$  deb olaylik.

Ikkinlamchi chulg‘amdagi esa:  $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi$ .

Transformatoridagi quvvat isrofini quyidagi diagramma ko‘rinishida tahlil qilamiz (4.3-rasm).

Ikkinchi chulg‘amga uzatiladigan quvvat:

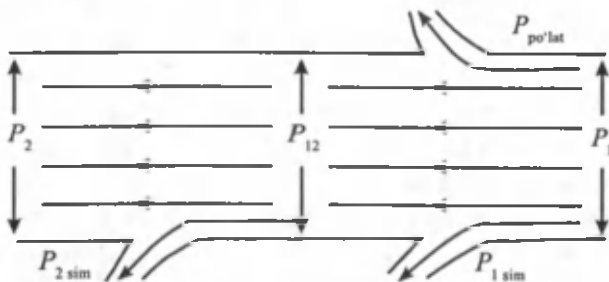
$$P_{12} = P_1 - P_{\text{po'lat}} - P_{\text{sim1}} \quad (4.8)$$

Ikkinchi chulg‘amda  $P_{12}$  quvvatning bir qismi bu chulg‘amning qizishiga sarf bo‘ladi, qolgan  $P_2$  quvvat esa tashqi iste‘molchiga uzatiladi:

$$P_2 = P_{12} - P_{\text{sim2}} \quad (4.9)$$

Transformatorning quvvat sarfi  $P_1 - P_2$  – bu quvvat sarfi asosan 2% gacha bo‘lishi mumkin.

Transformator berayotgan  $P_2$  quvvatning u olayotgan  $P_1$  quvvatga nisbati transformatorning FIK deb ataladi. Transformatorning eng yaxshi tomonlaridan biri uning FIK ning yuqoriligidir, ya‘ni 98–99% ni tashkil etadi.

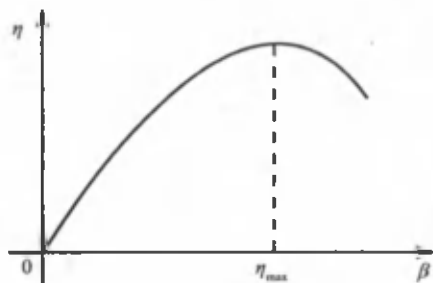


4.3-rasm. Quvvatlar isrofi grafigi (energetik diagramma).

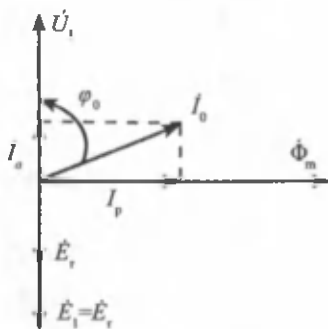
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%. \quad (4.10)$$

Transformatorlarda quvvat isrofi ikkita tashkil etuvchidan iborat, ya'ni o'zgarmas  $P_{po'l}$  va  $P_{1sim}, P_{2sim}$  dan iborat.

$\frac{I_2}{I_1} = \beta$  – nagruzka (yuklama) koeffitsiyenti deyiladi.



4.4-rasm.  $\eta$  ning  $\beta$  ga bog'lanish grafigi.



4.5-rasm. Vektorlar.

Grafikdan ko'rinadiki,  $\eta$  foydali ish koeffitsiyenti transformatorning yuklanish ko'rsatkichi  $\beta$  ga oshishi bilan oshib boradi va  $\eta_{max}$  qiymatidan keyin kamaya boshlaydi. Bu kamayishni shunday izohlash mumkin (4.4-rasm).

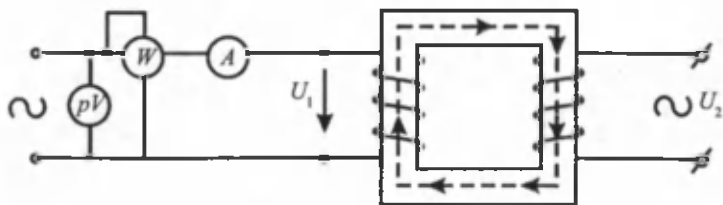
Ikkinchi chulg'amda nagruzka oshishi bilan quvvat isrofi oshadi, chunki simlardagi quvvat isrofi tok  $I$  ning kvadratiga to'g'ri proporsional.

**Salt ishlash rejimi.** Transformator tekshirilayotganda uning asosiy parametrlarini aniqlash maqsadida salt ishlatib ko'riladi (4.6-rasm).

Ekvivalent sxemaning parametrlari va transformatorning pasportida ko'rsatilgan bir qator kattaliklar shu tajribalardan olingan ma'lumotlar bilan aniqlanadi va pasportda ko'rsatilgan kattaliklar bilan solishtirib ko'riladi.

Transformator salt ishlaganda uning foydali energiyasi nolga teng bo'lsa ham, u tarmoqdan quvvat oladi. Bu quvvat asosan uning po'lat o'zagida magnit oqimini hosil qilishga sarflanadi.

Birlamchi chulg'amdan salt ishlash toki o'tganda quvvatning bir qismi chulg'amda issiqlikka aylanadi. Lekin salt ishlayotganda tokning qiymati juda kichik bo'lganligi uchun transformatorning birlamchi chulg'amida issiqlikka aylanadigan quvvat  $P_1 \cdot P_1$  juda oz bo'ladi.



4.6-rasm. Salt ishlash tajribasi.

Quvvat koeffitsiyenti:

$$\cos \varphi = \frac{P}{U_1 I_0} \quad (4.11)$$

Transformatorning salt ishlash rejimida vektor diagrammasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi (4.6-rasm).

Magnit oqimi  $\Phi$  kuchlanishi  $U_1$  dan  $\pi/2$  ga orqada. EYuKlar  $E_1$  va  $E_2$  lar esa magnit oqimidan  $\pi/2$  ga ortadi.  $E_2$  – yo'nalishi bo'yicha  $E_1$  bilan bir xil, ammo qiymati jihatdan esa:

$$E_1 = k E_2 = \frac{W_1}{W_2} \cdot E_2 \quad (4.12)$$

ishlash toki ikkita tashkil etuvchidan iboratdir. Reaktiv  $I_r$  va aktiv  $I_a$  magnitlovchi tok bo'lib,  $I_r$  magnit oqimi  $\Phi$  bilan faza bo'yicha mos keladi. Magnitlovchi tokning qiymati esa:

$$\Phi_m = \sqrt{2} W_1 \cdot I_r / R_m \quad (4.13)$$

formula orqali magnit oqimi bilan bog'langan.

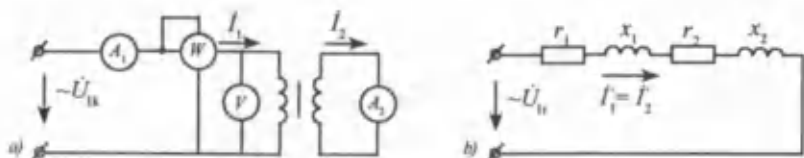
Salt ishlash rejimida tokning to'la qiymati:

$$I_0 = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad (4.14)$$

Salt ishlash rejimida  $I_0$  toki juda kichik bo'lib, transformatorlarda u (0,03–0,15)  $I_{1nom}$  ni tashkil etadi.

**Qisqa tutashuv rejimi.** Qisqa tutashuv tajribasi deb, uning ikkilamchi chulg'ami o'zaro qisqa tutashtiriladi, birlamchi chulg'amiga esa juda kamaytirilgan kuchlanish beriladi  $U_{1k}$ .

Qisqa tutashuv rejimida birlamchi chulg'amga beriladigan kuchlanish (5–10%)  $U_{1nom}$  ni tashkil qiladi yoki birlamchi chulg'am toki  $I_{1nom}$  ga teng bo'lishi kerak.



4.7-rasm.

a) qisqa tutashuv tajribasi, b) ekvivalent sxema.

Quvvat esa:

$$P_{\text{qisqa}} = U_1 \cdot I_{\text{Inom}} \cdot \cos\varphi_{\text{q.t}} = I_{\text{Inom}}^2 \cdot r_{\text{k.t}} \quad (4.15)$$

Qisqa tutashuv tajribasi asosan birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar toki nominal tokka teng qilib olinadi yoki nominal tokning 75–100–125% olinadi.  $U_{\text{iq}} = (5-10\%)U_{\text{Inom}}$ .

**Transformatorning asosiy xarakteristikalar:**

1. Tashqi xarakteristikasi:  $U_2 = f(I_2)$  – bog'lanish transformatorning tashqi xarakteristikasi deyiladi.

$\cos\varphi < 1$  (iste'molchi sig'im xarakterga ega) bo'lganda – oshadi.

$\cos\varphi > 1$  (induktiv xarakterli) bo'lganda  $U_2$  kamayadi.

2. F.I.K ning yuklama koeffitsiyentiga bog'liqlik grafigi:  $\eta = f(\beta)$  FIK

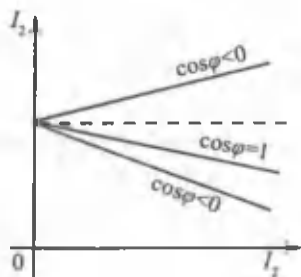
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_m} \quad (4.16)$$

Bu yerda:  $\Delta P_c$  – po'lat o'zakkdagi quvvat isrofi;

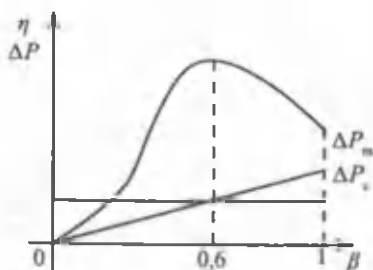
$\Delta P_m$  – mis simlardagi quvvat isrofi;

Foydali quvvat esa:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos\varphi_2 = \beta \cdot S_{\text{nom}} \cdot \cos\varphi_2 \quad (4.17)$$



4.8-rasm. Tashqi xarakteristika.



4.9-rasm. Yuklama grafigi.

$\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{nom}}}$  – yuklama koefitsiyenti:

$\Delta P_c$  – yuklamaga bog‘liq emas va salt ishlashdagi quvvatga tengdir.

$$\Delta P_m = I_2^2 \cdot R_k = R_k \cdot I_{\text{nom}}^2 \cdot \beta^2 \quad (4.18)$$

Transformatorning foydali ish koefitsiyenti  $\beta=0,5/0,7$  gacha maksimum qiymatga ega.

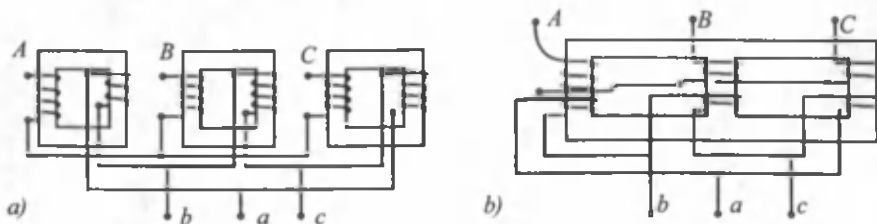
## 4.2. Uch fazali transformatorlar

**Tuzilishi va ishlashi.** Uch fazali transformator o‘zakdan va chulg‘amlardan iborat. Uning o‘zaklari uchta alohida bir fazali transformatoridan yoki umumiy o‘zakdan iborat bo‘lishi mumkin. Bu transformatorlarning chulg‘amlari xuddi bir fazali transformatorniki singari bo‘ladi, ya’ni quyi (past) kuchlanish chulg‘amlari o‘zakka yaqin, yuqori kuchlanish chulg‘amlari esa uning ustidan joylashtiriladi.

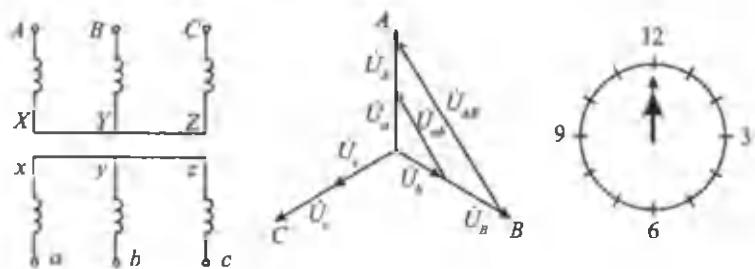
Chulg‘amlar  $\Lambda/\Lambda$ ,  $\Lambda/\Delta$  sxemalarda ulanadi. Yuqori kuchlanish chulg‘amlari  $A; B; C$ ,  $X; Y; Z$ , past kuchlanish chulg‘amlari  $a, b, c$ ,  $x, y, z$  harflari bilan belgilanadi. Rasmlarda  $\Lambda/\Delta$  ulash ko‘rsatilgan. Chulg‘amlarning boshi va oxiri ko‘rsatilgan tartibda bo‘lishi kerak. Fazalarni ulashda xato qilinsa, EYuK lar fazalari mos tushmay, o‘zaro  $180^\circ$  ga suriladi.

Shuning uchun 4.10-rasmda ko‘rsatilganidek, har bir onda ( $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$ ) faza sterjenlarini umumiy birlashtirish mumkin.

Chulg‘amlarni birlashtirishda 12 ta guruh, ya’ni  $\Lambda/\Delta$  ulanganda  $U_A$ ,  $U_a$ ,  $U_{AB}$ ,  $U_{ab}$  va hokazo, fazalari mos tushadi, (bu holda aktiv kuchlanish



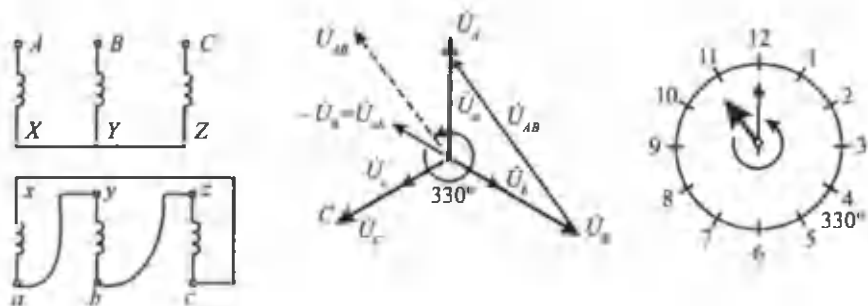
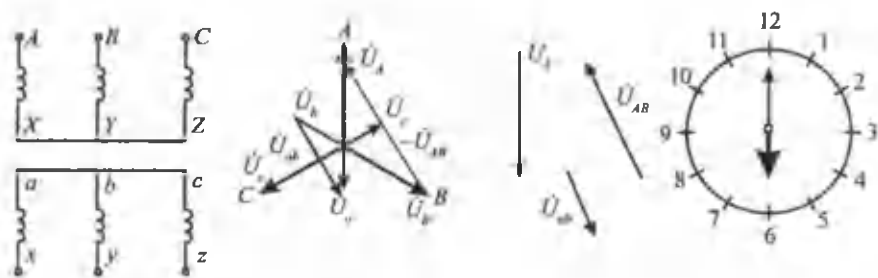
4.10-rasm. Uch fazali transformatorning ulanish sxemalari.



4.11-rasm. Ulanish guruhi va vektor diagrammasi.

tushuvi va sochilish EYuK lari inobatga olinmaydi), ya'ni 12 ta guruh soat minuti mili 12(0) ga yo'naltiriladi, soat mili esa transformator gruppasini ko'rsatadi. Demak, bu millar ustma-ust tushsa, 12 ta guruh.

Agar,  $U_A$  va  $U_{AB}$ ,  $U_{AB}$  va  $U_{ab}$  o'zaro qarama-qarshi yo'nalgan bo'lsa, siljish fazalari  $180^\circ$  bo'ladi. Bu esa, 6-guruhdir, demak, 11-guruhda  $U_{AB}$  va  $U_{ab}$  orasidagi siljish burchagi  $330^\circ$ . Transformatorlarning nominal ko'rsatkichlari uning pasportida va maxsus shchitda, transformatorning o'zida keltiriladi.



4.12-rasm. Ulanish guruhlari.

Bular  $S_{nom}$ ,  $U_{1nom}$ ,  $U_{2nom}$ ,  $P_{salt}$ ,  $P_{qisqa\ t}$ ,  $P_{qisqa\ t}$  % lar, sxema va birlashtirish guruhi,  $S_{nom}$  – transformatorning to'liq quvvati [kVA] (ya'ni, uchala fazalar quvvati):

$$S_{nom} = \sqrt{3} U_{1nom} I_{1nom} = \sqrt{3} U_{2nom} I_{2nom} \quad (4.19)$$

$U_{1nom}$ ,  $U_{2nom}$  – nominal kuchlanishlar (liniya kuchlanishlari I va II chulg'ami uchun, salt yurish holati uchun, har qanday ulash guruhi uchun).

$P_{salt}$ ,  $P_{qnom}$  – uchala faza uchun isrof quvvatlar.  $U_Q$  – qisqa tutashuv kuchlanishi,  $I_{IS}$  – salt yurish toki  $I_{1nom}$  da,  $Y/Y-0$ ,  $Y/\Delta-11$  sxema va guruh. Bu ko'rsatkichlar amaliy hisoblar uchun zarur.

**Misol:** Agar  $S_{nom} = 100$  kVA,  $U_{1nom} = 10$  kV,  $U_{2nom} = 400$  bo'lib, transformator  $\Delta/\Delta$  sxemada chulg'amlar ulanganida  $P_s = 730$  Vt,  $P_{qnom} = 2400$  Vt,  $\cos\varphi_2 = 0,8$ ,  $\beta = 0,25$ .  $U_{1nom}$ ,  $U_{2nom}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  va  $\eta$  aniqlansin. Transformator yilda 4200 soat ishlaydi. Qolgan vaqt  $\Pi$  chulg'ami ochiq.

**Yechish.** Transformatsiya koeffitsiyenti  $n\Phi = U_{yuqori}/n$  past nom.f chulg'amlar  $\Delta/\Delta$  ulangani uchun.

$$U_1 = \sqrt{3} U_f \text{ va } n_f = n_j = n_{1nom}/n_{2nom} = 10 \cdot 10^3 / 400 = 25$$

Faza kuchlanishlari:

$$U_{1f} = U_{1nom} / \sqrt{3} = 10 \cdot 10^3 / \sqrt{3} = 5770 \text{ V.}$$

$$U_{2nomf} = U_{1nom} / \sqrt{3} = 400 / \sqrt{3} = 230 \text{ V.}$$

$$S_{nom} = \sqrt{3} U_{1nom} \cdot I_{1nom} = \sqrt{3} U_{2nom} \cdot I_{2nom}$$

bo'lgani uchun, nominal toklar:

$$I_{1nom} = S_{nom} / \sqrt{3} U_{1nom} = 100 \cdot 10^3 / \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 = 5,78 \text{ A.}$$

$$I_{2nom} = S_{nom} / \sqrt{3} U_{2nom} = 100 \cdot 10^3 / \sqrt{3} \cdot 400 = 144,5 \text{ A.}$$

Bunda isroflar hisobga olinmagan.

$$P_{qnom} = 3(R_1 I_{1nom}^2 + R_2 I_{2nom}^2)$$

$$R_1 I_{1nom}^2 = R_2 I_{2nom}^2$$

Shuning uchun:  $P_{qnom} = 3 \cdot 2R_1 I_{2nom}^2$

$$R_1 = P_{qnom} / 6 I_{2nom}^2 = 2400 / 6 \cdot 144,5^2 = 12 \text{ Om.}$$

$$P_{qnom} = 3 \cdot 2 \cdot I_{1nom}^2 R_2 \cdot R_2 = P_{qnom} / 6 I_{1nom}^2 = 2400 / 6 \cdot 144,5^2 = 0,019 \text{ Om.}$$

$$\eta = \frac{\beta S_{nom} \cos \varphi_2}{\beta S_{nom} \cos \varphi_2 + P_c + \beta^2 P_{qnom}} = \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{0,25 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 730 + (0,25)^2 \cdot 2400} = 0,958.$$

Yillik FIK:

$$\begin{aligned} \bar{\eta} &= \frac{\beta S_{nom} \cos \varphi_2 t_p}{\beta S_{nom} \cos \varphi_2 t_p + P_c t_{yil} + \beta^2 P_{qnom} t_p} = \\ &= \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 4200}{0,25 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 4200 + 730 + 8760 + (0,25)^2 \cdot 2400 \cdot 4200} = 0,923. \end{aligned}$$

**Transformatorlarning yonma-yon (parallel) ishlashi.** Iste'molchidan talab quvvatini ta'minlash uchun transformator yonma-yon ishlatiladi. Bu holda ishdan chiqqan transformatorni tiklash mumkin yoki rezerv hosil qilish mumkin.

Bir qism transformatorni yuk kamayganda manbadan ajratib qo'yish mumkin. Bu holda energiya isrofi kamayadi.

Parallel ishlash shartlari:

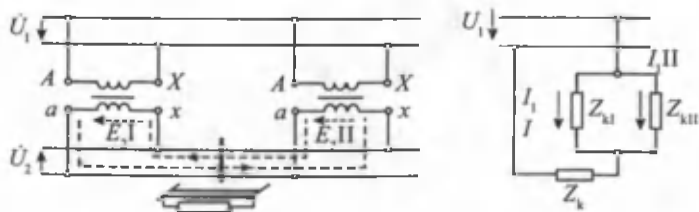
1.  $E_{21} = E_{211}$  yoki  $U_{2nom1} = U_{2nom11}$  ya'ni, ikkilamchi kuchlanishlar ikkala transformator uchun teng bo'lishi kerak.

2.  $U_{qII} = U_{qI}$

3. Guruh ulanishlari bir xil bo'lishi kerak.

Demak, 1, 2-shartlar zarur shartlar, 3-shart esa qoniqarli shart. Aks holda tenglashtirish (muvozanatlovchi) tok hosil qiladi. Agar  $\lambda/\lambda=0$  va  $\lambda/\Delta=11$  bo'lsa  $\varphi=30^\circ$  bo'lib, muvozanatlovchi tok  $I_{ncm}$  dan 5 marta katta bo'ladi.

Normal parallel ishlashda salt yurishda ikkilamchi chulg'amlarda tok yo'qdir. Yuklanganda toklar transformatorlarning nominal quvvatlariga mos (proporsional) taqsimlanadi.



4.13-rasm. Transformatorning parallel ishlash sxemasi.



$$I_{\text{muvozanat}} = (\dot{E}_{21} - \dot{E}_{211}) / (Z_{Q1} - Z_{Q11})$$

$$I_{II} // III = Z_{Q11} - Z_{Q1}$$

$I_{InomI} I_{InomII} U_{Inom}$  ga ko'paytirsak,

$$\frac{I_{II}}{I_{II}} = \frac{I_{InomII} Z_{kII} \cdot I_{InomII} U_{Inom}}{I_{InomII} Z_k \cdot I_{InomII} U_{Inom}} = \frac{U_{kII}}{U_k} = \frac{S_{nomI}}{S_{nomII}} \quad (4.20)$$

ya'ni, toklar transformator orasida ularning nominal quvvatlariga proporsional va  $U_{Q1}$  ga teskari proporsional taqsimlanadi. Agar  $U_{Q11} = U_{Q1}$  bo'lsa, transformator yuklari ularning nominal quvvatlariga proporsional taqsimlanadi.

### Maxsus transformatorlar

$$n = \frac{U_{\text{yuk.nom}}}{U_{\text{past.nom}}} = \frac{W_{\text{yuk.nom}}}{W_{\text{past.nom}}}$$

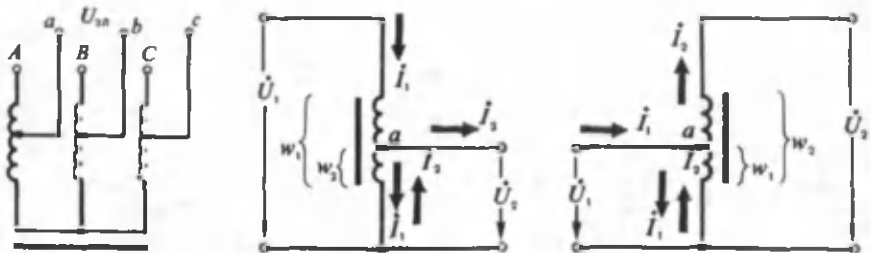
$$I_{12} = (I_2 - I) = I_{1n} - I_1 = I_1(n - 1) \quad (4.21)$$

$$1 < n \leq 3.$$

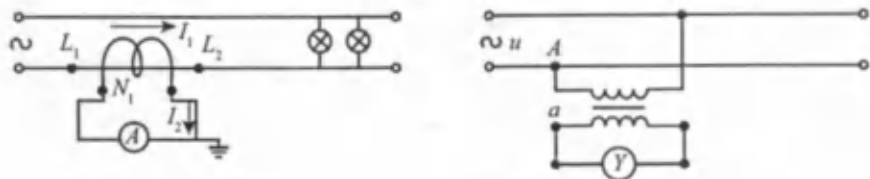
Agar  $W_1$  va  $W_2$  bir-biriga yaqin bo'lsa,  $I_{12}$  tok  $I_1$  ga nisbatan juda kam bo'ladi. Umuman, transformatorlarda  $I_2 = nI_1$  dir.

Shuning uchun sim sarfi avtotransformatorlarda transformatorga nisbatan kam bo'ladi.

**Avtotransformator.** Past kuchlanishli chulg'ami yuqori kuchlanishli chulg'amning bir qismi bo'lsa yoki birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari elektr bog'langan transformatorlar avtotransformatorlar deyiladi. Avtotransformatorlar sinxron, asinxron dvigatelni ishga tushirishda, kuchlanishni tartibga solishda, energiya uzatish simlarida (masalan, 110 va 220 V larni tenglashda) ishlatiladi.



4.14-rasm. Avtotransformatorning ulanish sxemasi.



4.15-rasm. O'lchash transformatorlarining ulanish sxemalari.

Birlamchi va ikkilamchi toklar fazalar bo'yicha bir-biriga nisbatan  $180^\circ$  ga siljigan.

Chulg'amlarning umumiy qismida,

$$I' = I_2 - I_1 = (K-1) \cdot I_1 = \frac{K-1}{K} \cdot I_2' \quad (4.22)$$

tok oqadi. Birlamchi tok oqadigan qismi esa:

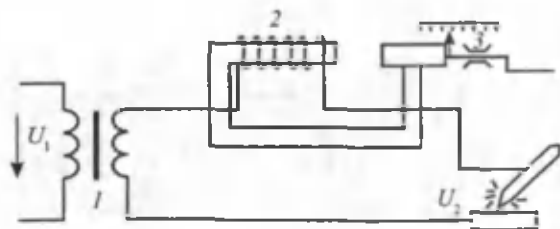
$$W_1 - W_2 = \frac{K-1}{K} W_1 \quad (4.23)$$

Transformatorlarga nisbatan chulg'amga ketadigan mis simlar sarfi  $\frac{K-1}{K}$  ga barobardir. Bu esa, chulg'amni kamaytirishga va transformatorning umumiy massasining kamayishiga olib keladi. Bundan tashqari, FIK yuqori, mis sim va po'lat o'zak kam sarflanadi.

#### O'lchash transformatorlari:

- tok transformatori ampermetrlarda, rele, vattmetrlarning tok chulg'amlarida, schyotchiklarda o'lchash ishlarida ishlatiladi;
- kuchlanish transformatori-voltmetr, chastotomer, vattmetrlarning kuchlanish chulg'amlarida va schyotchiklarni ulashda ishlatiladi.

**Payvandlash transformatori** – salt ishlash rejimida elektr tarmog'idagi kuchlanishni 60–70 voltgacha pasaytiruvchi bir fazali transformatorga aytiladi.



4.16-rasm. Payvandlash transformatori.

### 4.3. Elektr o'lchashlar va asboblari

Bizni o'rab turgan borliqni, tabiat hodisalarini o'rganish va turli o'lchamlar bilan o'lchash usullari chambarchas bog'liqdir. Fan va texnikaning rivojlanishi bilan o'rganish apparaturasi va o'lchash usullari ham keng takomillashmoqda. Buni o'lchash jarayonidagi avtomatik nazorat va boshqarish hamda signalizatsiya asoslarida ham ko'rishimiz mumkin.

**Fizik kattaliklar deb** va jismning shunday xususiyat (xossa) lariga aytiladiki, ular turli jismlarda har xil miqdorda bo'lishi yoki shu bir jismning o'zida o'zgarib turishi mumkin. Masalan, bunday fizik kattaliklarga:

- uzunlik;
- massa;
- hajm;
- temperatura;
- bosim va boshqa xususiyatlar kiradi.

**O'lchash jarayoni deb**, berilgan bir fizik kattalikni birlik uchun qabul qilingan ma'lum qiymati bilan solishtirishga aytiladi. Yoki o'lchash-o'lchov birligidan o'lchanayotgan fizik kattalikning necha marta katta yoki kichikligini taqqoslashdir. O'lchashlar avtomatik boshqarish va nazorat tizimlarida asosiy vazifa o'ynaydi. Chunki birorta fizik kattaliklari orqali texnologik jarayonlarni avtomatik ravishda boshqarish mumkin.

Sanoat korxonalarida o'lchash texnikasi vositalari hamda avtomat kontrol, rostlash, texnologik uskunalari himoyasi qurilmalarini ishlab chiqarish jarayonlarini boshqaruvchi tizimlarning ajralmas qismini tashkil etadi. O'lchash asboblari yordamida detallarning o'lchamlari, ishlanish sifatlari baholanadi, sarflangan materiallar va tayyorlangan mahsulot hisoblanadi, moddalarining fizik-ximiyaviy xossalari aniqlanadi va bir qator boshqa operatsiyalar bajariladi. Bularsiz ishlab chiqarilayotgan mahsulotning kerakli hajm va miqdorini ta'minlash juda qiyin yoki mumkin emas. Qishloq xo'jaligida ishlab chiqarish va sug'orish tizimlarini olib qaraydigan bo'lsak, nazorat qilinishi va o'lchanuvchi parametrlar juda ham ko'pchilikni tashkil etadi.

Masalan, suv bosimini, sathini, sarfini va hokazolarni o'lchash shu jumlagi kiradi. Bu barcha yuqorida qayd etilgan kattaliklar esa mexanik va boshqa usulda o'lchanib kelmoqda. Buning asosiy sababi, mexanik

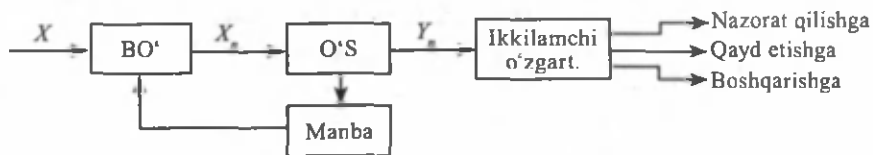
usulda yoki boshqa usulda o'lchash asboblarning elektr o'lchash asboblardan avvalroq yaratilganligidir.

Hozirgi vaqtda hamma ma'lum bo'lgan o'lchash turlari ichida eng ko'p rivojlangani elektr o'lchashlardir. Elektr o'lchashlar qator afzalliklarga egadir. Jumladan, elektr o'lchash natijalarini uzoq masofaga uzatish mumkin. Masalan, ko'chma qutb stansiyalarida havo temperaturasini, shamol tezligini avtomatik meteorologik qurilmalar o'lchaydi va natijasini katta yerga uzatadi. Yerning sun'iy yo'ldoshiga o'rnatilgan asboblari o'lchash natijalarini yerga 100 km dan ortiqroq balandlikdan uzatadi. Yirik energotizimining bosh dispetcheri istagan vaqtda, o'zidan yuzlarcha kilometr uzoqda joylashgan elektr uskunalar rejimini belgilaydigan ma'lumotlarni olishi mumkin. Masalan, kuch, bosim, tezlik, temperaturaga va shunga o'xshashlar elektr miqdorlariga aylantiriladi va elektr o'lchash asboblari bilan o'lchanadi.

Noelektrik kattaliklarni elektr o'lchashda asosiy rol o'ynaydigan elementlar datchiklar va o'zgartgichlardir. Qishloq xo'jaligida, sanoatda texnologik jarayonni avtomatik boshqarishda boshqariladigan obyekt va jarayon to'g'risidagi axborot (informatsiya) asosiy rol o'ynaydi. Axborotni yig'ish, qayta ishlash, uzatish uchun esa datchiklar va ikkilamchi o'zgartgichlar asosiy hisoblanadi.

Datchik – bu informatsiya beruvchi degan ma'noni anglatadi.

Datchiklarning struktura sxemasi quyidagicha:



BO' – birlamchi o'zgartkich kirish signalini  $X$  oraliq kattalikga  $X_p$  ga aylantiradi. O'S – o'lchash sxemasi;  $X_p$  ni qulay formaga o'tkazadi yoki chiqish signaliga aylantiriladi. Yoki  $U_p$  oraliq signalini tashkil etish ham mumkin. U holda ikkilamchi o'zgartkichlarga beriladi va u o'zgartkichlardan nazorat, avtomatik boshqarish, telemexanik tizimlarga beriladi.

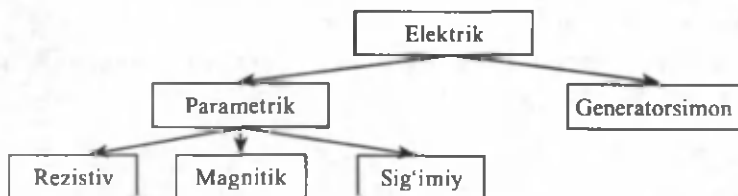
Hozirgi paytda texnologik jarayonlarning murakkabligi va son jihatdan ko'pligi turli datchiklar yaratishga olib keladi. Hozirni o'zida

2 mingga yaqin fizik, ximik va boshqa parametrlarni o'lchashga to'g'ri kelmoqda.

Datchiklar ishlash prinsipiga asosiy quyidagilarga bo'linadi:

- mexanik;
- elektrik;
- gidravlik;
- pnevmatik;
- termik;
- optik;
- akustik;
- radioto'liqli;
- yadroviy.

Texnologik jarayonlarni avtomatik boshqarishda va xususan, gidromeliiorativ tizimlarda elektr datchiklari keng qo'llanilmoqda. Chunki elektr datchiklarda olingan elektr signalini uzoq masofalarga uzatish, saqlash, qayta ishlash juda qulay. Elektr datchiklari ishlash prinsipiga ko'ra esa quyidagilarga bo'linadi:

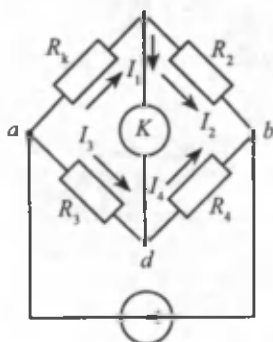


### **Bevosita, solishtirib (ko'prik, differensial, kompensatsion sxemalari asosida) o'lchashlar haqida umumiy ma'lumotlar**

Bevosita o'lchash – bu oldindan darajalab qo'yilgan va o'lchanadigan miqdorni bevosita asbobning shkalasida qayd etishdir. Masalan, ampermetr yordamida tokni, voltmetrda kuchlanishini, vattmetrda quvvatni va hokazolarni o'lchashdir.

O'lchanayotgan miqdor qiymatini uning o'lchovi asbobi solishtirib o'lchanayotgan asbob deb ataladi. Masalan, o'lchash ko'prigi yordamida qarshiliklarni o'lchash. Potensiometr yordamida kuchlanishni, qarshilikni, EYuK ni o'lchashdir.

O'lchash ko'prigi sxemasi quyidagicha:



$$R_k = R_2 \frac{R_3}{R_4} \quad (4.24)$$

**Differensial usulda o'lchash.** Bunda o'lchash asbobiga o'lchanadigan kattalikning ayirmasi kuzatiladi. Masalan, bunday o'lchashga muvozanatlanmagan ko'prik sxemasida qarshiliklarni o'lchash kiradi.

### O'lchash asboblarning asosiy sifat ko'rsatkichlari, ularning asosiy xatoliklari, aniqlik klasslari

Aniqlik – o'lchash asbobining o'lchanayotgan kattalikni qanchalik aniq darajada ko'rsatishi.

Sezgirlik – o'lchash asboblari ko'rsatkich orttirmasining o'lchanayotgan kattalik orttirmasiga nisbati:

$$S = \frac{\Delta a}{\Delta x} \quad (4.25)$$

Iste'mol qilinadigan quvvat–o'lchash asboblari tomonidan o'lchash davomida sarflanadigan quvvat.

Ishonchlilik – o'lchash asboblarning ma'lum sharoitda, ma'lum vaqtda asosiy xarakteristikalarini saqlashi.

Aniqlik darajasiga qarab o'lchash asboblari quyidagi aniqlik klassiga bo'linadi: 0,05, 0,1, 0,2, 0,5,1, 1,5, 2,5 va 4.

Absolut xatolik – o'lchash asbobi ko'rsatishi bilan o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati ayirmasiga aytiladi.

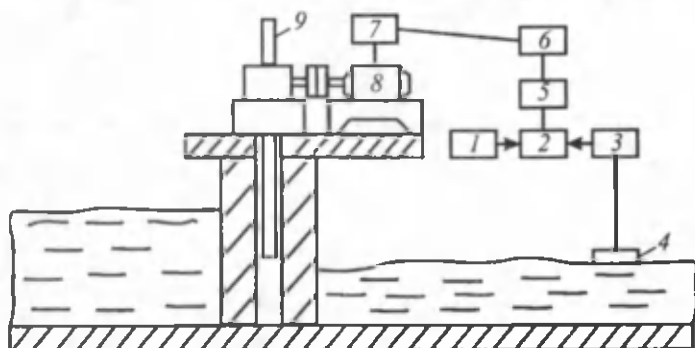
$$\Delta = A - Ax_0 \quad (4.26)$$

Nisbiy xatolik – absolut xatolikning o'lchanayotgan kattalik haqiqiy qiymatiga nisbatiga aytiladi.

Keltirilgan xatolik – absolut xatolikning o'lchanayotgan kattalikning maksimal qiymatiga nisbatiga aytiladi.

## Gidromeliyativ tizimlarda suv sathi va sarfini o'lash

Hozirgi paytda ochiq sug'orish tizimlarida suv sarfini o'lash suv sathini o'lash orqali amalga oshiriladi. Quyida ochiq kanallarda suv sarfini avtomatik rostlash va nazorat qilish sxemasi keltirilgan (4.17-rasm).



4.17-rasm:

- 1 – buyruq beruvchi element; 2 – taqqoslovchi; 3 – siljish o'zgartuvchi datchik;  
4 – qalqama; 5 – nol organ; 6 – rostlovchi moslama; 7 – magnit ishga tushiruvchi;  
8 – reversiv dvigatel; 9 – gidrotexnik zatvor.

Bu sxema quyidagicha ishlaydi: buyruq beruvchi element 1 yordamida dispetcherlik punktidagi elektr signali taqqoslash elementi 2 ga jo'natiladi. Bu yerda elektr signali siljish o'zgartkichni-datchik 3 dan kelayotgan signal va datchik 3 signallari mos kelmagan holda nol organ 5 da kuchlanishi paydo bo'ladi. Uning ishorasi yoki fazasi mos kelmaslik yo'nalishini bildiradi. Bu kuchlanish esa nol organdan rostlanish ishorasiga mos tomonga qarab aylanadi hamda suv sathi va sarfini talab qilingan miqdorga o'zgartiradi.

### Quvurlarda suv hajmining miqdorini o'lash. Induksion (elektromagnit) sarf o'lashgichlar

Induksion (zlektromagnit) sarf o'lashgichlarning ishlash prinsipi tashqi magnit maydon ta'sirida elektr tokining o'tkazuvchi suyuqlik oqimida hosil bo'lgan EYuK ni o'lashga asoslangan. Induksion sarf o'lashgichning sxemasi quyida keltirilgan:

Magnitning  $N$  va  $S$  qutblari orasidan magnit maydoni kuch chiziqlari yo'nalishiga quvurning magnit maydonidan o'tadigan qismi nomagnit

materialdan (ftoroplastdan) tayyorlanadi. Quvur devorlarida bir-biriga diametral qarama-qarshi yo'nalgan o'lchash elektrodleri 2 o'rnatilgan. Magnit maydoni ta'sirida suyuqlikdagi ionlar harakatga keladi va o'z zaryadlarini o'lchash elektrodlariga berib, ularda EYuK hosil qiladi, u oqim tezligiga proporsional EYuK ning qiymati, magnit maydoni o'zgarmas bo'lganda, elektromagnit induksiyasining asosiy tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$E = B \cdot D \cdot v_{o'rt} \quad (4.27)$$

Bu yerda:  $D$  – quvur diametri (yoki elektrodlar orasidagi masofa),  $m$ ,  $v_{o'rt}$  o'rtacha oqimi tezligi.

Tezlikni  $Q$  hajmiy sarf orqali ifodalasak:

$$E = \frac{4B}{\pi D} \cdot Q \quad (4.28)$$

Bu formuladan EYuK sarfga to'g'ri proporsional.

*Kamchiligi:* Elektrodlarda qutblanish va galvanik EYuK ning paydo bo'lishidir. Bu kamchilik harakatdagi suyuqlikdagi EYuK ni o'lchashni qiyinlashtiradi. Shuning uchun o'zgarmas magnit maydoniga ega bo'lgan sarf o'lchagichlar suyuq metallar suyuqlikning pulslanuvchi oqimi sarfiga ulgurmaydigan qisqa vaqtli o'lchashlarda ishlatiladi.

Hozirgi paytda induksion sarf o'lchagichlarning ko'pchiligida o'zgaruvchan magnit maydonidan foydalaniladi. Agar magnit maydon  $r$  vaqtida  $f$  chastota bilan o'zgarsa, EYuK ning qiymati:

$$E = \frac{4QB_{\max}}{\pi D} \cdot \sin 2\pi f\tau \quad (4.29)$$

O'zgaruvchan magnit maydonda elektroximiyaviy jarayonlar kamroq ta'sir ko'rsatadi.

SBEU – o'zgaruvchan magnit maydoni sarfning birlamchi elektromagnit o'zgartkichi.

Magnit maydon elektromagnit yordamida hosil bo'ladi.

OK – oralig'idagi o'lchash kuchaytirgichi 0–5 mA o'zgarmas tok chiqish signaliga ega bo'lgan o'zgartgich.  $R$  – tashqi qarshilik.

Ish prinsipi oldingi sxema kabi induksion sarf o'lchagichlarga qaraganda bir qator afzalliklarga ega: bular inersion emas, bu hol tez o'zgaruvchan sarflarni o'lchashda va ularni avtomatik rostlash sxemalarida ishlatishda muhimdir.

Induksion sarf o'lchagichlar 1 2500 m<sup>3</sup>/soat va undan katta diapazonda diametri 3 1000 mm va undan katta quvurlarda suyuqlikning chiziqli tezligi (0,6–10) m/s gacha bo'lganda sarf o'lchashlarni ta'minlay olad.



---

## V BOB

### O'ZGARMAS TOK ELEKTR MASHINALARI

#### 5.1. O'zgarmas tok elektr mashinalari

O'zgarmas tok elektr mashinalari dastlab yaratilgan elektr mashinalaridir. 1838-yili akad. B.S. Yakobi bunday mashinani qayiq yuritmasi sifatida tatbiq etdi.

O'zgaruvchan tok texnikasining rivojlana borishi bilan (XIX asr 70–80-yy.) o'zgarmas tok mashinalarining nisbiy solishtirma miqdori kamaya bordi, chunki tuzilishi murakkab, o'zgaruvchan tok mashinalariga nisbatan ancha qimmat va ishonchli ishlash qobiliyati pastroq. Shuning uchun ham o'zgaruvchan tok mashinalari tobora keng qo'llanilayapti. O'zgarmas tok mashinalari ommaviy (seriyaviy) bir necha vattdan bir necha yuz kVt quvvatlarda ishlab chiqariladi. Mashina o'girmalik xususiyatiga ega, ya'ni ikki xil holatda (rejimda) ishlashi mumkin: generator yoki motor.

Amalda generator o'zgarmas tokda ishlovchi har xil qurilmalarni elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun qo'llaniladi.

O'zgarmas tok motori esa, aylanish chastotasini keng oraliqda tekis rostlanishini talab etuvchi mexanizmlarni yuritish uchun qo'llaniladi. Bunday mexanizmlar: katta quvvatli metallga ishlov beruvchi stanoklar, transport (tramvay, trolleybus, metro poezdlari), avtomatika sohasida va h.k.

#### O'zgarmas tok mashinasining tuzilishi

Mashina ikki asosiy qismdan: qo'zg'almas qism—stator va aylanuvchi qism – rotor (yakor deb ham ataladi) dan iborat.

Stator stanina, bosh qutblar, qo'shimcha qutblar, podshipniklar va cho'tka qurilmasi (cho'tkalar joylashtirilgan maxsus traversalar)dan tuzilgan. Statina po'lat varaqa yoki po'lat quyumasidan tayyorlanadi. Bu elektr mashinasining asosini tashkil etadi va magnit o'tkazgich vazifasini bajaradi.

Bosh magnit qutblari vaqt bo'yicha o'zgaras va fazoda qo'zg'almas magnit maydonini hosil qiladi. Buning uchun magnit qutblari chulg'amlaridan o'zgaras tok o'tkaziladi.

Qo'shimcha qutblar bosh qutblar oralig'ida o'rnatiladi va ular kommutatsiya holatlarini yaxshilash uchun xizmat qiladi.

Podshipnik shchitlari statorni yon tomonlaridan berkitib turadi. Shchitlarga podshipniklar o'rnatiladi va cho'tkali traversa mahkamlanadi.

### **Yakorning tuzilishi**

Yakor o'zakdan, chulg'amlardan va kollektorlardan tuzilgan. O'zak silindrik shakldan iborat. O'zak elektrotexnik po'lat varaqlardan templash bilan tayyorlangan segmentlar (halqalar) dan to'planadi. Bu halqalarning tashqi sirtida shtamplab pazlar (kovaklar) qilinadi. Bu kovaklarga mis o'tkazgichlardan tayyorlangan chulg'am (o'ram)lar joylashtiriladi. Har o'ramning bosh va oxirgi uchlari kollektorlarga chiqarilib, kollektor plastinalariga kavsharlanadi. Natijada yakorning berk chulg'ami hosil bo'ladi. Kollektor mis plastinalaridan yig'iladi, ular bir-biridan va korpusdan izolatsiyalanadi. Shu maqsadda mikanit qoplamasi (prokladka) qo'llaniladi. Kollektor ham silindr shaklda bo'lib, yakorning zaliga joylashtiriladi.

### **O'zgaras tok generatorining ishlashi**

O'zgaras tok generatorining ishlashi elektromagnit induksiyasi hodisasiga asoslanadi.

Agar o'ram (5.1-rasmda generator magnit maydonida aylanuvchi o'ram sifatida ko'rsatilgan; bosh va oxirgi uchlari kollektorning ikkita plastinasiga chiqarilgan, plastinalarga cho'tkalar orqali  $R_{yuk}$  ulangan bo'lsa) tashqi kuch ta'sirida aylantirilsa, o'ram simlari aktiv qismi magnit maydonni kesib o'tadi. Natijada simlarda EYuK  $e_1$  va  $e_2$  lar hosil bo'ladi. Bu EYuK lar yo'nalishi o'ng qo'l qoidasi bo'yicha aniqlanadi. Agar o'ramning aylanishi soat mili harakati yo'nalishida bo'lsa, yuqoridagi simda (ya'ni,  $N$  qutb tagidagi) hosil bo'lgan  $e_1$  bizdan (+) yo'nalgan, pastkisida esa  $e_2$  (0) biz tomon yo'naladi. O'ram bo'ylab EYuK lar o'zaro qo'shiladi va umumiy EYuK  $e = e_1 + e_2$  bo'ladi.

Agar tashqi zanjir berk bo'lsa, u orqali tok o'tadi. Tokning yo'nalishi pastki cho'tkadan  $R_{yuk}$  orqali yuqori cho'tka tomon (0) bo'ladi, ya'ni pastki cho'tka (+) bo'ladi.



Barqaror (turg'un) rejimda  $M_{ayl}$  va  $M_{OQ}$  o'zaro muvozanatlashadi, ya'ni  $M_{ayl} = M_{OQ}$ .

Yakorning magnit maydonida aylanishi natijasida uning chulg'amlarida EYuK hosil bo'ladi.

$$e = B \cdot l \cdot v \quad (5.1)$$

Bu yerda:  $l$  – uzunlik.

Uning o'rta qiymati:

$$e_{o'rtta} = B_{o'rtta} \cdot l \cdot v = \frac{\Phi}{T} \cdot l \cdot v = \frac{v}{T} \cdot \Phi \quad (5.2)$$

Bu yerda:  $B_{o'rtta}$  – magnit induksiyasi o'rta qiymati,

$\Phi$  – qutb uchun magnit oqimi:

$$\tau = \frac{\pi d}{2p} \text{ – polyus (qutb) bo'limi.}$$

$$v = \frac{2 \cdot p \cdot n \cdot \tau}{60} \text{ – tezlik.}$$

Bu yerda:  $d$  – yakor diametri;

$n$  – yakor aylanish chastotasi;

$2p$  – qutblar soni.

Yakor chulg'ami  $N$  o'tkazgichdan iborat, uning EYuK:

$$E = \frac{2 \cdot p \cdot n}{60} \cdot l \cdot r \cdot \frac{N}{2a} \cdot B_{o'n} \quad (5.3)$$

$2a$  – parallel shaxobchalar soni:

$$E = \frac{p \cdot N}{60a} \cdot n \cdot \Phi = C_E \cdot n \cdot \Phi \quad (5.4)$$

ya'ni,  $E = C_E \cdot n \cdot \Phi$ .

$C_E = pN/60a$  – berilgan mashina doimiyligi, EYuK ning konstruktiv koeffitsiyenti deyiladi.

Simdan o'tuvchi tokning magnit maydoni bilan o'zaro ta'sir kuchi:

$$f = B \cdot I_a \cdot l \quad (5.5)$$

$I_a$  – o'tkazgich toki, bu tok bir parallel shoxobcha tokiga teng.

$N$  – o'tkazgich hosil qilgan elektr magnit momenti:

$$M = \frac{D}{2} \cdot \frac{l}{2a} \cdot N \cdot I_{ya} \cdot B_{o'n} \quad (5.6)$$

$$M = C_M \cdot I_{ya} \cdot \Phi.$$

$$C_M = \frac{pN}{2\pi \cdot a} \text{ elektr mashina momentining doimiy koeffitsiyenti.}$$

Yakor reaksiyasi – yakor toki hosil qilgan magnit maydonining mashina bosh qutblari magnit maydoniga ta'siri hodisasi.

Generator salt ishida mashina magnit maydoni faqat bosh qutblar bilan hosil bo'ladi. Generator yuklanganida esa, yakor chulg'amidan tok o'tadi va u o'z magnit maydonini hosil qiladi. Buni yakor magnit maydoni deyiladi. Yakor maydoni qutblar magnit maydoniga ustlashadi. Shunday qilib, generatorda umumiy magnit maydoni paydo bo'ladi.

Generator foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (5.7)$$

$P_2$  – elektr quvvat,  $P_2 = U \cdot I$

$\Delta P$  – isroflar quvvati.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{mex}} + \Delta P_{\text{magn}} + \Delta P_{\text{el}} + \Delta P_q \quad (5.8)$$

$$P_1 = P_r + \Delta P$$

$\Delta P_{\text{el}} = RI^2$  – misdagi isroflar (chulg'amlardagi isroflar);

$\Delta P_{\text{magn}}$  – magnit isroflar (po'latdagi isroflar);

$\Delta P_{\text{mex}}$  – ishqalanish – mexanik isroflar;

$\Delta P_{\text{EL}} = 0,01$ ;  $P_{\text{nom}}$  – qo'shimcha isroflar mikromashinalarda 10 Vt gacha, 10 kVt gacha quvvatli mashinalarda  $\eta = 0,83$ .

1000 kVt va katta quvvatli generatorlar uchun  $\eta = 0,96$ .

Generator ishlashini tavsiflovchi asosiy qiymatlar:

$P$  – generator (manbaga beruvchi) quvvati;

$U$  – kuchlanish;

$I_{\text{uyg'ot}}$  – uyg'otish toki;

$I_{\text{ya}}$  – yakor toki;

$n$  – aylanish chastotasi.

EYuK tenglamasi:

$$E = C_E \cdot n \cdot \Phi \quad (5.9)$$

Yakor zanjiri elektr holati tenglamasi:

$$U = E - r_c \cdot I_c \quad (5.10)$$

## Generator tavsiflari

1. Salt ish tavsifi –  $E=f(I_{\text{uyg}'})$

$I=0, n=n_{\text{nom}}=\text{const}$  da generator EYuK ning uyg'onish tokiga bog'liqligi.

2. Tashqi tavsif –  $U=f(I)$ .

$R_{\text{qo'z'g}'}=\text{const}, n=\text{const}$  da generator chiqish qismalaridagi kuchlanishning yuklama tokiga bog'liqligi, bu holda uyg'otish zanjiridagi qarshilik va aylanish chastotasi doimiy–o'zgarmas qiymatda bo'lishi shart.

3. Rostlash tavsifi –  $I_{\text{uyg}'}=f(I)$ .

$U=\text{const}, n=n_{\text{nom}}=\text{const}$ , ya'ni uyg'otish tokining yuklama tokiga bog'liqligi bo'lib, bunda generator chiqishidagi kuchlanish  $U=\text{const}$ , va  $n=n_{\text{nom}}=\text{const}$  bo'lishi kerak.

Generatorlar mustaqil, parallel, ketma-ket va aralash uyg'otishli bo'ladi.

Mustaqil uyg'otishli genrator – bu generatorda uyg'otish chulg'ami mustaqil elektr energiya manbaiga ulanadi (yoki magnit oqimi doimiy magnit bilan hosil qilinadi).

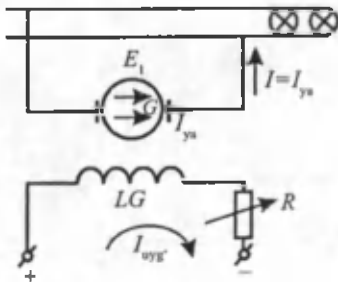
**Salt ish tavsifi.** Salt ish tavsifi  $I_{\text{uyg}'}$  ni tekis o'zgartirib, avval oshira borib, so'ngra kamaytira boriladi:  $n=\text{const}$  ( $n=n_{\text{nom}}$ ) qiymatda tajribada olinadi.

$n=\text{const}$  da  $E=C_E \cdot n \cdot \Phi$  faqat  $F$  ga proporsional o'zgaradi.

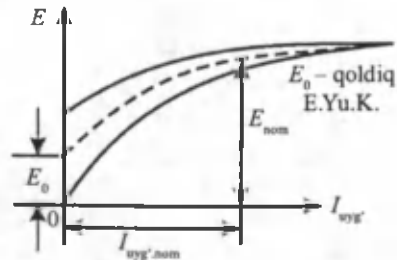
$\Phi=V$ , ya'ni egri chizig'ining shakli singlaridir.

$E_0$  – uyg'otish toki uzib qo'yilganidan so'ng qoldiq magnit induksiyasi ta'sirida hosil bo'ladi.

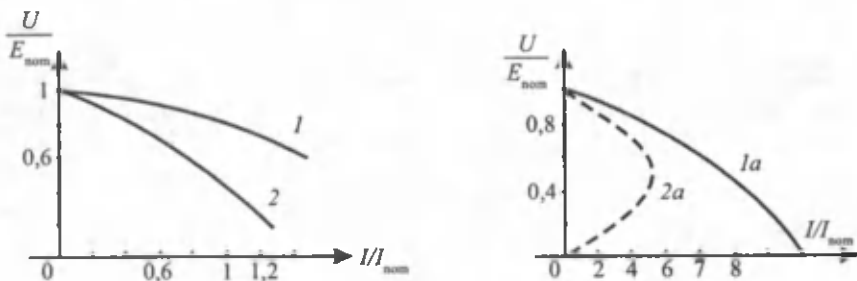
$I_{\text{uyg}'\text{otishnom}}, E_{\text{nom}}$  – salt tavsifida burilishi (tizza) qismida joylashadi.



5.3-rasm. Saltlash sxemasi.



5.4-rasm. Tavsifi.



5.5-rasm. Tashqi tavsit.

$E$  ning sezilarli miqdori uyg'otish tokining kichik qiymatida hosil bo'ladi.

Hisob ishlarida uzoq (o'rta) chiziqdan foydalaniladi.

Generator toki uning qismlaridagi kuchlanishga ta'sirini ko'rsatadi.

$U = E - r_{ya} I$  - yuklamani noldan nominalgacha ortishi bilan 5–15% ga tekis kamayadi.

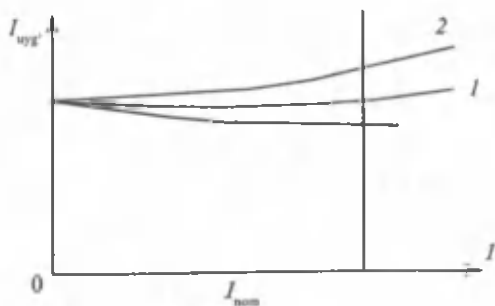
Sabab:

a) kuchlanishning  $R_{ya}$  da tushuvchi  $R_{ya} II$ ;

b) EYuK ning yakor reaksiyasi natijasida kamayishi (Yakor toki magnitsizlantirish yo'nalishida bo'ladi).

O'ta yuklanish natijasida yakor toki juda ortib ketadi va kuchlanish juda ko'p kamayadi (tushadi).

Generator kuchlanishini doimiy qiymatida ushlab turish uchun uyg'otish zanjiriga reostat ulanib, u bilan uyg'otish toki rostlanadi va  $U_{gen} = \text{const}$  qilinadi.



5.6-rasm. Rostlash tavsifi.

## 5.2. O'zgarimas tok motorlari

Elektr mashina motor rejimida ishlatilganida yakor o'tkazgichlarning (simlari) magnit maydonini kesib o'tadi va chulg'am simlarida EYuK hosil bo'ladi. EYuK yo'nalishi o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanadi. Bu EYuK tok yo'nalishiga qarama-qarshi yo'naladi. Demak, EYuK manba kuchlanishiga ham qarama-qarshi bo'ladi. EYuK qarshi EYuK deyiladi. Barqaror rejimda  $E_{qarshi} \approx U$ .

Shunday qilib, elektr motor rejimida cho'tkalarga doimiy kuchlanish ulanadi, cho'tkalar orqali kollektor plastinkalari va yakor o'ramlaridan tok o'tadi. Elektromagnit kuch qonuni (Amper qonuni) ga binoan tok va magnit maydoni  $V$  ta'sirida kuch  $f$  hosil bo'ladi, bu kuch yunalishi  $V$  va  $i$  ga tik (perpendikular) bo'ladi. Ushbu kuchning yo'nalishi chap qo'l qoidasi bilan aniqlanadi. Tapa qismidagi simga kuch o'ng tomonga, pastki simga – chap tomonga yo'nalishda ta'sir etadi. Juft kuchlar aylanma moment  $M_{ayl}$  hosil qiladi. Bu esa, o'ramni soat mili yo'nalishida buradi. Tepadagi simning janubiy qutb  $S$  ta'siriga o'tishi, pastning esa – shimoliy qutb  $N$  ta'siriga o'tishi bilan, o'tkazgichlarning uchlari va ular bilan ulangan kollektor plastinkalari cho'tkalar orqali kuchlanishning teskari qutblariga ulanadi. Natijada o'ram simlaridan o'tuvchi tok yo'nalishi teskariga o'zgaradi. Shuning uchun kuch  $f$  va moment  $M_{ayl}$  hamda tashqi zanjirdagi tok yo'nalishi o'zgarmaydi. O'ram magnit maydonida uzluksiz aylanadi.

Motor rejimida kollektor mexanik invertor vazifasini bajaradi, ya'ni tashqi zanjirdagi doimiy tokni yakor chulg'ami o'ramida o'zgaruvchan tokga o'zgartiradi.

Elektr motor tenglamasi:

$$\begin{aligned} U &= E + I \cdot R \\ U &= E + I_{ya} \cdot R_{ya} \end{aligned} \quad (5.12)$$

Elektromagnit moment tenglamasi:

$$M_{cm} = C_M \cdot I_{ya} \cdot \Phi \quad (5.13)$$

Yakor zanjiri elektr holati tenglamasi:

$$U = E_k + R_{ya} \cdot I_{ya} \quad (5.14)$$

Qarshi EYuK tenglamasi:

$$E_q = C_e \cdot n \cdot \Phi \quad (5.16)$$

Momentlar tenglamasi:

$$M_{cm} = M_k + M_l + M_{dip} \quad (5.17)$$

Bu yerda:  $M_k$  – motor va uqadagi qarshilik momenti, yuklama hosil qiladi;



$M_1$  – motordagi isrof momenti;

$M_{din}$  – dinamik moment, inersiya kuchlari hosil qiladi.

Motorni tavsiflovchi kattaliklar:

$P_2$  – motor validagi mexanik quvvat,

$U$  – manba kuchlanishi,

$I$  – manbadan iste'mol toki,

$I_{ya}$  – yakor toki,

$I_k$  – tok, qo'zg'atish toki,

$n$  – aylanish chastotasi,

$M$  – elektromagnit moment.

Bu kattaliklarning o'zaro bog'lanishlari tenglamalardan aniqlanadi.

$$U = E + R_{ya} \cdot I_{ya} \quad (5.18)$$

Motorga  $U$  kuchlanish ulangan. Qo'zg'atish chulg'ami zanjiridan  $I_q$  tok o'tadi, yakor zanjiridan esa –  $I_{ya}$ , magnit yurituvchi kuch MYuK hosil bo'ladi:

$$\Phi_k = I_k \cdot W_k \quad (5.19)$$

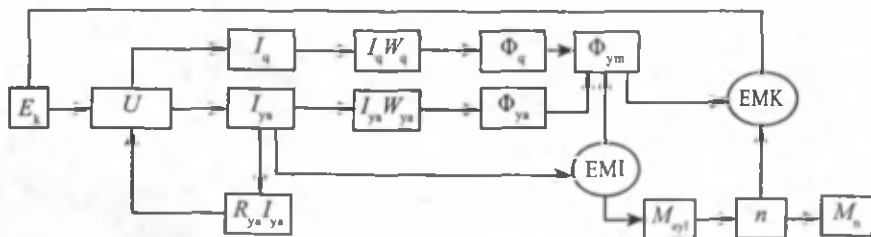
Bu esa magnit oqimi  $\Phi_k$  ni hosil qiladi. Yakor toki  $I_{ya}$  yakorning reaksiya magnit oqimi  $\Phi_{ya}$  ni hosil qiladi. Umum (natijaviy) magnit oqimi:

$$\Phi_{um} = \Phi_q + \Phi_{ya}$$

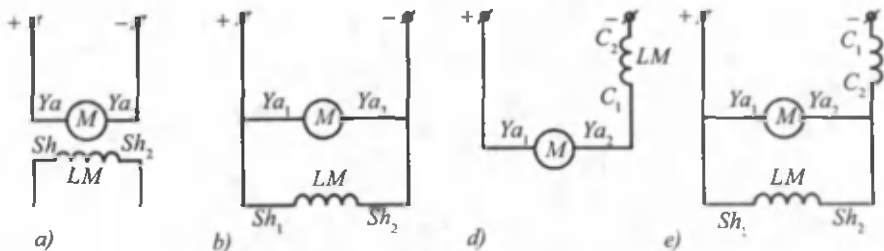
bo'ladi. Yakor toki  $I_{ya}$  kuchlanish tushuvi  $R_{ya} I_{ya}$  hosil qiladi.  $I_{ya}$  bilan  $\Phi_{um}$  o'zaro ta'sirida aylanma moment  $M_{ayl}$  hosil bo'ladi. Barqaror rejimda  $M_{ayl} = M_k (M_k - qarshi ta'sir momenti)$ .

Yakor chulg'ami simlari magnit maydonini  $\Phi_{um}$  kesib o'tishi bilan simlarda EYuK hosil bo'lib, bu EYuK manba qo'llanishi  $U$  ga qarama-qarshi yo'nalishda bo'ladi. Shuning uchun:

$$U = E + R_{ya} \cdot I_{ya} \quad (5.20)$$



5.7-rasm. Motor shartli mantiqiy sxemasi.



5.8-rasm: O'TMlarining sxemalari:

- a) mustaqil qo'zg'atishli; b) parallel qo'zg'atishli; d) ketma-ket (seriya) qo'zg'atishli; e) aralash (kompaund) qo'zg'atishli.

### Motorning tavsiflari:

a) mexanik tavsif  $f - n = f(M_k)$  yoki  $n(M_k)$ .

Bu aylanish chastotasi  $n$  ning motor validagi momentga bog'liqligi bo'lib,  $U = \text{const}$ ,  $I = \text{const}$  bo'lganida motorni tavsiflaydi. Bu tavsif motor validagi mexanik yukning motorning aylanish chastotasiga ta'sirini ko'rsatadi;

b) rostlash tavsif  $n = f(I_a)$  yoki  $n(I_a)$ ;

d) tezlik, elektromexanik tavsif  $n = f(I_{ya})$  yoki  $n(I_{ya})$ ;

e) ishchi tavsiflar  $M, R, n, I, \eta = f(R_2)$ .

**Mexanik tavsif tenglamasi.** Yakor zanjiri elektr holati tenglamasidan:

$$U = E_q + R_{ya} \cdot I_{ya} \quad (5.21)$$

Bu tenglama Kirxgofning II qonuni asosida yoziladi. ( $E_q$  – qarshi EYuK)

$E_k = C_e \cdot n \cdot \Phi$  ligini hisobga olib:

$$n = (U - r_{ya} \cdot I_{ya}) / C_E \cdot \Phi \quad (5.22)$$

hosil bo'ladi.

$I_{ya} = M / C_m \Phi$  bo'lgani uchun, (chunki  $M = C_m \cdot I_{ya}$ ).

Mexanik tavsif shakli motor yukining  $\Phi$  ga bog'liqligi bilan aniqlanadi.

O'zgarmas tok mashinasi (O'TM) – mustaqil, parallel, ketma-ket va aralash qo'zg'atishli bo'ladi. Bu turlar motor qo'zg'atish chulg'amini motor yakor chulg'amiga ulanishi bilan aniqlanadi.

Shuning uchun motorlarning *a* va *b* sxemalaridagi xarakteristikalar (tavsiflar) bir xil bo'ladi.

Motorni reverslash – uning aylanish yo'nalishini o'zgartish, agar yakor toki yo'nalishini yoki mashina magnit oqimi yo'nalishini o'zgartirilsa moment ishorasi, demak, aylanish yo'nalishi o'zgaradi. Amalda buni

yakor chulg'amlari uchlarini yoki qo'zg'atish chulg'aming uchlarini qayta o'zgartib ulash bilan amalga oshiriladi. Ikkala chulg'amda bir vaqtda qayta ulash esa, aylanish yo'nalishini o'zgartirmaydi.

**O'zgarmas tok motorlarini ishga tushirish.** Motorni ishga tushirishda 2 ta talab qo'yiladi:

1. Motorga ishga tushirish uchun qo'zg'atish va yakorni tezlatish uchun yetarli  $M_{ayl}$  ni ta'minlash zarur.

2. Ishga tushirish toki qiymati cheklanishi kerak, ya'ni ishga tushish vaqtida yakordan o'tuvchi tok  $I_{it} \leq 2,5 I_{nom}$  bo'lishini ta'minlash kerak.

2,5  $I_{nom}$  dan ortib ketmasligi kerak.

Ishga tushirishning uchta usuli bor:

1. To'g'ridan-to'g'ri ishga tushirish.

2. Yakor zanjiriga reostat ulab ishga tushirish.

3. Yakorga pasaytirilgan kuchlanish berib ishga tushirish.

1-yakor zanjiriga to'liq kuchlanish ulanadi. Ishga tushirish onida  $n=0$ , shuning uchun  $E=0$ . Yakor toki esa,

$$I_{ya} = U/R_{ya} \quad (5.23)$$

bo'ladi. Ko'p hollarda  $R_{ya} = 0,02-1,1$  Om bo'lgani uchun  $I_{yaishtush} = 50 I_{nom}$  bo'lishi mumkin; bu esa, mutlaqo yo'l qo'yilmaydigan holdir. Shuning uchun bu usul kichik quvvatli O'TM qo'llanilishi mumkin. Ularda  $I_{yai,t} = (4-6) I_{nom}$  va to'liq tezlik olishga 1 s dan kam vaqt talab etilganida qo'llanilishi mumkin.

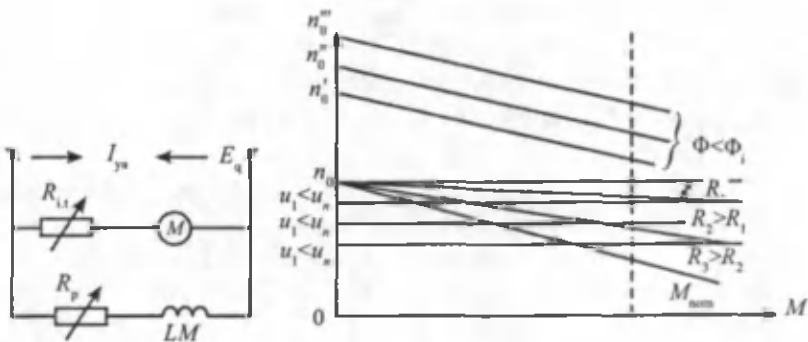
2-yakor zanjiriga ketma-ket  $R_{it}$  qarshiligi ulanadi. Ishga tushirish toki:

$$I_{yai,t} = \frac{U}{R_{ya} + R_{it}} \quad (5.24)$$

$$R_{it} = \frac{U}{I_{yai,t}} - R_{ya}$$

ni shunday tanlanadi.  $t=0$  ishga tushirish onida  $n=0$ ,  $E=0$  da  $I_{yai,t} = (1,4-2,5)I_{nom}$  bo'lsin. Kattaroq qiymat, ya'ni  $2,5 I_{nom}$  kichikroq quvvatli O'TM larga taalluqli. Yakor tezligining ortib borishi bilan  $E_k$  o'sa boradi hamda  $R_{it}$  ni yakor zanjiridan chiqariladi. Ishga tushirishdan oldin  $R_{it}$  ni qo'zg'atish zanjiridan to'la chiqariladi.  $R_{it}$  zanjirdan chiqarilganda eng katta  $\Phi$  bo'ladi, shuning uchun ishga tushirish momenti:

$$M_{it} = C_M \cdot I_{yai,t} \cdot \Phi \quad (5.25)$$



5.9-rasm. Ulanish sxemasi va  $n=f(M)$  grafiqi.

3) Ishga tushirish tokini yakor zanjirini alohida kuchlanishi rostdanuvchi manbadan ta'minlab kamaytirish mumkin. Katta quvvatli O'TM larini shu usul bilan ishga tushiriladi.

5.9-rasmda O'TM mexanik xarakteristikalari keltirilgan. Bu parallel qo'zg'atishli motor uchun.

$I$  – motor iste'mol toki ( manbadan motorga o'tuvchi tok).

$I$  – yakor toki,  $I_k$  – qo'zg'atish toki.

Kirxgofning II qonuniga binoan:  $I = I_{ya} + I_q$

Tabiiy mexanik xarakteristika – motor sxemasida hech qanaqa qo'shimcha qarshiliklar bo'lmaganida olinadi, ya'ni  $n=f(M)$ ,  $U = U_{nom}$

$$R_{11} = 0, R_p = 0.$$

Sun'iy tavsiflar – qo'shimcha qarshiliklar bo'lganida olinadi.

Salt holatda  $M=0$ ,  $n_0 = U/C_E \Phi$ , agar  $\Phi = \text{const}$  bo'lsa, mexanik xarakteristika tenglamasi:

$$n = n_0 - bM$$

ya'ni, mexanik tavsif  $\alpha$  burchagida og'gan to'g'ri chiziq bo'lib, uning burchak koeffitsiyenti –  $b$  dir.

Bu tavsif – qattiq,  $I$  tok yuklama momentiga proporsional orta boradi.

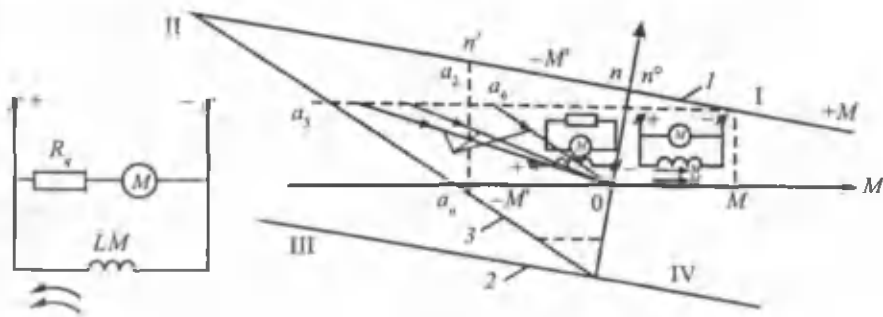
$$b = \frac{R_{11}}{C_E \Phi} \quad (5.26)$$

**Aylanish chastotasini rostdanuvchi.** Rostlashning 3 ta usuli ma'lum:

$a$  – yakor zanjirdagi qarshilikni o'zgartirish bilan;

$b$  – bosh qutblarning magnit oqimi  $\Phi$  ni o'zgartirish bilan;

$d$  – motorga ulangan manba kuchlanishini o'zgartirish bilan.

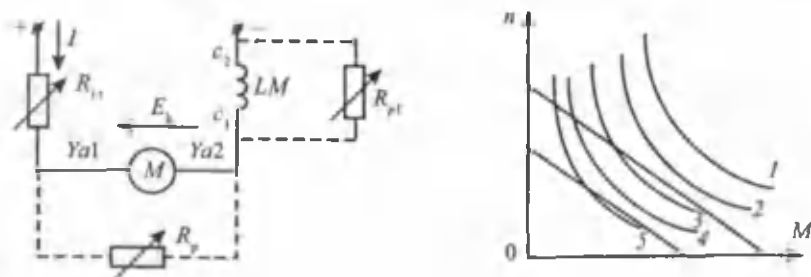


5.10-rasm. Tormozlash sxemalari va mexanik tavsiflari.

Rasmdagi tavsiflarga qarang (5.10-rasm). Agar  $LM$  – qo‘zg‘atish chulg‘ami zanjirida uzilish bo‘lsa, magnit oqimi keskin kamayib,  $\Phi_{\text{qoldiq}}$  ga teng bo‘ladi va aylanish chastotasi shu qadar ko‘payib ketadiki, motor mexanik buziladi – buni *raznos* deyiladi. Buning fizik mohiyati  $\Phi$ –magnit oqimining kamayishi natijasida yakor toki  $I_{\text{ya}} = (U - E) / R_{\text{ya}}$  haddan tashqari ko‘payadi, chunki  $E$  miqdori  $\Phi$  kamayganida juda kamayadi va  $(U - E)$  shunchalik ko‘payadiki, buning ko‘payishi  $I_{\text{ya}}$  ni orttiradi. Normal ish holatida esa, ( $E \approx 0,9 U$ ).

1. Motorni generator holatiga o‘tkazib tormozlash uchun  $n' > n_0$  shart bajarilishi shart.  $n_0$  – salt ishdagi ideal – tezlik – minutdagi aylanishlar soni. Agar  $E > U$  bo‘lsa, energiya motorni tormozlash paytida manbaga qaytariladi. (1-chiziq) (5.11-rasm).

2. Yakordan o‘tuvchi tok yo‘nalishi qarama-qarshisiga o‘zgartiriladi. Buning uchun yakor chulg‘amini uchlarlari qayta ulanadi. Natijada elektromagnit moment ishorasi o‘zgaradi va moment tormozlovchi bo‘ladi (3-chiziq).



5.11-rasm. Generator holatiga o‘tkazib tormozlash va tavsifi.

3. Motor yakori manbadan ajratiladi va  $R_{din}$  qarshilikga ulanadi. (4-chiziqqlar). Mexanik tavsif tenglamasi:

$$n = -\frac{R_{ya} + R_{din}}{C_E C_M \cdot \Phi} + M \quad (5.27)$$

Motor yakori  $n=0$  gacha tormozlanadi. Ketma-ket qo'zg'atishli O'TM ning mexanik tavsifi tenglamasi:

$$n = \sqrt{\frac{C_m}{C_E^2 K}} \cdot \frac{U}{\sqrt{M}} - \frac{R_{ya}}{C_E \cdot K} \quad (5.28)$$

$\Phi = K \cdot I_{ya}$  deb qabul qilib,  $M = C_m \cdot K \cdot I_{ya}^2$  ni hosil qilamiz.

$$I_{ya} = \sqrt{\frac{M}{C_E^2 K}}; \quad \Phi = \sqrt{K \cdot M / C_m} \quad \text{salt ishida } M=0, n=\infty.$$

$$n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{R_{ya}}{C_E C_m \cdot \Phi^2} \cdot M \quad (5.29)$$

$$n = \sqrt{\frac{C_m}{C_E^2 K}} \cdot \frac{U}{\sqrt{M}} - \frac{R_{ya}}{C_E K} \quad \text{kelib chiqadi.}$$

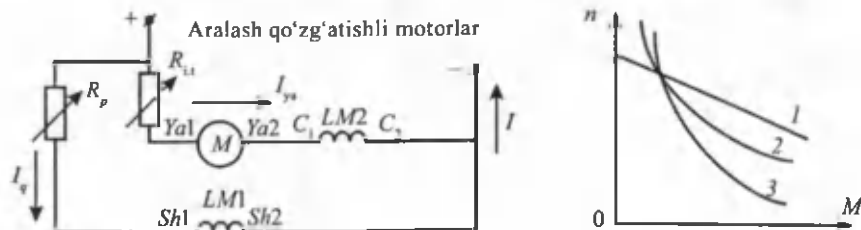
$\Phi$  ning kamayishi bilan aylanish chastotasi  $n$  ortib boradi (2- va 3-egri chiziqqlar) (5.12-rasm). Yakorga parallel reostat ulanganida,  $n$  kamayadi. (4- va 5-tasviflar). Yakor zanjiriga qo'shimcha  $R_{y1}$  kiritilsa,  $R_{ya} + R_{y1}$  mexanik 6- va 7-tavsiflar bo'ladi.

Parallel qo'zg'atishli O'TM mexanik tavsifi.

Ketma-ket ko'zg'atish chulg'amli O'TM mexanik tavsifi.

3. Aralash qo'zg'atishli O'TM mexanik tavsifi.

Qo'zg'atish chulg'amlari LM1 –shunt, LM2 series larning MYuKlarini o'zgartirib, istalgan oraliqdagi mexanik tavsifni hosil qilish mumkin.



5.12-rasm. Sxema va mexanik tavsiflar.

Misollar: O'TM ning pasport ma'lumotlari bo'yicha toklarni,  $M_{nom}$  va  $E_k$  qiymatlarini aniqlang.

**Yechim:** Manbadan iste'mol quvvat–nominal qiymati:

$$P_{Inom} = P_{nom} / \eta_{nom} \text{ [Vt]}$$

Nominal moment:

$$M_{nom} = 9550 P_{nom} / n_{nom} \cdot \text{[Nm]}, P_{nom} - \text{kVt da}$$

Manbadan iste'mol tokining nominal qiymati:

$$I_{nom} = \frac{P_{Inom}}{U_{nom}} \text{ [A]}$$

qo'zg'atish tokining nominal qiymati:

$$I_{q,nom} = \frac{U_{nom}}{P_q} \text{ [A]}$$

Yakor nominal toki:

$$I_{ya,nom} = I_{nom} - I_{q,nom} \text{ [A]}$$

Nominal qarshi EYuK:

$$E_{nom} = U_{nom} \cdot r_q \cdot I_{ya,nom} \text{ [B]}$$

$n(M)$  mexanik tavsif to'g'ri chiziq bo'lgani uchun, bu tavsifni faqat ikkita nuqta bo'yicha qurish mumkin.

1. Ideal salt ishi nuqtasi  $n_0$ ,  $M=0$  bo'lsa,

$$n_0 = \frac{U_{nom}}{C_E \cdot \Phi}$$

2. Nominal ish nuqtasi  $n_{nom}$ ,  $M_{nom}$  lar bilan to'rtta parametrdan no-ma'lum faqat  $n_0$

Buni  $M=0$  da  $n = U_{nom} / C_E \Phi$  ifodadan aniqlanadi.

$n = (U - r_{ya} \cdot I_{ya})$  ifodadan:

$$n = \frac{U_{nom} - R_{ya} I_{ya}}{C_E \Phi} \text{ aniqlanadi.}$$

$n_0$  ni  $n$  ga bo'lib, quyidagi ifodani hosil qilish mumkin:

$$n_0 = n_{nom} \frac{U_{nom}}{U_{nom} - R_A \cdot I_{ya,nom}}$$

Demak,  $C_E \Phi$  qiymatini aniqlashga zarurat yo'q.  $C_E \Phi$  ning qiymatisiz ham  $n_0$  aniqlanadi.

### 5.3. Asinxron mashinalar

Asinxron mashinalar o'girma xususiyatiga ega, ya'ni dvigatel (motor) rejimida ham, generator rejimida ham ishlay oladi. Lekin amalda asinxron generator qo'llanilmaydi, chunki ularning tavsiflari asinxron generatorkidan ancha past darajada.

Tuzilishining soddaligi, ishda puxtaligi va arzonligi tufayli asinxron motorlar amaliyotda eng ko'p tarqalgan elektr mashinasidir.

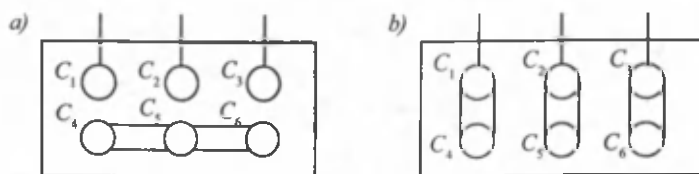
**Uch fazali asinxron motorning tuzilishi.** Asinxron motor stator va rotordan iborat:

Stator silindrik shaklga ega, u korpus, o'zak va chulg'amlardan tarkib topgan.

Korpus – quyma bo'lib, po'lat, cho'yan yoki aluminiydan tayyorlanadi. Stator o'zagi elektrotexnik po'lat varaqlardan yig'iladi. Hosil bo'lgan paket (dasta) korpusga presslab mahkamlanadi. O'zakning ichki sirtida doira bo'yicha kovaklar (paz) shtamplanadi. Har bir varaqning qalinligi 0,35–0,5 mm bo'lib, har birida kovaklar qilinib, ikki tomonidan sirtlari laklar bilan qoplanadi. Kovaklarga chulg'amlar joylashtiriladi. Chulg'amlar yulduz yoki uchburchak ulanadi (513-rasm). Fazalar chulg'amlarining boshi  $C_1, C_2, C_3$ , oxiri esa,  $C_4, C_5, C_6$  harflar bilan nomlanadi va motor korpusidagi qutichaga chiqarib qo'yiladi. Hozirgi davlat standarti bo'yicha chulg'amlarning uchlari  $U, V, W$  harflarda nomlanadi. Kuchlanish 380/220 V; 380 V – fazalararo kuchlanish yulduz sxema, 220 V – fazalararo kuchlanish uchburchak sxema mos keladi.

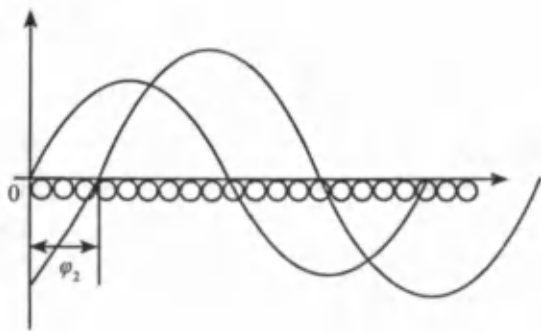
Ikkala holda ham chulg'amdagi faza kuchlanishi – 220 V. Stator korpusi ikkala yon tomonidan podshipnik shitlari bilan yopilgan, uning ichida (rotorning valiga) podshipniklar o'rnatilgan.

**Rotorning tuzilishi.** Rotor po'lat valga presslangan o'zakdan tarkib topgan; o'zak elektrotexnik po'lat varaqlardan yig'iladi. Har bir varaqda yopiq yoki yarim yopiq kovaklar shtamplanadi. O'zakda rotor chulg'ami joylashtiriladi. Chulg'amlar: qisqa tutashgan va fazali bo'ladi. Shuning uchun rotor qisqa tutashtirilgan yoki fazali deyiladi. Albatta, ham soddaroq ham arzonroq qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motordir.



5.13-rasm. Motor chulg'amlarini yulduz (a) va uchburchak (b) sxemada ulash.





5.14-rasm.

**Asinxron motor.** Elektromagnit moment  $M_{em}$  aylanma magnet maydonida rotor simlariga ta'sir etuvchi kuch bilan hosil bo'ladi.

$$f = B \cdot li_{2S}$$

$f$  – rotor simiga ta'sir etuvchi kuch;

$B = B_m \sin \xi$  – magnet induksiya;

$i_{2S} = I_{2m} \sin(\xi - \varphi_2)$  – rotor toki;

$\xi$  – rotor o'tkazgich simining holatini bildiruvchi koordinata;

$l$  – o'tkazgich uzunligi (rotor paketi uzunligi);

$\varphi_2$  – EYuK  $i_{2S}$  va rotor toki  $i_{2S}$  orasidagi faza siljish burchagi.

$l_{2S}$  fazasi  $B_{2S}$  bilan bir xil:

$$f = B_m li_{2S} \sin \xi \cdot \sin(\xi - \varphi_2).$$

O'rtacha kuch qiymati – bu rotor aylanishi bo'yicha  $f$  kuchning bitta o'tkazgichga ta'sir kuchi:

$$\begin{aligned} f_{o'rt} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2p} B_m \cdot li_{2m} \sin \xi \cdot \sin(\xi - \varphi_2) = \frac{B_m I_{2m}}{2\pi} \int_0^{2p} \frac{1}{2} [\cos 2\xi - \varphi_2] d\xi = \\ &= \frac{B_m I_{2m} l}{2} \cos \varphi_2 \text{ chunki } \int_0^{2p} \cos(2\xi - \varphi_2) d\xi = 0. \end{aligned}$$

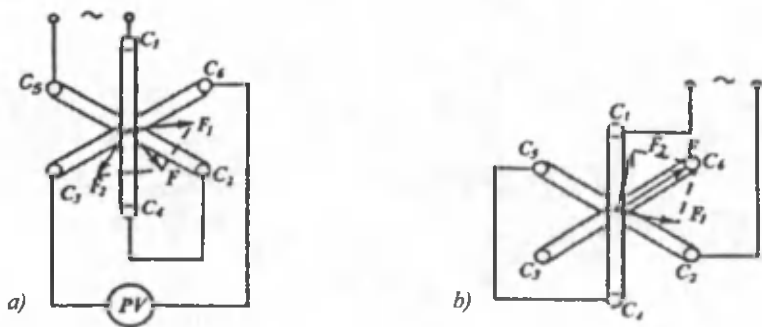
$$\Phi = N_2 f_{o'rt}, \quad M = \Phi D / 2, \quad \tau = \frac{\pi D}{2p}, \quad I_{2m} = \sqrt{2} \cdot I_{2S}, \quad B_m = \pi B_{o'rt} / 2 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Phi}{\phi l},$$

$$C = \tau \cdot l$$

$$\text{Demak, } M = C_m \cdot \Phi \cdot I_{2S}$$

$N_2$  – rotor o'tkazgichlari soni,  $M$  – moment,  $\Phi$  – kuch,  $\tau$  – pol bo'linmasi.

$$\begin{aligned} C_m &= (N_2 P) / 2 \sqrt{2} \\ \varphi_2 &= \arctg \frac{x_2 S}{R_2} \end{aligned} \quad (5.30)$$



5.15-rasm. Ishchi mexanizmning qisqa muddatli ish rejimi diagrammasi.

$R_2$  – aktiv qarshilik,

$x_2$  – rotor fazasining induktiv qarshiligi.

Rotor mis yoki alumin tayoqchalardan (sterjen) tarkib topib, bu tayoqchalar ikki yon tomonidan umum tugunga birlashtiriladi (ya'ni, qisqa tutashtiriladi). Olmaxon qafasi (беличья клетка) rotor kovaklariga eritilgan alumin quyish bilan hosil bo'ladi.

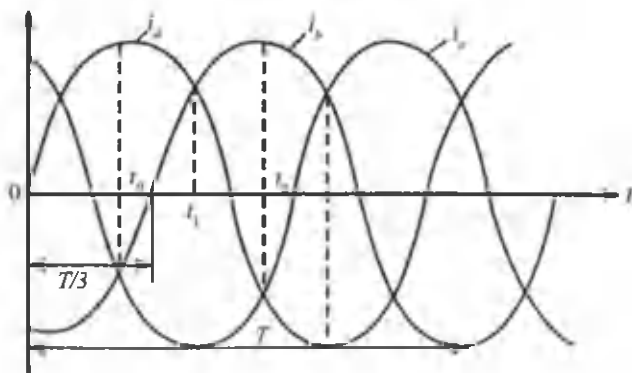
Fazali rotorda uchta alohida chulg'am bo'lib, ular yulduz usulida ulanadi. Chulg'amlar uchlari alohida uchta halqalarga ulanadi, halqalar esa, valda mahkamlanadi. Halqalarga cho'tkalar bosilib turadi, cho'tkalarga reostat ulanadi.

**Aylanuvchi magnit maydoni.** Aylanma magnit maydonini hosil qilish tamoyili – agar mahkam qilib joylashtirilgan o'tkazgichlar tizimidan o'zaro bir-biridan siljigan toklar o'tsa, fazoda aylanma magnit maydoni hosil bo'ladi. (O'tkazgichlar fazoda aylana bo'yicha o'zaro geometrik siljitib joylashtiriladi.) Agar o'tkazgichlar tizimi simmetrik bo'lsa va toklarning o'zaro siljish faza burchagi bir xil bo'lsa, magnit maydoni induksiyasi va maydon tezligi doimiy bo'ladi. Agar:

$$i_A = I_m \sin \omega t, i_B = I_m \sin (\omega t - 120^\circ), i_C = I_m \sin (\omega t + 120^\circ) \quad (5.31)$$

deb qabul qilsak, har bir chulg'amda ( $ABC$  faza chulg'amlari) ikkita sim bo'lib, ularning har biri diametrial qarama-qarshi kovakda joylashadi.

5.16-rasmdan ko'rinib turibdiki,  $t_0$  vaqt onida  $A$  fazasidan o'tuvchi tok musbat,  $B$  va  $C$  fazalarida esa, manfiy. Agar tokning yo'nalishini chulg'am o'tkazgichining bosh uchidan oxirgi uchigacha yo'nalgan deb qabul qilsak, + belgi chulg'am boshida va belgi chulg'am oxirida qo'yiladi.



5.16-rasm.  $i_a, i_b, i_c$  uch fazali tok to'liqin diagrammasi.

O'ng vint qoidasiga binoan magnit maydoni tasvirini  $t_0$  vaqt onida topiladi. Uch faza toklari hosil qilgan umum magnit maydoni induksiyasi  $B_{max}$  ni gorizontal o'q bo'yicha yo'naltiramiz (5.17-rasm).

Shunday qilib, bir davr  $T$  ichida magnit maydoni bitta aylanib chiqadi:

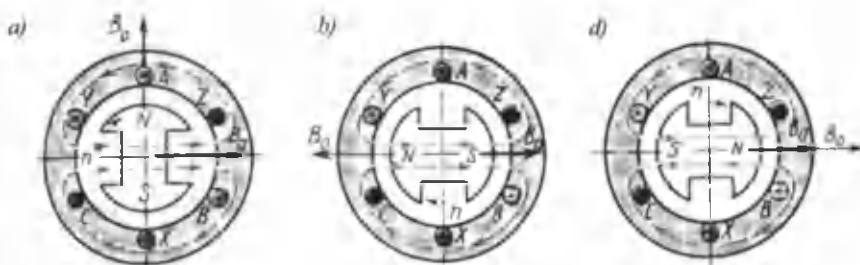
$$\alpha_r = \omega T = 2\pi f, (1/f = 2\pi = T)$$

Agar  $2p=2$  bo'lsa, magnit maydoni  $n_1 = \frac{60f}{p} = 60 \cdot 50 = 3000$  ayl/min aylanish chastotasiga ega bo'lamiz.

$$B_{mDM} = \frac{2}{3} B_m \sin(\omega t - \alpha) \quad (5.32)$$

$\alpha$  – gorizontal o'q bilan to'g'ri chiziq orasidagi burchak, to'g'ri chiziq markaz bilan stator va rotor orasidagi ixtiyoriy nuqtani birlashtiradi.

$B_m$  – bitta faza uchun maksimal magnit induksiyasi.



5.17-rasm. Magnit maydoning tasviri va induksiyaning joylashishi.

Maydonning yo'nalishi soat mili yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Agar istalgan ikki faza o'rnini o'zgartirilsa (masalan,  $B$  va  $C$  fazalar), maydon aylanishi yo'nalishi o'zgaradi, ya'ni maydon reverslanadi. Agar har bir fazada chulg'am g'altaklari sonini ko'paytirilsa, lekin toklar siljish fazasi  $120^\circ$  ligicha qoldirilsa, maydonning aylanish chastotasi o'zgaradi.

**Asinxron motorning salt ishlash rejimi.** Asinxron motorlarda transformatorlardagiga o'xshash elektromagnit jarayonlar sodir bo'ladi. Darhaqiqat, faza rotorli asinxron motorning rotor chulg'ami reostatga ulanmay ochiq qoldirilsa, asinxron motorning salt ishlash rejimi yuzaga keladi. Bunda statorga berilgan uch fazali tokning magnit maydoni stator va rotor chulg'amlarida, transformatoridagi singari:

$$E_1 = 4,44 \omega_1 f_1 K_{41} \Phi_M \text{ va } E_2 = 4,44 \omega_2 f_2 K_{42} \Phi_M \quad (5.33)$$

EYuK larni hosil qiladi. Bu formulalarda  $E_1$ —stator chulg'ami,  $E_2$ —rotor chulg'amida hosil bo'lgan EYuK lar,  $f_1$ —elektr tarmog'idagi kuchlanish chastotasi;  $f_2 = f_1$ —harakatsiz rotor chulg'amida hosil bo'lgan EYuK chastotasi;  $W_1$  va  $W_2$ —stator va rotor chulg'amlarining o'ramlari soni,  $K_{41}$ ,  $K_{42}$  esa ularning chulg'am ko'effitsiyentlari. Asinxron va sinxron mashinalarda asosan qadami qisqartirilgan, sochilgan sxemali chulg'am ishlatiladi. Bunday chulg'amda hosil bo'lgan EYuK qadami qisqarmagan chulg'amdagi EYuK dan kichik bo'ladi. Buni hisobga olish uchun EYuK ifodasiga qadam qisqarishi ko'effitsiyenti  $K_k$  kiritiladi. Bu ko'effitsiyentning chulg'am sochilish ko'effitsiyenti  $K_{soch}$  ga ko'paytmasi chulg'am ko'effitsiyenti ( $K_{ch}$ ) deyiladi, ya'ni  $K_{ch} = K_k \cdot K_{soch} = 0,9 \cdot 0,95$ . Stator chulg'ami uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tuzilgan:

$$\dot{U} = -\dot{E} + \dot{I}_0 R_1 + \dot{I}_0 x \quad (5.34)$$

tenglama ham transformator tenglamasiga o'xshashdir. Asinxron motorning stator va rotor o'zaklari bir-biridan havo oralig'i bilan ajralganligi sababli stator chulg'amidagi magnitlovchi tok qiymati transformatoridagiga nisbatan ancha katta, ya'ni:

$$I_0 \approx (20-60)\% I_{1nom}$$

bo'ladi, Motorning transformasiyalash ko'effitsiyenti:

$K = K_c \cdot K_f$ . Bunda:

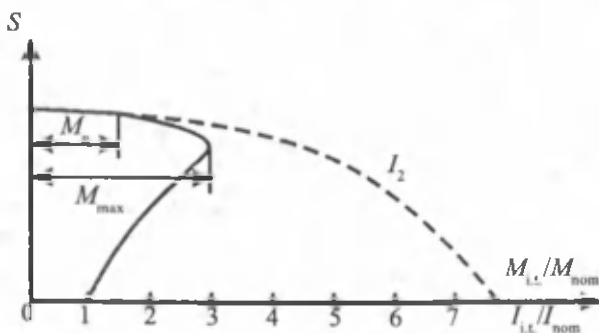
$$K_c = \frac{E_1}{E_2} = \frac{K_{41} w_1}{K_{42} w_2}; \quad K_f = \frac{I_2}{I_1} \frac{m K_{41} w_1}{m K_{42} w_2}$$

Rotor chulg'ami parametrlarini stator parametrlariga keltirish ifodalari ham transformatoridagi keltirishlarga o'xshaydi:

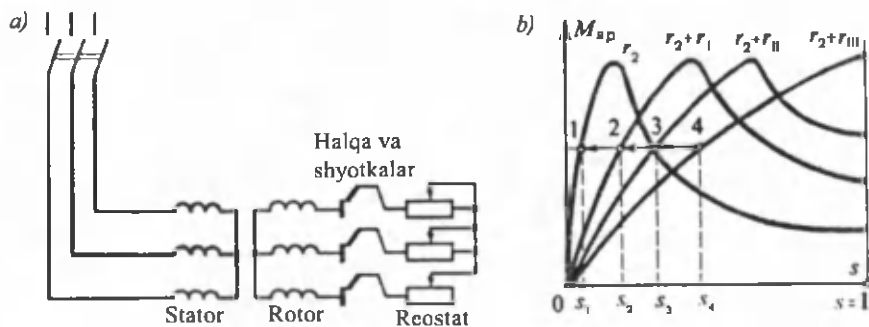
Asinxron motorning salt ishlash rejimidagi quvvat isrofi asosan o'zamlarni qizdirishga sarflanadi.

**Asinxron motorning qisqa tutashuv rejimi.** Tormozlangan rotor chulg'amini qisqa tutashtirib, stator chulg'amiga nominal tok hosil qiluvchi kichik kuchlanish berilsa, asinxron motorning qisqa tutashuv rejimi yuzaga keladi. Bunda havo oralig'i tufayli faqat stator chulg'ami bilan ilashuvchi magnit oqimi ko'proq bo'lgani sababli, qisqa tutashuv kuchlanishi nisbatan katta bo'ladi. Agar tormozlangan motor statoriga nominal kuchlanish berilsa, qisqa tutashuv tokining boshlang'ich qiymati nominalga nisbatan 4–7 marta katta bo'ladi va motor aylana boshlaydi. Motor aylanishi bilan bu tokning qiymati keskin kamayib boradi va motorning yuklamasi, masalan, nominalga teng bo'lsa, bu tokning kamayishi nominal qiymatga yetgach to'xtaydi. Demak, qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni ishga tushirishning boshlang'ich paytida qisqa tutashuv rejimida ishlaydi. Asinxron motorning qisqa tutashuv rejimidagi quvvat isrofi asosan chulg'amning mis simlarini qizdirishga sarflanadi.

**Asinxron motorni ishga tushirish deb,** elektr tarmog'iga ulangan motor chastotasining noldan to nominalgacha ko'tarilib borish jarayoniga aytiladi. Bu jarayon ishga tushirish toki  $I_{iL}$  nominalga nisbatan  $5 \div 8$  marta katta, ya'ni  $I_{iL} = (5 \div 8) I_{nom}$  bo'ladi. Motorlar katalogida berilgan  $I_{iL}/I_{nom}$  va ularning shchitida ko'rsatilgan  $I_{nom}$  tok qiymatidan foydalanib,  $I_{iL}$  topiladi. Asinxron motorni ishga tushirish momenti  $M_{iL}$  ning qiymati uncha katta emas, ya'ni  $M_{iL} = (0,8 \approx 1,5) M_{nom}$  chegarasida bo'ladi.



5.18-rasm. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning  $I_{iL}$  va  $M_{iL}$  larini o'zgarish tavsiflari.



5.19-rasm. Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish sxemasi.

**Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish.** Bunday motor quyidagi tartibda ishga tushiriladi: stator chulg'ami biror yulduz yoki uchburchak sxemada elektr tarmog'iga ulashdan oldin, rotorning yulduz sxemasida ulangan chulg'amiga uch fazali aktiv qarshilikni – reostatning hamma pog'onalari kiritiladi. Natijada ishga tushirish tokining qiymati qisqa tutashtirilgan rotorli motordagiga nisbatan 2–2,5 marta kichik, ya'ni:

$$I_{\text{it}} = \frac{(5+8)I_{\text{nom}}}{2+2,5}$$

bo'ladi.

Shuningdek  $S_{\text{kr}}$  qiymati rotor zanjiriga kiritilgan aktiv  $R_2$  qarshilikka proporsionalligi va  $M_{\text{max}}$  ni  $R_2^k$  ga bog'liq emasligi sababli,  $R_2^k$  qiymati  $X_1 + X_2^k$  ga teng qilinsa, Faza rotorli fsinxron motorni ishga tushirishdagi momenti nominalga nisbatan 2–2,5 marta oshirilishi, ya'ni maksimal  $M_{\text{max}} (2-2,5) M_{\text{nom}}$  ga yetkazilishi mumkin. Faza rotorli asinxron motorning kichik tok va kichik aylantiruvchi moment bilan ishga tushirilishi uning asosiy afzalliklaridan hisoblanadi.

**Asinxron motorni ishga tushirish usullari.** Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni ishga tushirishda u katta qiymatli  $I_{\text{it}} = (5-8) I_{\text{nom}}$  toki bilan qisqa tutashuv rejimida ishlaydi. Bunda, ishga tushirish toki qisqa vaqtda salt ishlashdagi kichik tok qiymatigacha pasayadi. Shu sababli (motorlar ko'pincha salt ishlash rejimida ishga tushiriladi), bunday katta tok motor uchun deyarli xavf tug'dirmaydi. Ammo bu tok elektr tarmog'idan o'tib, undagi generator yoki transformatorning kuchlanishini ancha pasaytirishi mumkin. Natijada bu tarmoqqa ulangan va normal yuklamada ishlayotgan boshqa asinxron motorlar aylantirish momenti kuchlanish kvadratiga proporsional  $M=U^2$  bo'lgani sababli, o'z-o'zidan

to'xtab qolishi va ishga tushirish jarayoni tugashi bilan yana o'z-o'zidan ishlab ketish xavfi tug'iladi. Bunday hol, ayniqsa katta quvvatli motorlarni ishga tushirishda ro'y beradi. Elektr tarmog'idagi kuchlanishning keskin pasayishiga yo'l qo'ymaslik uchun asinxron motorlar turli usullar bilan ishga tushiriladi.

**To'g'ridan to'g'ri ishga tushirish.** Asinxron motorni elektr tarmog'iga bevosita ulab, ishga tushirish to'g'ridan to'g'ri ishga tushirish deyiladi. Bunda  $P_m \leq (0,2-0,25) P_{cr}$  shartiga rioya qilinishi, ya'ni ishga tushirilayotgan motorning quvvati ( $P_m$ ) elektr tarmog'idagi generator yoki transformator quvvati ( $P_{cr}$ ) dan 4-5 marta kichik bo'lishi kerak.

Agar asinxron motorning quvvati elektr tarmog'i quvvatiga yaqin bo'lsa, motorga beriladigan kuchlanish va demak, ishga tushirish toki biror usul bilan kamaytiriladi.

**Yulduz berayotgan uchburchak sxemasi o'tkazib motorni ishga tushirish.** Ilgarigi vaqtlarda asinxron motorlar, asosan 220 V faza kuchlanishiga hisoblanib, yulduz sxemasida ishlatilgan. Agar uchburchak sxemasida ishlashga mo'ljallangan motor salt ishlash rejimida yoki kichik yuklamalarda ishga tushirilsa, stator chulg'amiga beriladigan kuchlanishni pasaytirish uchun uni avval yulduz sxemada ulab, ishga tushirish mumkin. Bunda motor fazasiga beriladigan kuchlanish  $\sqrt{3}$  marta kichik bo'ladi. Natijada ishga tushirish toki uchburchak sxemadagiga nisbatan uch marta kamayadi. Lekin  $M=U^2$  bo'lganligi sababli, bunday usulda ishga tushirilayotgan motorning aylantiruvchi momenti va quvvati uch marta kamayadi. Ma'lumki, motor aylana boshlashi bilan unga berilayotgan tok keskin kamayib boradi va bunda u osongina uchburchak sxemasiga o'tkazilib, to'la yuklamaga ko'chirilishi mumkin. Bunday tejimli va qulay ishga tushirish usulidan keng foydalanish uchun faza kuchlanishi 380 V ga teng, ya'ni normal ishlash rejimi uchburchak sxemasiga hisoblangan asinxron motorlar ko'plab chiqarilmoqda. Uchburchak sxemasiga hisoblangan motorlarning nominalga nisbatan taxminan 3 marta kichik. ( $P=0,3 P_{nom}$ ) yuklamalarda yulduz sxemasiga o'tkazib ishlatish bilan ularning energetik ko'rsatkichlari ( $\cos \varphi, \eta$ ) ni keskin ko'tarish imkoni tug'iladi. Ishga tushirish tokini kamaytirish maqsadida motor statoriga beriladigan kuchlanish qiymatini avtotransformator hamda aktiv yoki induktiv qarshilik bilan ham pasaytirish mumkin, ammo bu usullar qo'shimcha mablag' talab qiladi hamda ancha tejamssizdir.

**Asinxron motorning aylanish chastotasini rostdlash.** Asinxron motorning aylanish chastotasi, uning

$$n_2 = n_1(1-s) = \frac{60-f}{p}(1-s) \quad (5.36)$$

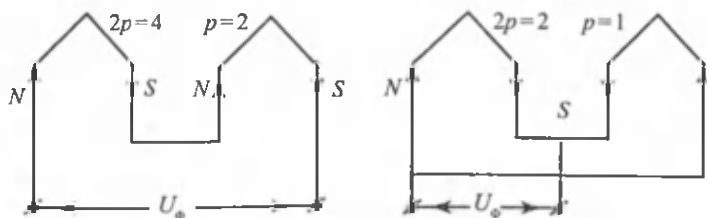
ifodalariga ko'ra, uch xil usulda: 1) elektr tarmog'idagi kuchlanish chastotasi  $f$  ni o'zgartirish; 2) stator chulg'amidagi tok hosil qiluvchi magnit maydonining juft qutblar soni  $p$  ni o'zgartirish va 3) sirpanish  $s$  ni o'zgartirish bilan rostdlanadi.

Birinchi usulda asinxron motorning aylanish chastotasi keng diapazonda, silliq va tejamli rostdlash uchun elektr tarmog'idagi I kuchlanish qiymati va chastotasining keng diapazonda o'zgartirib beruvchi chastota o'zgartkichlardan foydalaniladi. Bunday usul bilan rostdlashda sun'iy mexanik tavsiflarning bikrligi tabiiy tavsif bikrligidan deyarli farqlanmaydi. Chastota o'zgartkichlardan eng istiqbollisi tiristorli chastota o'zgartkichdir. Bunday o'zgartkichlardan foydalanib, minutiga 100–200 ming marta aylanuvchi yuqori chastotali asinxron motorlar yaratilgan. Boshqa usullar bilan bunday motorlar yaratish mutlaqo mumkin emas. Lekin texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yuqori bo'lgan tiristorli chastota o'zgartkichlarni amalda qo'llash masalasi hali tubdan hal etilmagan. Shu sababli bu istiqbolli usul hozircha keng tarqalmagan.

Asinxron motorning aylanish chastotasini pog'onalab rostdlashda ikkinchi usuldan keng foydalaniladi. Bunda statorga juft qutblar soni turlicha bo'lgan bir nechta chulg'am o'rnatiladi. Bu chulg'amlardagi juft qutblar soni o'zgartirilishi mumkin. Natijada juft qutblar soni  $p = 1, 2, 3, 4$  va demak, aylanish chastotasi:

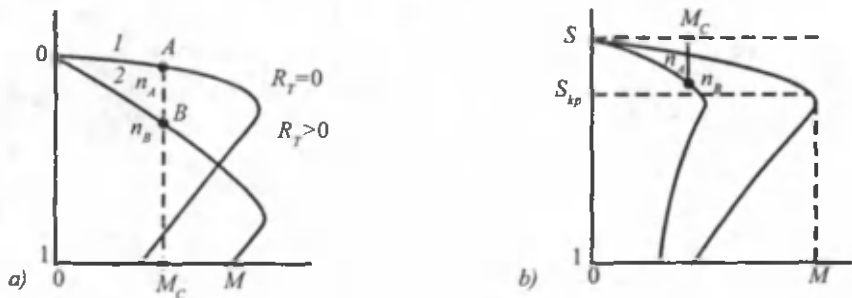
$$n = \frac{60}{p} f = 3000, 1500, 1000 \text{ va } 750 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$$

bo'lgan motor hosil bo'ladi. Bunday motor ko'p tezlikli motor deb ham yuritiladi. 5.20-rasmda stator chulg'amining juft qutblar sonini o'zgartirishga doir sxema ko'rsatilgan.



5.20-rasm. Juft qutblarni o'zgartirish sxemasi.





5.21.-rasm. Chastotani rostdash grafigi.

a) da rotor zanjiriga aktiv qarshilik kiritish va b) da statorga beriladigan kuchlanishni o'zgartirish yo'li bilan chastotasini rostdash grafigi ko'rsatilgan

Asinxron motorning aylanish chastotasini uchinchi usulda rostdashda:

$$n_2 = n_1 (1 - s), \quad M = U^2 \quad \text{va} \quad s = \frac{3(I_2^K)^2 R_2^K}{\omega_1 M} \quad (5.37)$$

tenglamadan foydalaniladi. Buning uchun faza rotor chulg'ami zanjiriga  $R_2$  aktiv qarshilik kiritib,  $s$  va demak,  $n_2$  qiymati rostdanadi.  $R_2$  ni qizitishga sarflanadigan quvvat isrofi aylanishi rostdash diapazoniga proporsional bo'lganligi sababli bunda motorning aylanish chastotasini nominalga nisbatan faqat 20–30% pastga rostdash tavsiya qilinadi. Qisqa tutashirilgan rotorli motor chastotasini bu usulda rostdash uchun stator chulg'amiga beriladigan kuchlanishni o'zgartirish imkoni bo'lishi kerak (5.21-rasm).

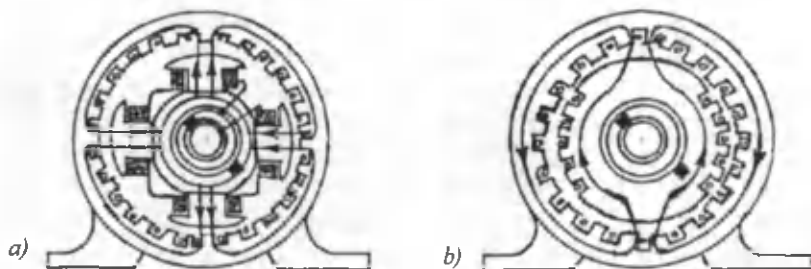
## 5.4. Sinxron elektr mashinalari

Rotorning aylanish chastotasi va statoridagi tokdan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonining aylanish chastotasi o'zaro teng va (bir xil yunalishli bo'lgan uch fazali o'zgaruvchan tok mashinalari sinxron elektr mashinalari deyiladi. Bunda aylanuvchi magnit maydoni rotor bilan bir tomonga aylanadi. Sinxron mashina ham boshqa elektr mashinalari kabi, generator va motor sifatida ishlay oladi. Elektr energiyasini, asosan, elektr stansiyalaridagi uch fazali sinxron generatorlar ishlab chiqaradi. Uch fazali sinxron motorlardan ko'pincha o'zgarimas chastota bilan aylanadigan katta quvvatli nasos, kompressor va ventilator kabi mexanizmlarning yuritmalarida foydalaniladi. Sinxron motor ham qo'zg'almas stator va aylanuvchi rotordan iborat. Ularning statoriga ham uch fazali chulg'am o'raladi. Sinxron motor ning rotori ikki xil: *ayon* va *noayon*

qutbli tuzilishda tayyorlanadi. Hidroturbinalar bilan past chastotalarda aylantiriladigan sinxron gidrogeneratorlarga ayon, bug' turbinalari bilan yuqori chastotalarda aylantiriladigan sinxron turbogeneratorlarga esa, noayon qutbli rotorlar qo'yiladi. 5.22-rasm, *a* da sinxron motorning ayon va 5.22 rasm, *b* da noayon qutbli rotorlari ko'rsatilgan.

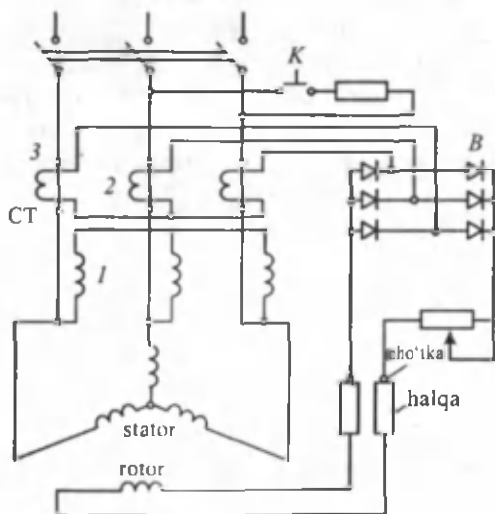
Rotor qutblariga o'zgarmas tok bilan ta'minlanadigan qo'zg'atish chulg'ami o'rnatiladi. Bu chulg'am tokidan sinxron motorning asosiy magnit maydoni hosil bo'ladi.

**Sinxron generator.** Mexanik energiyani uch fazali o'zgaruvchan tokka aylantiradigan sinxron elektr mashinasi sinxron generator deyiladi. Sinxron generatorning ishlash prinsipi ham elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan. Agar magnit maydoni hosil qilingan rotor nominal chastotada aylantirilsa, statorning yulduz yoki uchburchak sxemasida ulangan uch fazali chulg'amida EYuK yuzaga keladi va bu chulg'am uch fazali simmetrik yuklamaga ulansa, generatorda uch fazali tok hosil bo'ladi. Bu tok: fazalar ham EYuK fazalari singari o'zaro  $120^\circ$  burchakka siljigan bo'ladi. Sinxron generator rotorining aylanishlar chastotasi  $n_p$ , juft qutblar soni  $p$  va stator chulg'amidan o'tadigan uch fazali tokning chastotasi  $f$  o'zaro  $n_{\text{rotor}} = \frac{60f}{p}$  ifoda bilan bog'lanadi. Bu bog'lanishdan foydalanib, chastotasi  $f=50$  Gs bo'lgan tok hosil qilish uchun juft qutblar soni  $p = \text{const}$  bo'lganda  $n_p$  qiymatini,  $n_p = \text{const}$  bo'lganida esa  $p$  qiymati hisoblab topiladi. Generatorning uch fazali tokidan rotorning aylanish chastotasiga teng chastotada va u bilan bir tomonga aylanuvchi magnit maydoni hosil bo'ladi. Shu sababli bunday generator sinxron generator deyiladi. Sinxron generatorning rotor va stator tokidan hosil bo'lgan magnit maydonlari bir tomonga va bir xil chastotada aylanishi sababli ularni o'zaro qo'shish yoki ayirish mumkin.



5.22-rasm. *a*) ayon va *b*) noayon qutbli rotorlar.

**Sinxron generatorni qo'zg'atish.** Sinxron generatorning asosiy magnit maydonini hosil qiluvchi o'zgarmas tok manbai sifatida uning rotor valiga o'rnatiladigan qo'zg'atkich (parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatori) yoki biror tipdagi statik to'g'rilagichdan foydalaniladi. Qo'zg'atkichlar asosan 100 kVA dan yuqori quvvatli sinxron generatorlarda qo'llaniladi. 100 kVA dan past quvvatli sinxron generatorlarda esa rotor qutblaridagi qoldiq magnetizm yordamida o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipidan foydalaniladi. 5.23-rasmda o'z-o'zini qo'zg'atishli sinxron generatorning ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda 1-stabillashtiruvchi transformator ST ning stator chulg'amga parallel ulangan birlamchi chulg'ami, 3 esa unga ketma-ket ulangan birlamchi chulg'ami, 2-stabillashtiruvchi transformatorning ikkilamchi (generatoridagi kuchlanishni statik to'g'rilagich (V) ga pasaytirib moslab beruvchi) chulg'ami. O'z-o'zini qo'zg'atish jarayonini tezlashtirish uchun sinxron generatorni ishga tushirishda uning ikki fazasini knopka K bilan qisqa tutashtirib, qoldiq magnetizmdan hosil qilingan EYuK ( $E_{qol}$ ) dan chulg'am 3 da katta tok hosil qilinadi va demak, chulg'am 2 dagi EYuK tez ko'paytiriladi. Bunda statik to'g'rilagichdan cho'tka va halqalar orqali rotor chulg'amiga beriladigan qo'zg'atish toki ham tez oshib, generator jadallik bilan o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipida ishlay boshlaydi.



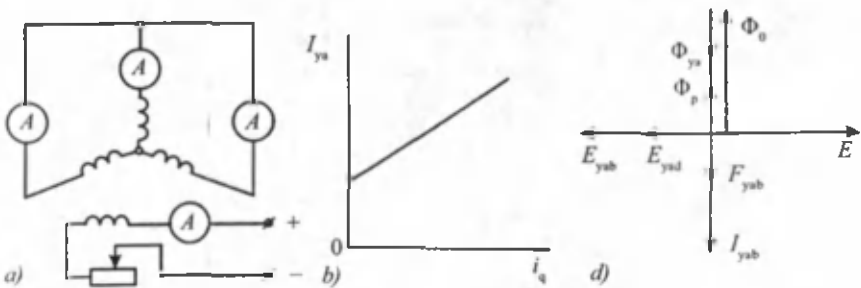
5.23-rasm. O'z-o'zini qo'zg'atishli sinxron generatorning ulanish sxemasi.

Hozirgi paytda mexanik to'g'rilagichlar bilan qo'zg'atiluvchi 30–50 kVt quvvatli sinxron generatorlar o'zlashtirilgan. Ularda sinxron generatorning rotori validagi halqalar va qo'zg'almas cho'tkalar o'rniga mexanik to'g'rilagich qo'yiladi. Statorga esa qo'shimcha uch fazali chulg'am o'rnatiladi. Aylanuvchi rotor qutblaridagi qoldiq magnetizmdan bu qo'shimcha chulg'amda hosil bo'lgan o'zgaruvchan EYuK mexanik to'g'rilagichga beriladi va natijada u orqali rotor chulg'ami o'zgarimas tok bilan ta'minlanadi. Shunday qilib, generator o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipida ishlay boshlaydi.

**Sinxron generatorning qisqa tutashuv tavsifi.** 5.24-rasmda sinxron generatorning qisqa tutashuv tajribasi sxemasi, tavsifi va vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Qisqa tutashuv tajribasida yakor chulg'amlari ampermetrlar orqali qisqa tutashtirilib, sinxron generatorning rotori nominal chastotada aylantiriladi. So'ngra qo'zg'atish toki  $i_q$  ni noldan asta-sekin ko'paytira borib, yakor toki  $I$  nominal qiymatiga yetkaziladi. Shu tajribaga asosan sinxron generatorning qisqa tutashuv tavsifi  $I_{ya} = f(i_q)$  ning grafigi yasalanadi. Bu tajribada ham  $i_q = 0$  bo'lgan vaqtida qoldiq ta'sirida yakor toki hosil bo'ladi. Stator chulg'aminin aktiv qarshiligi  $R_{ya}$  juda kichik bo'lgani uchun uni hisobga olinmasa, bu tajriba generator yakoridagi tok induktiv xarakterga ega bo'ladi.

Ana shu induktiv tokdan hosil bo'lgan magnit oqimi asosiy magnit oqimiga teskari bo'lgani uchun uni kamaytiradi. Shu sababli qutb o'zaklari to'yinmagan, sinxron generatorning qisqa tutashuv tavsifi esa to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.

**Sinxron generatorning tashqi tavsifi.** Sinxron generatorni loyihalashda uning nominal parametrlari aktiv-induktiv yuklamada  $\cos \varphi = 0,8$  katta quvvatli generatorlarda esa  $\cos \varphi = 0,85–0,9$  ga hisoblanadi.



5.24-rasm. Sinxron generatorning ulanish sxemasi:

a), b) xarakteristikasi va d) vektor diagrammasi.

Generator  $U$  kuchlanishining yuklama toki  $I$  ga bog'lanishini ifodalovchi  $U=f(I)$  egri chiziq sinxron generatorning tashqi tavsifi (5.25-rasm) deyiladi. Bu xarakteristikani olish uchun o'tkaziladigan tajribada qo'zg'atish toki  $i_k$ , chastota  $f$  va  $\cos \varphi$  qiymatlari o'zgarmas bo'lishi kerak.

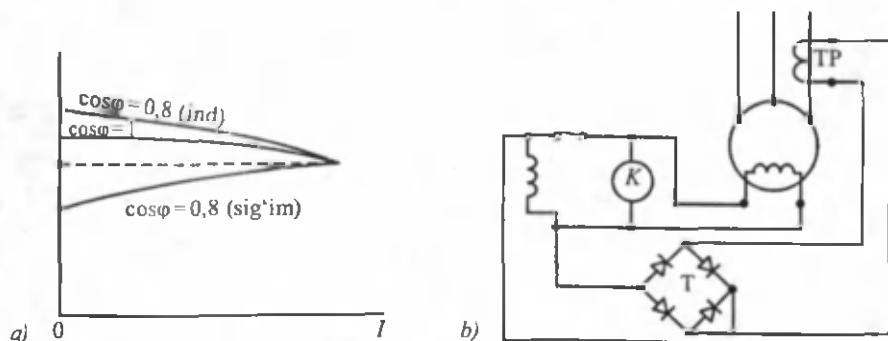
Bu xarakteristikadan ham yuklama oshganda kuchlanishning pasayishini aniqlash mumkin, ya'ni  $\Delta U = U_{nom} - U$  yoki:

$$\Delta U \% = \frac{U_{nom} - U}{U_{nom}} \cdot 100 \quad (5.38)$$

bo'ladi. Ammo bunday tajriba orqali  $\Delta U$  ni aniqlash tejamsizdir. Shu sababli odatda EYuK larning vektor diagrammasidan yoki amaliy diagrammalardan foydalanib, aniqlanadi.

**Sinxron generatorni rostlash tavsifi.** Yuklama toki  $I_{ya}$  ning o'zgarishida generatorning kuchlanishini nominalga teng va o'zgarmas, ya'ni  $U = U_{nom} = \text{const}$  bo'lishini ta'minlaydigan  $i_q = f(I_{ya})$  bog'lanish sinxron generator rostlash tavsifi deyiladi. Bu xarakteristika chastota  $f = f_n = \text{const}$  va quvvat ko'effitsiyenti  $\cos \varphi = \text{const}$  bo'lgan sharoitda olinadi.

**Sinxron generatorni kompaundlash.** Yuklamaning o'zgarishida sinxron generatordan yuklamaga beriladigan kuchlanish ma'lum sabablarga ko'ra goh kamayib, goh ko'payib turadi. Yuklamaning o'zgarishida kuchlanishning o'zgarماسligi uchun generatorning qo'zg'atish tokini rostlab turish kifoya. Bunda qo'zg'atish chulg'amidagi  $i_k$  tokni reostat orqali rostlashdan ko'ra generator qo'zg'atkich tokini rostlash tejamlir oq bo'ladi. Kuchlanishni avtomatik ravishda o'zgartirmay saqlash uchun maxsus kuchlanish rostlagichlari yoki maxsus sxemalardan foydalaniladi. Bunday maxsus sxemadan foydalanish sinxron generatorni kompaundlash deyiladi. 5.25-rasmda kompaundlangan sinxron generatorning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Unda yuklama tokining ortishi bilan tok transfor-

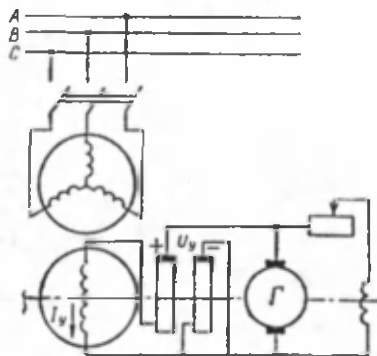


5.25-rasm. Sinxron generatorning: a) tashqi tavsifi va, b) prinsipial sxemasi.

matori (TR) ning ikkilamchi chulg'amidagi EYuK ko'payib, to'g'rilagich  $T$  dan qo'zg'atkich  $K$  ning qo'zg'atish chulg'amiga beriladigan tok kuchayadi va natijada generatorning qo'zg'atish toki ko'payib, uning kuchlanishi avtomatik ravishda o'zgartirilmay saqlanadi. O'rta va kichik quvvatli sinxron generatorlarning kuchlanishini o'zgartirmay saqlash uchun maxsus rostlagichlardan ham keng foydalaniladi.

**Sinxron generatorlarning parallel ishlashi.** Elektr stansiyalarida generatorlar o'zaro parallel ulanib, o'z energiyasini umumiy shinaga beradi. Bunda yuklamaning ko'p-ozligiga qarab, parallel ulangan generatorlar soni o'zgartib turiladi va shu bilan har bir generatorning to'la quvvat bilan ishlashi ta'minlanadi. Shuningdek, bir necha elektr stansiyasi o'zaro parallel ulanib, umumiy energotizimi tashkil qilishi mumkin. Bunda elektr stansiyalarining foydali ish koeffitsiyenti yuqori bo'ladi, ularda o'rnatilgan mashina agregatlar va uskunalardan yaxshiroq, to'laroq foydalaniladi va ehtiyot generatorlarining soni kamayadi. sinxron generatorlarning parallel ishlashida quyidagi shartlarga rioya qilinishi: 1) ishlab turgan va parallel ulangan generatorlarning kuchlanishi bir xil, fazalari esa  $180^\circ$  burchakka surilgan bo'lishi; 2) generatorlarning chastotalari o'zaro teng va ularning fazalari bir xil ketma-ketlikda bo'lishi kerak.

**Sinxron motorlar.** Rotorining aylanish chastotasi va yo'nalishi stator-dagi tokning hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonining aylanish chastotasi va yo'nalishi bilan bir xil (sinxron) bo'lgan elektr motorlar sinxron motorlar deyiladi. Sinxron motorlarning tuzilishi sinxron generatorlarning tuzilishidan deyarli farq qilmaydi. Bunday motor statoriga ham uch fazali chulg'am o'rnatiladi, rotoriga esa o'zgarmas tok bilan ta'minlanadigan qo'zg'atish chulg'amidan tashqari, uni asinxron usulda ishga tushirishga mo'ljallangan qisqa tutashtirilgan chulg'am joylashtiriladi (5.26-rasm).



5.26-rasm. Sinxron mashinaning elektr sxemasi.

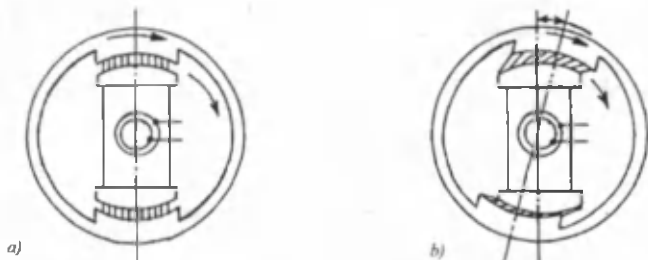
Bu chulg'amdan sinxron motorlarni ishga tushirishda foydalaniladi. Sinxron motor asosan ayon qutbli tuzilishda chiqariladi. Unda qisqa tutashtirilgan ishga tushirish chulg'ami qutb boshmoqlariga o'rnatiladi. Ayon qutbli sinxron motor quvvati 40–12000 kVt, aylanish chastotasi:

$$125 - 1000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$$

quvvat koeffitsiyenti  $\cos\varphi=1$  va uzuvchi  $\cos\varphi=0,8$  ga hisoblab chiqariladi. Yuqori aylanish chastotasida ishlaydigan sinxron motorlar noayon qutbli tuzilishda, 1300, 2000, 3000 kVt quvvatlarga hisoblanib chiqariladi. Bunda rotorning yaxlit po'lat o'zakli qutblari qisqa tutashtirilgan ishga tushirish chulg'ami vazifasini bajaradi. Sinxron motorning stator va rotori o'rtasidagi havo oralig'i generatordagiga nisbatan kichikroq bo'ladi. sinxron motorning ishlash prinsipi ham stator chulg'amiga beriladigan uch fazali tokdan hosil bo'ladigan aylanuvchi magnit maydoniga hamda elektromagnit kuchlar qonuniga asoslangan. 5.27-rasmda sinxron motorning ishlash prinsipiga doir model ko'rsatilgan. Statorga uch fazali tok berilsa, rotordagi qisqa tutashtirilgan chulg'am tufayli sinxron motor asinxron motor singari ishga tushiriladi. So'ngra uning aylanish chastotasi asinxron chastota  $n_2 = n_1(1-s)$  ga tenglashganda rotorning qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarimas tok beriladi.

Bunda rotor va statoridagi aylanuvchi magnit maydonlarining qarama-qarshi qutblari o'zaro tortishib, go'yo elastik zanjir bilan bog'langandek bo'lib qoladi va natijada rotor ham sinxron  $n_1$  chastotada aylana boshlaydi. Shu sababli bunday motor sinxron motor deyiladi.

Sinxron motorning salt ishlash rejimida rotor va stator magnit qutblarining o'qlari orasida  $\theta$  burchak nolga teng, yuklama rejimida esa rotor qutblari bir oz ketinda qolib,  $\theta > 0$  bo'ladi. Sinxron motorning yuklamasi nominalga tenglashib, undan bir oz oshguncha  $\theta$  burchak kattalashib boradi va bunda rotor o'zgarimas sinxron chastotada aylanishini davom ettiraveradi.



5.27-rasm. Sinxron mashinaning ishlash prinsipi.

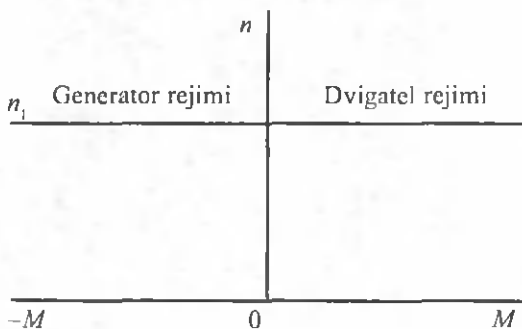
**Sinxron mashinalarning almashinish prinsipi.** Elektr tarmog'i bilan parallel ishlashga ulangan sinxron generatorni aylantiruvchi birlamchi motorning aylantirish momenti kamaytirib borilsa, generatordagi  $E_0$ , EYuK va tarmoqdagi  $U_T$  kuchlanish orasidagi  $\theta$  burchak hamda generator toki kichiklashib boradi, salt ishlash rejimida esa,  $\theta=0$ ;  $\Delta E = \dot{E}_0 - \dot{U}_1 = 0$  va  $I=0$  bo'ladi. Agar birlamchi motorning aylantiruvchi momenti generatorning salt ishlashdagi qarshilik momentidan ham kamaytirilsa yoki birlamchi motor butunlay to'xtatilsa, generator rotori bir oz ketinda qola boshlaydi.

Natijada  $E_0$  bilan  $\dot{U}_1$  orasidagi  $\theta$  burchak manfiy tomonga kattalashadi va  $\Delta E = \dot{U}_1 - \dot{E}_0$  hosil bo'ladi. Bu  $\Delta E$  ta'sirida elektr tarmog'idan statorga tok berila boshlaydi va natijada sinxron generator motor rejimida ishlashga o'tadi.

**Sinxron motorning mexanik tavsifi** (5.28-rasm). Bunda:

$$n_2 = n_1 = \frac{60f}{p} = \text{const} \quad (5.39)$$

bo'lgani sababli, sinxron motorning mexanik tavsifi absissa o'qiga parallel chiziqdan iborat bo'ladi va u sinxron motorning mexanik xususiyatlarini to'la-to'kis ifodalay olmaydi. Darhaqiqat, sinxron motorning mexanik tavsifidan uning aylanish chastotasi yuklamaga mutlaqo bog'liq emasligini ko'ramiz. Ammo yuklama ma'lum qiymatdan oshganda sinxron motor sinxronlik xususiyatini yo'qotishi mumkin. Shu sababli sinxron motorning mexanik xususiyatlarini o'rganishda uning burchak tavsifidan foydalaniladi.

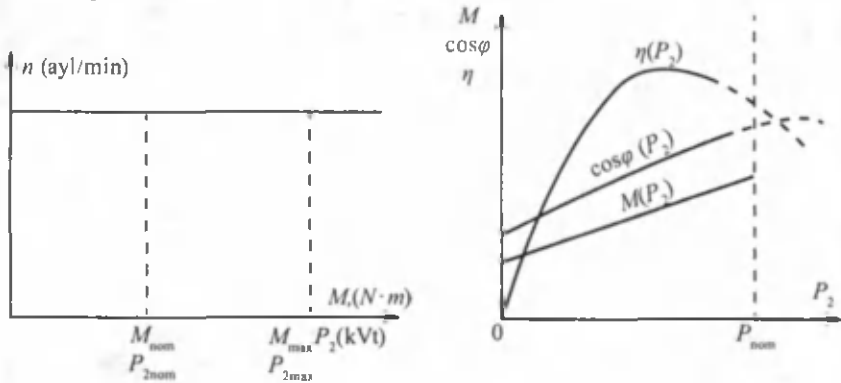


5.28-rasm. Sinxron motorning mexanik tavsifi.



**Sinxron motorni ishga tushirish.** Sinxron motorlar asosan asinxron motorlar singari ishga tushiriladi. So'ngra aylanish chastotasi asinxron  $n_2 = n_1 (1-s)$  chastotagacha yetgach rotorning qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas tok beriladi, bunda rotor sinxronizmga tortiladi, ya'ni u sinxron chastotada aylana boshlaydi. Qayta-qayta ishga tushiriladigan yuritmalarda bu usuldan foydalanish ancha murakkab va noqulaydir. Nominaldan kichik, ya'ni qarshilik momenti  $M_s = (0,3 \div 0,4) M_{nom}$  da yoki salt ishlash rejimida ishga tushiriladigan yuritmalarda bu usuldan foydalanish ancha murakkab va noqulaydir. Nominaldan kichik, ya'ni qarshilik momenti  $M_s = (0,3 \div 0,4) M_{nom}$  da yoki salt ishlash rejimida ishga tushiriladigan sinxron motorlarning qo'zg'atish chulg'amini o'zgarmas tok manbaiga oldindan ulab qo'yib ishga tushirish usulining yaratilishi sinxron motorlardan keng foydalanishga yo'l ochdi. Darhaqiqat, bunda sinxron demalni ishga tushirish uchun stator chulg'amini elektr tarmog'iga ulash kifoya. Bu ixtiro sinxron motorlardan keng foydalanib, elektr tarmog'ining quvvat koeffitsiyentini oshirish imkonini yaratdi. Sinxron motorlarni bu usulda ishga tushirishda ularni ishga tushirish toki  $I_{it} = (3 \div 8) I_{nom}$ , momenti esa,  $M_{it} = (0,5 \div 2) M_{nom}$  ni tashkil qiladi. Bunda aylanish chastotasi yuqori bo'lgan sinxron motorning  $I_{it}$  qiymati past chastotali motorlarnikiga nisbatan katta bo'ladi. Katta quvvatli sinxron motorlarni ishga tushirishda elektr tarmog'idagi kuchlanishni keskin kamaytirmaslik maqsadida ular reaktor yoki avtotransformator vositasida ishga tushiriladi.

**Sinxron motorning ish tavsiflari.** Aylanish chastotasi  $n$ , elektr tarmog'idan oladigan aktiv  $P_1$  quvvat, stator toki  $I$ , quvvat koeffitsiyenti  $\cos \varphi$  va  $M_2$  aylantiruvchi momentlarning motor validagi foydali mexanik quvvatga bog'lanishlarini ifodalovchi grafiklar sinxron motorning ish tavsifi deyiladi (5.29-rasm).



5.29-rasm. Sinxron motorning ish tavsiflari.

Unda:

$$n = \text{const}, P_1 = P_2 + \Delta P$$

bo'lgani sababli ( $\Delta P$ —chulg'amning qizishi uchun sarflanadigan va demak, yuklama tokining kvadratiga proporsional bo'lgan quvvat isrofi),  $P_1 = f(P_2)$  bog'lanishi egri chiziq ravishida ifodalanadi. Quvvat koefitsiyenti yuklama ortib borishi bilan yakor reaksiyasi tufayli bir oz kamayadi. Foydali ish koefitsiyenti yuklamaning  $(0,5 \div 9,75)P_{\text{nom}}$  bo'lganida eng yuqori  $\eta_{\text{max}}$  qiymat oladi.

$M_2 = \frac{P_2}{\omega}$ ;  $\omega = \frac{\pi n}{30} = \text{const}$  bo'lganligi sababli,  $M_2 = f(P_2)$  tasviri to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi.

**Sinxron mashinaning FIK.** Generator yoki motor sifatida ishlayotgan sinxron mashinalarda quvvat isrofining bir qismi yuklamaga bog'liq, boshqa bir qismi unga bog'liq bo'lmaydi. Mashina podshipniklaridagi ishqalanish, ventilatsiya, rotorning havoga ishqalanishi, cho'tkaning kontakt halqalariga ishqalanishi va stator o'zgidagi gisterezis va uyurma toklar tufayli yuzaga keladigan hamda qo'zg'atish tokiga sarflanadigan quvvat isroflari yuklamaga bog'liq bo'lmay,  $P_0$  bilan belgilanadi va o'zgarmas qiymatga ega bo'ladi. Stator chulg'amining qizishiga sarflangan quvvat isrofi  $P_{\text{is}}$  esa yuklama tokiga bog'liq va uning kvadratiga proporsional ravishda o'zgaradi. Quvvat isrofining to'la qiymati:

$$\Delta P = P_0 + P_{\text{is}}, \quad \Delta P_{\text{m.s}} = m \cdot I_t^2 \cdot r_s \quad (5.40)$$

Bundan sinxron mashinaning F.I.K. generatorda:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P},$$

motorda esa:

$$\eta = \frac{R_1}{R_1 + \Delta P} \quad (5.41)$$

bo'ladi. Bu formulalarda elektr tarmog'iga beriladigan aktiv quvvat,

$$P_1 = \sqrt{3} U_t \cdot I_t \cdot \cos\varphi; \quad P_2 = \sqrt{3} U_t \cdot I_t \cdot \cos\varphi \quad (5.42)$$

elektr tarmog'idan olinadigan quvvat, sinxron mashinaning FIK  $\eta = 0,85 \div 0,99$  chegarasida bo'ladi va uning yuqori qiymati katta quvvatli mashinalarga taalluqlidir.

---

---

## VI BOB

### ELEKTRONIKA ASOSLARI

#### 6.1. Elektronika asoslari

**Elektronika** – gaz, qattiq jism, vakuum va boshqa muhitdagi elementar zaryadlangan zarrachalarga elektromagnit maydon ta'siri natijasida hosil bo'lgan elektr o'tkazuvchanlikni o'rganish va undan amaliy foydalanish masalalari bilan shug'ullanadigan fan sohasi.

Bu sohaning rivojlanishiga elektrovakuum asboblarning paydo bo'lishi asos bo'lgan. Bunday asboblarning ishlashi termoelektron emissiya hodisasiga (vakuumda qizdirilgan metallardan elektronlarning uchib chiqishi) asoslanadi. Ushbu hodisani 1833-yilda T. Edison (amerika olimi) kashf etgan.

**Yarim o'tkazgich asbob** – murakkab tuzilishli, solishtirma qarshiligi katta bo'lgan qattiq jismda elektr toki hodisalarini boshqarishga asoslangan. Yarim o'tkazgichlar elektronikasi solishtirma elektr o'tkazuvchanligi o'tkazgich va dielektriklarning elektr o'tkazuvchanliklari orasida maxsus moddalar xususiyatidan foydalanishga asoslanadi. Bunday moddalar *yarim o'tkazgichlar* deb ataladi.

Yarim o'tkazgichda ikki turdagi – «elektron» –  $n$  va «teshik» –  $p$  zaryad tashuvchilar bo'ladi. Tashqi elektromagnit maydon bo'lganida teshiklar maydon yo'nalishi bo'yicha, elektronlar esa teskari yo'nalishda siljiydi.

Energiya yutganda ajralib chiqqan har bir erkin elektron teshik hosil qiladi (ya'ni, moddani kristall turida bo'sh elektron o'rni teshik deb qaraladi). Yarim o'tkazgichda elektronlar soni teshiklar soniga teng bo'ladi.

Metallarda hajm birligidagi zaryad tashuvchilar soni amalda temperaturaga bog'liq bo'lmaydi. Yarim o'tkazgichlarda esa, zaryad tashuvchilar faqat tashqi manba (issiqlik, nur, elektr va h.k.) energiyalarni

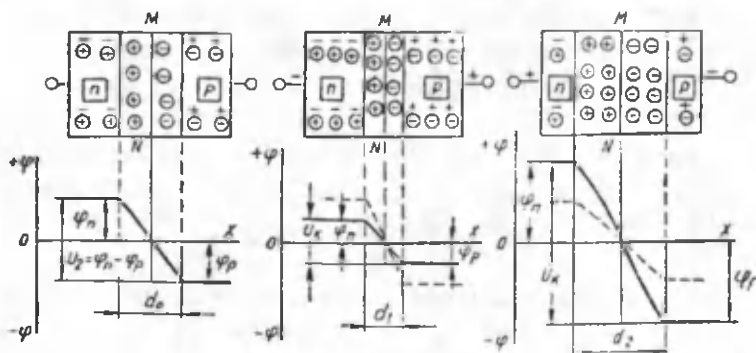
yutishi natijasida qolgan musbat toklar, o'ngda esa «ochilib» qolgan manfiy toklar vujudga keladi. Bu esa  $\varphi_n$  va  $\varphi_p$  potentsialli hajmiy zaryad hosil bo'lishiga olib keladi (6.1-a, rasm).

Bu zaryadlar ayirmasi  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  potentsiallar ayirmasi deyiladi va zaryadlarning diffuziyalanishga yo'l qo'ymaydigan potentsial to'siqni hosil qiladi. Natijada  $p-n$  o'tishda tok hosil bo'lmaydi.

Agar yarim o'tkazgichning  $p$  va  $n$  qatlamlariga ma'lum qutblanishdagi kuchlanishi ulansa,  $p-n$  o'tishda keskin o'zgarish ro'y beradi. Tashqi manba kuchlanishining musbat qutbi  $p$  ga, manfiy qutbi  $n$  qatlamiga ulansa, bu kuchlanish ta'sirida  $p$  qatlamning manfiy toklari chegara oldi qatlamni tark etadi (ya'ni, manbaning + ga tortiladi), manfiy zaryad va  $\varphi_p$  kamayadi. Xuddi shunday, manbaning manfiy qutbi potentsiali ta'sirida musbat hajmiy zaryad va  $\varphi_n$  kamayadi (+ ionlar manbaning - ga tortiladi).

Natijada potentsial to'siq (baryer)  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  kamayadi. Hajmiy zaryadlar kamayishi hisobiga  $n-p$  qatlam ham kichrayadi, ya'ni,  $d < d_0$  (6.1-a, rasm). Shuning uchun yarim o'tkazgichda to'g'ri o'tkazuvchanlik toki hosil bo'ladi. Yarim o'tkazgich esa, o'tkazgich xususiyatiga ega bo'lib qoladi.

Endi, agar tashqi manba kuchlanishining qutblari o'zgartirilsa, (6.1-b, rasm) erkin elektronlar manbaning musbat qutbiga, kovaklar esa manfiy qutbga tomon harakatlanadi. Chegara oldi qatlamda esa, ochilib qolgan musbat va manfiy toklar ko'payib, hajmiy zaryadlar,  $\varphi_n$  va  $\varphi_p$  potentsiallar ortadi. Potentsiallar, to'siq  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  ham ortadi,  $n-p$  o'tishning kengligi ham ortadi, ya'ni,  $d_2 > d_0$  bo'ladi. Bunday ulangan kuchlanish teskari kuchlanish tufayli yuzaga kelgan juda kichik tok teskari o'tkazuvchanlik toki deyiladi. Keskin ortgan potentsial to'siq yarim o'tkazgichni izolatorga aylantiradi.



6.1-rasm.  $n$  va  $p$  o'tishli yarim o'tkazgichning sxemasi, V.A.X.

Yarim o'tkazgich diod (ventil) volt-amper tavsifi 6.2-rasmda keltirilgan.

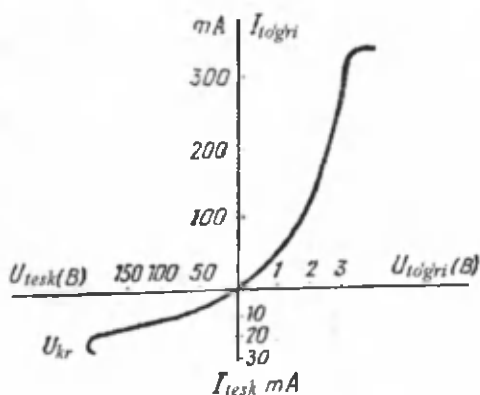
Rasmdan ko'rinib turibdiki, katta bo'lmagan to'g'ri kuchlanish ulanganda, dioddan katta miqdordagi to'g'ri tok o'tadi, teskari tok esa, katta teskari kuchlanishlarda ham juda kichik bo'ladi. Diodning to'g'ri kuchlanishiga qarshiligi  $\Omega$  ning ulushlaridan bir necha  $\Omega$  gacha, teskari kuchlanishga qarshiligi esa yuz va minglab  $\Omega$  ga teng bo'ladi.

6.2-rasmdan,  $I=f(U)$  bog'lanish chiziqli emasligi ko'rinib turibdi. Bu kuchlanish ortganida yopuvchi (chegara oldi) qatlam qarshiligining kamayishi bilan tushuntiriladi. Teskari kuchlanishning haddan tashqari ortishi  $U_{tesk} > U_{kr}$  da diod shikastlanadi (teshiladi) va ishdan chiqadi.

Ma'lumki, barcha elektron asboblarni, ya'ni aktiv elementlarni, ikki guruhga ajratiladi:

1. Elektron vakuumli;
2. Yarim o'tkazgichli.

Zamonaviy asbob-uskunalarda asosan yarim o'tkazgichli elementlar—tranzistorlar qo'llaniladi. Shuning uchun tranzistorli kuchaytirgich va generatorlar haqida asosiy ma'lumotlar keltiriladi. Barcha yarim o'tkazgich asboblari bipolar va unipolar turlarga ajratilishi ma'lum. Agar unipolar asboblarda elektr zaryadlarni ko'chirish yarim o'tkazgich qatlamda yarim o'tkazgich asosiy zaryad tashuvchilar yordamida bajarishga, bipolyar yarim o'tkazgich asboblari o'tkazuvchi qatlamda elektr zaryadni ko'chirishda yarim o'tkazgichning asosiy va noasosiy zaryad tashuvchilari ishtirok etadi.  $p$ -turidagi yarim o'tkazgich uchun



6.2-rasm. Diodning V.A.T.

asosiy zaryad tashuvchi bu musbat zaryadli zarrachalar, ya'ni teshiklar ( $p$ -pozitive+), noasosiy esa manfiy zaryadlangan zarrachalar – elektronlar ( $n$ -negative-).  $n$  turdagi o'tkazuvchanlikka ega yarim o'tkazgich uchun asosiy zaryad tashuvchi elektronlar ( $n$ ) bo'lib, noasosiy esa, musbat zaryadli teshiklar ( $p$ ).

Ushbu eslatmadan foydalanib quyidagiga ahamiyat bering. Barcha aktiv elementlar ulardagi elektr zaryadlarni boshqarish usuli bo'yicha: tok va elektr maydon bilan boshqariluvchi ikki asosiy guruhga bo'linadi.

Barcha elektr vakuum va unipolar yarim o'tkazgich asboblari maydon bilan boshqariluvchi va bipolar tranzistorlar esa, elektr tok bilan boshqariluvchi asboblardir.

**Bipolar tranzistorlar** – bu ikkita  $p$ - $n$  o'tishga ega bo'lgan yarim o'tkazgich asbob. U uch qatlamga ega:  $n$ - $p$ - $n$  yoki  $p$ - $n$ - $p$  turdagi asbobdir (6.3-rasm)

Zamonaviy uskuna va asboblarda asosan kremniyli tranzistorlar qo'llanilayapti.

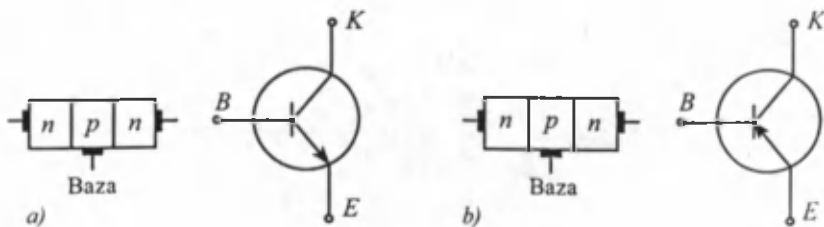
Ikki  $p$ - $n$  o'tish oralig'i – baza deb ataladi. Unga qo'shni sohalar – emitter va kollektordir. Tranzistorning ishida uchta asosiy holat (rejim) mavjud:

1. Tranzistor berk, ya'ni tranzistordan tok o'tmaydigan rejim, bu rejimda ikkala o'tish  $p$ - $n$  yopiq, ya'ni tok o'tkazmaydi.

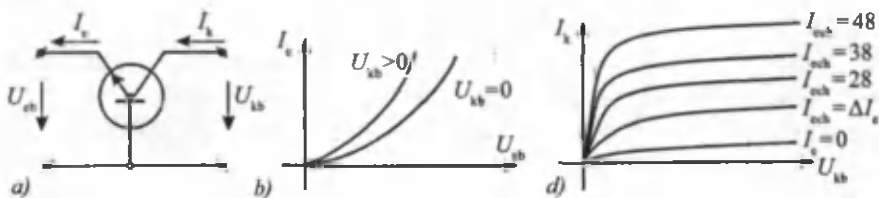
2. Tranzistor ochiq, (to'yinish rejimi) ikkala  $p$ - $n$  o'tish to'g'ri yo'nalishda manbaga ulangan, tranzistor toki eng katta qiymatga ega.

3. Aktiv rejim – bu holda emitter – baza soha to'g'ri yo'nalishda, baza – kollektor soha esa teskari yo'nalishda bo'ladi.

1 va 2-rejimda tranzistorda boshqarish tashqi zanjir parametrlari bilan aniqlanib, aktiv rejimda esa, emitter toki kollektor tokini boshqaradi. Shuning uchun bu rejimni *kuchaytirgich rejimi* deb aytiladi (6.4-rasm).



6.3-rasm. Tranzistor.



6.4-rasm: *n-p-n* tipidagi umum bazali tranzistor sxemasi: a) kirish; b) va chiqish xarakteristikalari.

6.4-*a*, rasmdagi sxemada emitter-baza sxemasiga noasosiy zaryad tashuvchilarni injeksiya (purkash – *впрыскивание*) laydi.

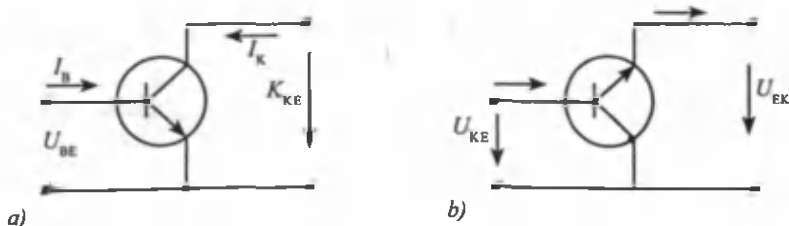
(*p-n-p* tuzilmali tranzistorda *p* asosiy zaryad tashuvchi, *n-p-n*-da esa, *n*-asosiy, *p*-noasosiy). Shuning uchun emitter sohasi baza sohasiga nisbatan kichik qarshilikli qilib tayyorlanadi. Injeksiyalangan zaryadlarning katta qismi kollektor zanjiriga o'tadi. Faqat oz qismi, bir necha foizi, eng zamonaviy tranzistorlarda (0,1–0,01%) bazaning asosiy zaryad tashuvchilari bilan rekombinatsiyalanadi va kollektorga bormaydi.

Emitter zanjiridan kollektorga o'tuvchi tok  $I_k = \alpha I_E$  emitter tokini kollektorga uzatish koeffitsiyenti deyiladi.  $\alpha = I_k / I_E$   $\alpha = 0,95 \div 0,99$  va hamma vaqt  $\alpha < 1$ . Kollektor toki:

$$I_k = \alpha I_E + I_{k0}$$

$I_k$  – kollektor sohaning teskari (issqlik) toki. Sxemada tashqi kuchlanishlar *E-b* va *K-b* ga ulanadi. Shuning uchun baza potentsiali o'zgarmas bo'ladi. 6.4-rasmdagi *a*-sxema tranzistorning umumiy bazali sxemasi deb qabul qilingan.

Bu sxemaga boshqaruvchi tok – emitter toki bo'lib, boshqaruvchi esa, kollektor toki buladi. 6.5-*a* rasmda umumiy emitterli sxema, 6.5-*b* rasmda umumiy kollektorli tranzistor sxemalari keltirilgan.



6.5-rasm. Tranzistorning elektr sxemasi.

Barcha sxemalar uchun kirish va chiqish VAX lari muhimdir.

6.4-a rasmdagi sxema uchun  $I_c = f(U_{cb}) = \text{const}$  qiymatda –kirish tavsifi (6.4-b rasm), chiqish tavsifi esa, (6.4-d rasm)  $I_c = \text{const}$  qiymatida  $I_k = f(U_{kb})$  bog‘lanishdir. Bu o‘zaro parallel to‘g‘ri chiziqlar ko‘rinishiga ega.

6.5-a rasmdagi sxema uchun boshqaruvchi tok–baza toki  $I_b = f(U_{be})$  bog‘lanish–kirish tavsifi, u  $UI_{ke}$  ning ma‘lum belgilangan, chiqish VAX esa  $I_k = f(U_{ke})$  bog‘lanishdir. (6.5-b rasm). Bu tavsif baza tokining o‘zgarmas qiymatlarida hosil bo‘ladi.

Xulosa qilish mumkinki, aktiv rejimda chiqish tavsiflari parallel to‘g‘ri chiziqlar bo‘lib, u quyidagi tenglamaga ega:

$$I_k = \beta I_b + (1 + \beta) I_{k0}$$

$\beta = \alpha / (1 - \alpha)$  –baza tokini kollektorga uzatish koeffitsiyenti. Umuman,  $\beta > 1$ ,  $p = 20 - 200$  bo‘lib, baza tranzistorlar uchun  $\beta \geq 1000$ .

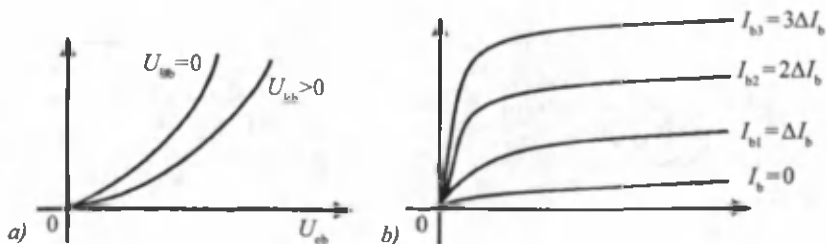
$I_k = f(U_{ke})$  bog‘lanishni aktiv rejimda baholash maqsadida kollektor uchun differensial qarshilik nomli parametr kiritiladi. 6.6-a rasmdagi sxema uchun:

$$r_k = \Delta U_{ke} / \Delta I_k$$

differensial qarshilik.

Umumiy kollektorli sxema uchun (6.6-rasm) boshqarish toki–baza toki bo‘lib, boshqariluvchi tok– $I_c$  dir. VAX lar 6.6-a, b rasmdagi tavsiflarga o‘xshashdir, chunki  $I_k = I_b$ .

Sanoat ko‘lamida ishlab chiqariluvchi bipolar tranzistorlar kollektor sohasidagi maksimal quvvat  $R_{kmax}$ , kollektor va emitter orasidagi maksimal kuchlanish ( $U_{kemax}$ ) va kollektor maksimal toki  $I_{kemax}$ , bo‘yicha tasniflanadi.



6.6-rasm. Umumiy kollektorli tranzistorning xarakteristikalarini.



**Unipolar tranzistorlar.** Unipolar tranzistor (maydon bilan boshqariluvchi tranzistor) bu yarim o'tkazgichli tranzistor bo'lib, u rezistordir. Uning qarshiligi qiymati elektr maydoni yordamida o'zgaradi. Elektr maydoni tranzistorning boshqaruvchi elektrodi (zatvor-to'siq) bilan yarim o'tkazgichning o'tkazuvchi sohasi yordamida hosil qilinadi.

Unipolar tranzistorlarda boshqariluvchi tok shu tur yarim o'tkazgich uchun asosiy zaryad tashuvchilar harakati bilan hosil bo'ladi. Shuning uchun ham unipolar (bir nomli) deb ataladi.

Bipolar (ikki nomli) tranzistorlarda esa tok ham asosiy, ham noasosiy zaryad tashuvchilar bilan hosil bo'ladi.

Unipolar tranzistorlar ikki ko'rinishda tayyorlanadi:

1 – boshqaruvchi  $p-n$  o'tishli,

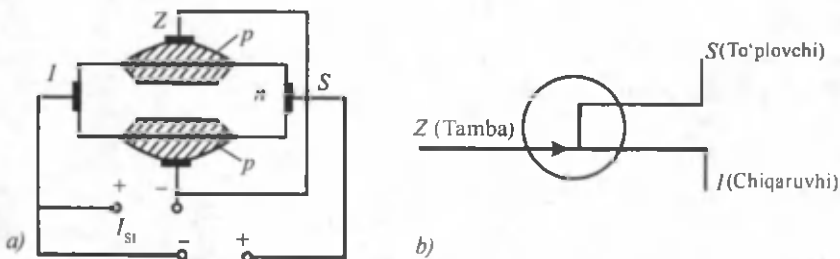
2 – izolatsiyalangan zatvorli, (boshqariluvchi to'siq).

6.7-*a* rasmda boshqaruvchi  $p-n$  o'tishli tranzistor strukturasi (tuzilmasi), 6.7-*b* rasmda uning shartli belgilanishi keltiriladi.

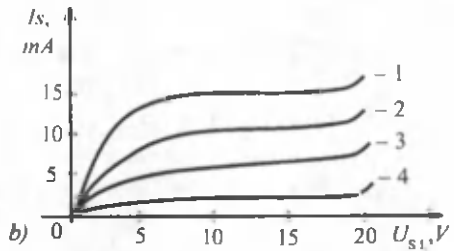
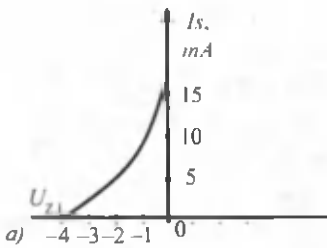
Zaryad tashuvchilar harakati manbai (boshlanuvchi) kanal sohasi  $I$ -stok, (chiqaruvchi) hamda asosiy zaryad tashuvchilarni to'plovchi soha-stok  $S$  (to'plovchi) deb nomlanadi; zaryadlarni o'tkazuvchi soha-kanalni qamrab oluvchi soha, tranzistorda zatvor-3 deb nomlangan. Bu soha yordamida kanalning ko'ndalang kesma yuzining miqdori (kattaligi) boshqariladi. Rasmdagi kanal  $n$  turdagi, ya'ni asosiy zaryad-elektron.

Shu rasm uchun zatvor-bu  $p$  turdagi yarim o'tkazgich sohadir. Bu soha kanalni ham tepadan, ham pastdan, ya'ni kanalga ko'ndalang qamrab olgan. Ish holatida  $p-n$  soha teskari yo'nalishda siljtiladi. Bu siljitish boshqaruvchi  $U_{z1}$  kuchlanish bilan amalga oshiriladi.

$U_{z1}$  kuchlanish qutbi esa shunday tanlanadiki, bunda zaryadlar kanal bo'ylab  $I$  dan  $S$  tomon harakatlanadi.



6.7-rasm. a) maydonli tranzistorning tuzilishi, b) shartli belgisi.



6.8-rasm. May onli tranzistorning chiqish: a), b) o'tish xarakteristikalari.

Boshqaruvchi kuchlanish  $U_{z1}$  qiymatini o'zgartirish bilan o'tkazuvchi kanal ko'ndalang kesimini o'zgartiradi, ya'ni kanalning o'tkazuvchanligi rostlanadi. Natijada stok toki  $I_s$  boshqariladi.

$p-n$  sohaga qo'yilgan kuchlanish  $U_{s1}$  qiymatini orttirib borish kanal yuzini kamaytiradi,  $I_s$  esa kamayadi. Kuchlanishni ma'lum qiymatida  $I_s = 0$  bo'ladi, ya'ni kanal to'liq berkiladi. Bu kuchlanish  $U_{uzish}$  deyiladi.

6.8 a-rasmda stok-zatvor (to'plovchi-tamba) volt-amper tavsifi  $I_s = f(U_{z1})$   $U_{s1} = \text{const}$  da tajribada hosil bo'ladi. Bu o'tish VAX, chiqish VAX  $I_s = f(U_{z1})$  bo'lib, bu tavsif  $U_{z1}$  kuchlanishning o'zgarmas qiymatlarida ( $U_{z1} = \text{const}$ )  $U_{s1}$  ni  $U_{uz} < U_{z1} < 0$  oraliqda o'zgartirib,  $I_s$  tokni keng oraliqda o'zgartirish mumkin. Chiqish VAX da ikkita asosiy qism bor: yassi va tik o'zgaruvchi. Kuchaytirish rejimiga yassi qism mos keladi.

Stok-zatvor (to'plovchi-tamba) VAX dan differensial tiklik (krutizna):

$$S = \frac{\Delta I_s}{\Delta U_{z1}}; \quad U_{s1} = \text{const}.$$

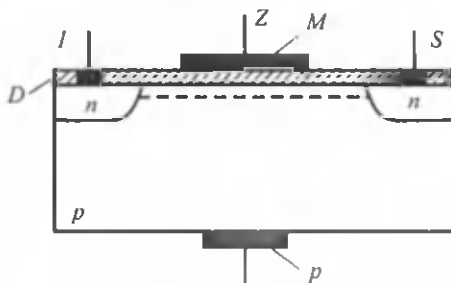
differensial chiqish qarshiligi:

$$R_{s1} = \frac{\Delta U_{s1}}{\Delta I_s}$$

aniqlanadi.

$S$  va  $R_{s1}$  – tranzistorning asosiy parametrlaridir.  $S$  qiymati (5–12,5) mA/V qiymatga ega. Izolatsiyalangan zatvorli tranzistor tuzilishi 6.9-rasmda keltirilgan.

Asosda ( $p$ -turdagi, 6.9-rasm)  $n$  tur o'tkazuvchanlikli sohalar hosil qilinadi. Ularga tashqi  $I$  va  $S$  elektrodlar biriktiriladi. Metallik zatvor to'siq va asos oralig'ida dielektrik  $D$  joylashtiriladi. Ko'pincha u kremniy dioksid  $\text{SiO}_2$ . Shu MDP strukturali tranzistor MOP strukturali deb ataladi (metall-oksid-poluprovodnik).



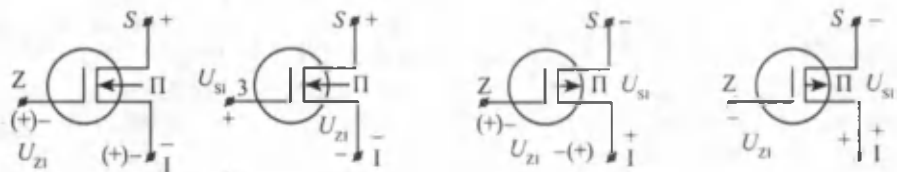
6.9-rasm: Izolyatsiyalangan zatvorli tranzistorning tuzilishi.  
 $M$ –metall;  $D$ –dielektrik;  $p$ –yarim oʻtkazgichdan tarkib topgan.

$n$ –turdagi oʻtkazuvchi kanal qatlami asosda dielektrik ostida hosil boʻladi ( $u$  asosning sirt qatlamida boʻladi). Bunday kanal joylashtirilgan va induksiyalangan boʻlishi mumkin. Joylashtirilgan qatlam topologik jarayon tufayli bajariladi. Zatvor va stokga qoʻyilgan musbat kuchlanish natijasida elektr maydon hosil boʻlishi induksiyalangan qatlamdir. Bu elektr maydon musbat zaryad  $p$  tashuvchilarni asos tubiga surishi natijasida elektronlarni  $n$  asos sirtiga tortadi.

Oʻtkazuvchi kanal kuchlanishning maʼlum qiymatida paydo boʻlib, bu  $U_{\text{ostona}}$  deyiladi.  $U_{\text{ostona}}$  musbat ( $n$  turdagi induksiyalangan kanalli tranzistor uchun) va manfiy ( $p$  turdagi tranzistor uchun) boʻlishi mumkin.

MDP tranzistor shartli belgilanishi sxemalari 6.10-rasmda keltirilgan. 6.10- $a$  va  $p$ – $n$  turdagi joylashtirilgan (kiritilgan) kanalli tranzistor ( $a$ ),  $p$ –turdagi ( $b$ ), 6.10- $b$  rasmda  $n$  turdagi induksiyalangan kanalli, 6.10- $e$  rasmda  $p$  turdagi tranzistor sxemalari. Boshqaruvchi  $U_{z1}$  va manba  $U_{s1}$  qoʻllanishlari qutblari ham shu rasmda koʻrsatilgan.

Kiritilgan  $p$  analli, tranzistor boshqaruv kuchlanishi musbat ham, manfiy ham boʻlishi mumkin, chunki bu tranzistorlarda oʻtkazuvchi kanal  $U_{z1}=0$  da mavjuddir.



6.10-rasm. M.D.P tranzistorlarining shartli belgilari.

MDP tranzistor kirish qarshiligi juda katta.  $R_{kir} > 10^9$  Om. Shuning uchun bu tranzistorlar kam quvvatli zanjirlarni boshqarish imkoniyatini beradi.

## 6.2. Elektron kuchaytirgich va generatorlar

Kirish signali quvvatini orttirishga mo'ljallangan qurilma **kuchaytirgich** deyiladi.

Agar kirish signalining shaklini o'zgartirmasdan uni kuchaytirish qurilmasi **chiziqli kuchaytirgich** deb ataladi.

Kuchaytirgichni chiqish qismalarida signal quvvatini oshishi o'zgarimas tok manba energiyasini o'zgaruvchan tok energiyasiga o'zgarishi natijasida hosil bo'ladi. Bunday o'zgartirish aktiv elementlar tranzistorlar yoki elektron lampalar qo'llanishi bilan amalga oshiriladi. Shunga muvofiq kuchaytirgichlar lampali va yarim o'tkazgichli guruhlarga bo'linadi. Hozirgi davrda asosan yarim o'tkazgichli integral sxema kuchaytirgichlari qo'llaniladi.

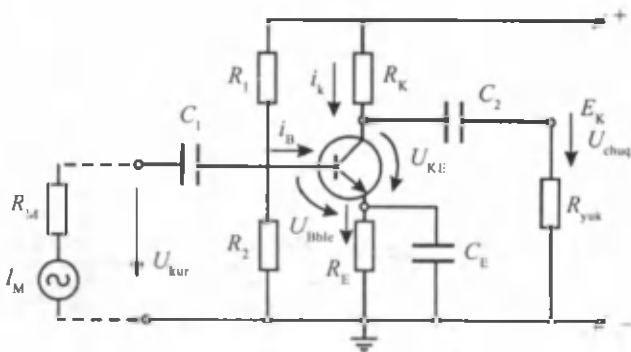
Umumiy holda elektron kuchaytirgichlar ko'p kaskadli qurilmadir. Alohida kaskad keyingisi bilan shunday birlashtiriladiki, bunda kuchaytiriluvchi o'zgaruvchan kirish signali uzatilib, o'zgarimas signal uzatilmaydi. Kaskadlar umumiy emitterli (va umumiy istokli), umumiy kollektorli (va umumiy stokli) hamda umumiy bazali (umum zatvorli) sxemalarda bajariladi.

Umum emitterli (umum istokli) kaskad – kuchaytirgich kaskadi, umum kollektorli (umum stokli) – kuchlanish qaytargich, umum bazali (umum zatvorli) – tok qaytargich nomi bilan ataladi.

Har qanday kaskad sxemasi elektr energiya manbai, tranzistor va qo'shimcha (siljitish) zanjirlardan tarkib topadi.

Siljitish zanjirlari tranzistorni ishchi nuqtasini, ya'ni uning ish rejimini ta'minlaydi. Bipolar tranzistorli kuchaytirgich sxemasi 6.11-rasmda keltirilgan. Sxemada tranzistor VT manbaga  $R_k$  va  $R_E$  rezistorlar bilan ketma-ket ulangan. Kuchaytirgichning tinch rejimi kirish  $R_1$ ,  $R_2$  rezistorlar bilan belgilanadi.  $R_k$  va  $R_E$  lar ham bu rejimni belgilashda qatnashadi.  $R_1$ ,  $R_2$ , va  $R_E$  rezistorlar kollektor toki  $I_k$  ni shu rejimda me'yorlash uchun ham xizmat qiladi. Bu me'yorlash  $R_E$  ning qiymati katta bo'lsa ham  $R_1$  va  $R_2$  lar kichik bo'lganida yaxshi bo'ladi.  $R_E$  kuchli manfiy teskari bog'lanishni hosil qiladi. Natijada tinch rejimda  $I_k$  ning o'zgarishiga qarshilik qiladi va kuchaytirgich koeffitsiyenti  $K$  ham kamayadi. O'zgaruvchan tok kuchaytirgichlarda buni  $R_E$  ga parallel  $C_e$  ni ulash bilan erishiladi, ya'ni  $R_E$  ni  $C_e$  bilan shuntlanadi.  $C_e$  ning sig'imi shunday tanlanadiki, uning qarshiligi:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$



6.11-rasm. Bir kaskadli tranzistorli kuchaytirgich sxemasi.

o'zgaruvchan signali juda ham kichik bo'lsin, ( $R_E$  ga nisbatan). O'zgarmas tokda  $X_C = \infty$  dir.  $C_1$  va  $C_2$  kondensatorlar ajratish elementlari bo'lib, ularning vazifasi o'zgarmas tok signalini kuchaytirgich kirishiga ( $C_1$ ) o'tkazmaslik.  $C_2$  esa chiqishga o'tkazmaydi.

6.11-rasmdan kuchaytirgichning ishlash prinsipini anglash mumkin. Tranzistorning chiqish VAX lari:

$$I_K = f(U_{k.e}, I_V)$$

keltirilgan. Kirish signali nol bo'lganda, kuchaytirgichni tinch rejimi bo'ladi. Bunda  $I_K \approx I_E$  bo'lib,  $U_{k.e} = E_K$ ;

$$U_{k.e} = E_K - I_K (R_K + R_E)$$

bo'ladi, ya'ni kollektor-emetterdagi kuchlanishni aniqlash mumkin.  $U_{k.e} = f(I_K)$  kaskadning yuklanish chizig'ini aniqlash uchun xizmat qiladi. Bu chiziq  $C$  va  $B$  nuqtalardan o'tadi.

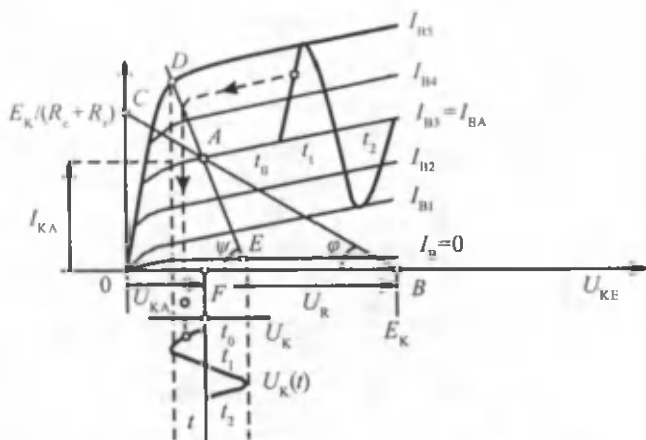
$C$  nuqtadagi  $U_{k.e} = 0$  va  $I_K = E_K / R_K + R_E$ ,  $B$  nuqtada  $I_K = 0$  va  $U_{k.e} = E_K$ . Bu chiziqning:

$$I_K = f(U_{k.e}, I_V)$$

xarakteristikalar bilan kesishish nuqtalari tranzistorning tinch rejimini belgilaydi. Agar  $R_1$ ,  $R_2$  va  $R_E$  bilan baza toki  $I_b$  berilgan bo'lsa,

$$I_K = f(U_{k.e}) I_b$$

chiqish tavsifini qurib,  $A$  nuqta hosil qilinadi. Bu nuqta tinch rejimda ishchi nuqtadir.  $A$  ning ordinata o'qiga proyeksiyasi  $I_{KA}$ , absissaga esa — kuchlanish  $U_{KA}$  qiymatini beradi.



6.12-rasm. U.E.li tranzistorning chiqish xarakteristikasi.

Agar kirishga o'zgaruvchan tok signali ta'sir etsa, baza toki o'zgaradi.  $I_{ba}$  dan  $I_{bmax}$  gacha va kirish signali kamayganda  $I_{ba}$  dan  $I_{bmin}$  gacha (6.12-rasmda  $I_{b5}$  va  $I_{b1}$ ).

$i_k = \beta i_b$  - oniy qiymat uchun. Bu o'zgarish  $R_k$  va  $R_{yuk}$  da namoyon, bo'ladi, ya'ni kaskadning ekvivalent yuki  $R_k$  va  $R_{yuk}$  bo'lib,

$$R_{yuk\ n} = R_k \cdot R_n / (R_k + R_n)$$

bo'ladi. O'zgaruvchan tokda yuk chizig'i A nuqtadan  $\varphi$  burchak ( $\varphi > \varphi_0$ ) onda o'tadi va VAX ni d hamda E nuqtalarda kesib o'tadi. Rasmda  $i_k(t)$  va  $U_k(t) = i_k(t) \cdot R_k$  lar keltirilgan.  $i_k(t)$  va  $U_k(t)$  solishtirib,  $i_k$  va  $U_k$  qarama-qarshi fazalarda ekanligini ko'rish mumkin.

$i_k(t)$  signal kirish signali  $U_{kir}(t)$  bilan mos tushadi. Demak, umum emitterli kaskad kirish fazasini inversiyalaydi.

Kuchaytirgiching ishini (dinamik rejimda) tavsiflash uchun quyidagi asosiy parametrlar kiritiladi:

- kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti:  $K_U = U_{chiq} / U_{kir}$ ;
- tok kuchaytirish koeffitsiyenti:  $K_I = i_{chiq} / i_{kir}$ ;
- quvvat kuchaytirish koeffitsiyenti:  $K_r = R_{chiq} / R_{kir} = K_U \cdot K_I$

Ko'pincha kuchaytirishni logarifmik birlikda - desibellarda ifodalanadi:

$$K_{U,1} (db) = 20 \lg K_{U,1} \text{ va } K_r (db) = 10 \lg K_r.$$

Kaskad kirish signaliga nisbatan kirish qarshiligi ( $R_{kir}$ ), yukga nisbatan chiqish qarshiligi balansi  $R_{chiq}$  baholanadi.

**Elektron generatorlar.** Bu avtotebranish, ya'ni o'z-o'zidan uyg'onuvchi majmua bo'lib, generatorda manba energiyasi o'zgaruvchan signal o'zgarimas tok energiyasiga o'zgartiriladi. Signal shakli har xil bo'lishi mumkin.

1.  $K_U \cdot Y_U > 1$  avtotebranishlar vujudga kelish sharti.

2.  $K_U$  – teskari bog'lanishsiz kuchaytirgichning kuchlanishni kuchaytirish koeffitsiyenti.

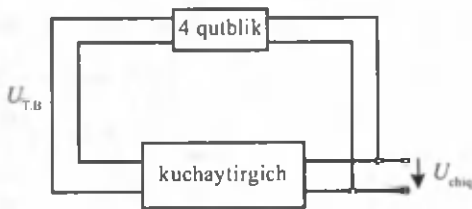
3.  $Y_U$  – teskari bog'lanishsiz zanjirining kuchlanish uzatish koeffitsiyenti.

Agar  $K_U \cdot I$  ko'paytma moduli  $|K_U \cdot I_U| > 1$ , ya'ni 1 dan katta bo'lsa, kuchaytirgich o'z-o'zidan uyg'onuvchi bo'ladi. Musbat teskari bog'lanishli kuchaytirgichda teskari bog'lanish signali kirish signali bilan qo'shiladi, natijada kuchlanishni kuchaytirgach koeffitsiyenti ortadi.

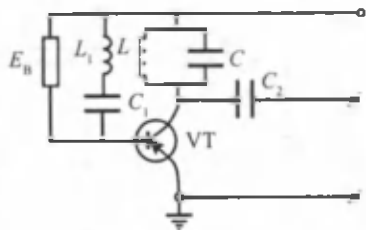
Chiqish kuchlanish  $U_{chiq}$  ning ma'lum qismi to'rtqutbli kuchaytirgichning kirish qismlariga ta'sir etadi.  $U_{tb}$  – teskari bog'lanish kuchlanishi. Teskari bog'lanish signali tranzistor VT ning kollektor zanjiridagi o'zaro induktiv bog'lanishli  $L-L_1$  g'altak hamda  $C_1$  – ajratuvchi kondensator yordamida VT ning bazasiga ta'sir etadi.

Konturning rezonans chastotasida  $\omega = \omega_0$  kollektor zanjirida ( $K_U \cdot Y_U > 1$ ) shart bajariladi. Natijada generatorda garmonik o'zgaruvchan tok va kuchlanishlar paydo bo'ladi, ya'ni avtotebranishlar jarayoni bo'ladi. LC generatorlarni chiqish chastotasi 200 kGs dan 200 MGs va undan katta chastotalarda qo'llash joiz.

Nisbatan kichik chastotalarda ( $< 200$  kGs) tebranish konturining qiymati va o'lchamlari yuqori bo'ladi. Shuning uchun RC generatorlar keng ko'llaniladi. 6.13-rasmda  $C_1 > C_2$  – ajratuvchi kondensatorlar, LC – tebranish konturi.  $R_b$  – baza zanjiridagi rezistor. Uni yordamida tranzistorning ish nuqtasi tanlanadi.



a) Generator blok sxemasi.



b) Tranzistorli LC generator sxemasi.

6.13-rasm. Kuchaytirgich sxemalari.

## VII BOB

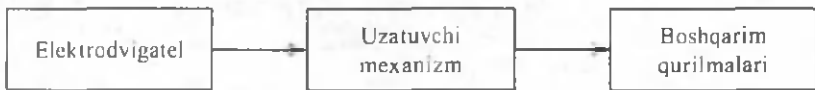
### ELEKTR YURITMA. ELEKTR YURITMANI BOSHQARISH

#### 7.1. Elektr yuritma. Elektr yuritmani boshqarish

**Elektr yuritma** deb, elektr energiyasini bir yoki bir necha ishchi mexanizmlar uchun mexanik energiyaga aylantiruvchi elektromexanik tizimiga aytiladi.

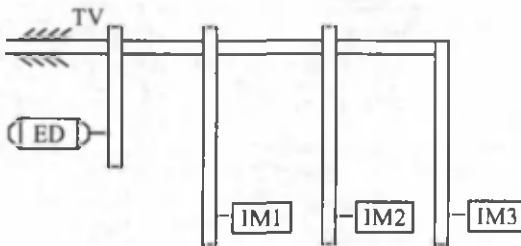
Elektr yuritma quyidagilardan tashkil topadi (7.1-rasm):

- o'zgartgich tizimisi;
- energiyani uzatish va tarqatish;
- yuqoridagi jarayonlarni boshqarish tizimisi.



7.1-rasm. Elektr yuritmaning struktura sxemasi.

Elektr yuritmaning rivojlanish davrida, ya'ni boshlang'ich paytlarda guruhli yoki transmission elektr yuritma ishlatilgan (7.2-rasm):



7.2-rasm. Transmission E.Yu.



TV – transmission val,  
IM1, IM2, IM3, – ishchi mexanizmlar,  
ED – elektrodvigatel.

**Kamchiligi:**

1. Juda katta elektr energiya isrofi (qurilmani to'liq yuklanganligi hisobiga).

2. Transmission uzatish vallarining o'lchamlari juda kattaligi, noqulayligi, shovqin juda kattaligidan iboratdir.

Elektr yuritmaning keyingi bosqichi individual yuritmadir.

Ushbu elektr yuritmaning afzalligi esa quyidagilardan iborat:

1. Kinematik uzatish liniyalarini keskin kamaytiradi.

2. Iqtisodni oshiradi.

3. Bevosita mexanizmning o'ziga ulanishi tufayli metall sarfi keskin kamayadi.

Hozirgi zamonaviy elektr yuritmalarda o'zaro bog'langan yoki ko'p dvigatelli elektr yuritma keng qo'llanilmoqda. Masalan: ishlab chiqarish robotlarida bir necha o'nta yoki undan ham ko'p elektrodvigatellar ishlatiladi.

**Elektr yuritmaning asosiy funksiyasi** – ishchi mexanizmlarni harakatga keltirish va texnologik jarayonlarning talablariga binoan uning ish rejimini o'zgartirishdir.

Ushbu funksiyani bajarish uchun esa elektr yuritmada elektrodvigatel mexanik xususiyati va ishchi mexanizm o'rtasida ma'lum muvofqlik bo'lishi zarur.

Ishchi mexanizmi va elektr dvigatelning mexanik xarakteristikasi elektr yuritmaning xususiyatiga bog'liq.

Elektr yuritmaning ikkita ish rejimi mavjud:

1. Turg'un (statik) rejim – moment yoki nagruzka o'zgarmasdir,

2. O'tkinchi (dinamik) rejim – moment yoki iste'molchi ta'siri (usulie) vaqt bo'yicha o'zgarib turadi. Bu rejimda elektr dvigatel tezlanish yoki tormozlash bilan sekinlanish rejimlarida ishlaydi.

### **Ish rejimi va elektr motorlarni tanlash**

Hozirgi paytda ishchi mexanizmlarining juda har xil bo'lishiga qaramasdan, ularning mexanik xarakteristikalarini 3 ta guruhga bo'lish mumkin:

*Birinchi guruhda* har qanday aylanish chastotasida elektrodvigatel validagi moment o'zgarmasdir. Bu guruhga ko'tarma transport mexanizmlari kiradi. Masalan, haqiqatan ham liftning kabinasi odamlar bilan to'lganda aylanish chastotasiga bog'liq bo'lmagan holda moment qarshiligi o'zgarmasdir. Xuddi shunday holat har xil yuklarni ko'tarishda ham kuzatiladi.

*Ikkinchi guruhda* moment aylanish chastotasiga darajali bog'langan. Masalan, ventilatorlar, nasoslar, kompressorlar.

*Uchinchi guruhda* valdagi quvvat o'zgarmasdir, ya'ni  $R = \text{const}$ . Masalan, tokar stanoklarida detallarni tayyorlashda doiraning tashqi qismidan markaziga yo'nalgan qirqqichning moment qarshiligi kamayib boradi, aylanish chastotasi esa oshadi.

**Elektr motorlarni tanlash.** Elektr motorlarni tanlashda ish joyining sharoiti ishlab chiqarish mexanizmlarining talablariga binoan tanlanadi. Bunda asosan oddiy, ishonchli (ekspluatatsiya uchun), og'irligi kichik, o'lchami va narxi katta bo'lmagan elektrodvigatellarni tanlash maqsadga muvofiqdir. Agarda aylanish tezligini rostlash zarur bo'ladigan elektr yuritma bo'lsa, unda elektrodvigatel va tezlikni o'zgartkich tanlash zarur bo'ladi. Ammo keyingi paytlarda rostlovchi elektr yuritma birgalikda, ya'ni elektrodvigatel va o'zgartirgichlar ishlab chiqilmoqda.

Har qanday sharoitda ham elektrodvigatellarning quyidagi parametrlari tanlanadi:

- tok turi (o'zgarmas yoki o'zgaruvchan);
- nominal kuchlanish;
- quvvat;
- aylanish chastotasi;
- rostlash usuli;
- ish rejasi;
- konstruktiv tuzilishi va boshqalar.

Konstruksiyasi jihatdan oddiy, ekspluatatsiya qilish uchun oddiy, narxi arzon va o'lchami, massasi uncha katta bo'lmagan dvigatel bo'lishi shart.

#### 1. Qisqa tutashgan rotorli AD:

Ularni boshqarish, odatda bevosita uch fazali tarmoqdan qo'shimcha o'zgartkichsiz amalga oshiriladi. Shuning uchun bu dvigatellar tezligini rostdash zarur bo'lmagan, chastotasi katta bo'lmagan barcha mexanizmlarda keng qo'llanilmoqda.

## 2. Faza rotorli AD:

Konstruksiyasi jihatidan qisqa tutashgan rotorli AD ga nisbatan murakkab, og'ir, narxi qimmat va katta o'lchamlidir. Bundan tashqari, boshqarish ham murakkabroqdir. Biroq bu dvigatelning aylanish tezligini rostdash, ishga tushirish toki va momentini rostdash rotor zanjiriga kiritilgan oddiy rezistorlar orqali sodda usulda amalga oshirish mumkin. Shuning uchun bunday dvigatellar tez-tez ishga tushiriladigan yoki to'xtatish zarur bo'ladigan mexanizmlar (ko'tarma transportlar)da keng ishlatiladi.

3. Sinxron dvigatellari juda yuqori energetik ko'rsatgichlarga ega bo'lib, kompressorlar, nasoslar, ventilatorlarning elektr yuritmalarida va o'zgartgich qurilmalarda, ya'ni aylanish chastotasini rostdash talab qilinmaydigan va ishda to'xtash tez-tez bo'lmaydigan mexanizmlarda keng qo'llaniladi.

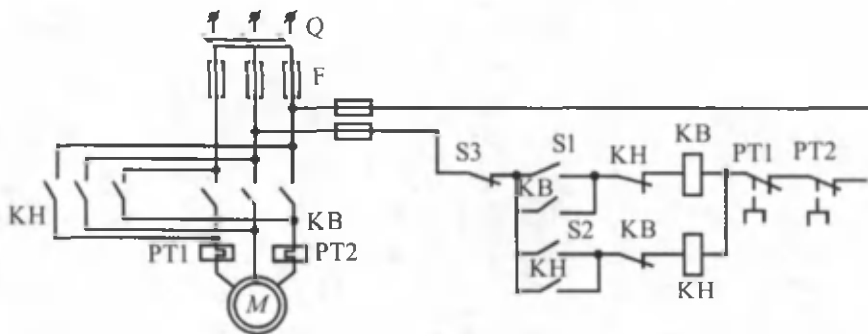
4. O'zgarimas tok dvigatellari tez-tez to'xtash yoki ishga tushirish zarur bo'ladigan ishchi mexanizmida keng qo'llaniladi. Bu dvigatellarda aylanish chastotasini keng diapazonlarda rostdash mumkin va o'tkinchi jarayonlar yaxshi sifatga egadir.

**Elektr yuritmani boshqarish.** Elektr yuritmani boshqarish tizimisi 2 ta turga bo'linadi:

1) Ochiq tizimli—dvigatelni ishga tushirish, tormozlash, aylanish tezligini o'zgartirish, himoya va h.k. jarayonlarni avtomatlashtiradigan yoki avtomatik ishlashini ta'minlaydigan tizimi.

2) Ikkinchi, ya'ni yopiq boshqarish tizimlarga har xil teskari aloqa ishlatiladigan, masalan, tezlik, EYuK tok va boshqalar bo'yicha boshqarish mumkin bo'lgan tizimilardir.

Teskari aloqa buyruq beruvchi yoki boshqaruvchi signal bilan birgalikda texnologik jarayonlar talablariga mos ravishda elektr yuritmaning statik va dinamik xarakteristikalarini hosil qilishga sharoit yaratadi.



7.3-rasm. E.Yu.ni ochiq boshqarish sxemasi.

**Elektr yuritmaning ochiq boshqarish tizimi.** Elektr yuritmaning asosiy funksiyalaridan biri, bu motorni ishga tushurish va tarmoqdagi uzilishdir. Asinxron motorni boshqarish sxemasi 7.3-rasmda keltirilgan:

Qisqa tutashgan rotorli ADni ishga tushirish KB va KH kontaktorlar kalitlari orqali stator chulg'amlarini tarmoqqa ulash bilan amalga oshiriladi.

Kontaktorlar kalitlari esa S1 yoki S2 kalitlar orqali 2 ta fazaga ulanadi. S1 va S2 bosilganda ularning blokirovka kontaktlari KB, KH lar parallel ulanadi. Bu esa S1 yoki S2 ni bosib, qo'yib yuborishga imkon yaratadi, S3 tugmani bosish bilan AD tarmoqdan uziladi.

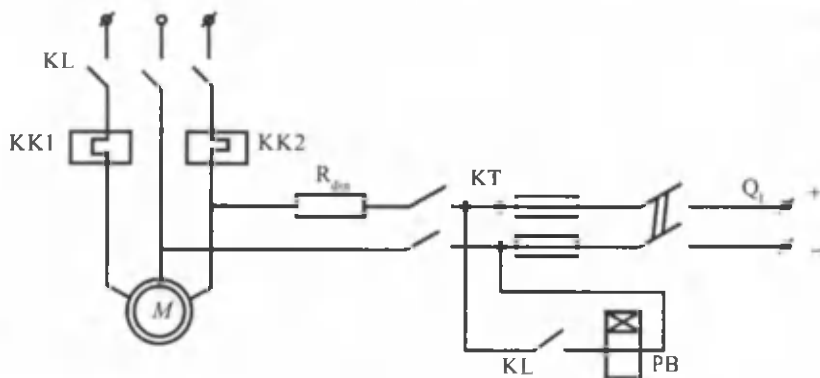
Bu holda uzuvchi kontaktorlar – KB yoki KH lar uziladi.

Kontaktorlarning ishlatilishi AD larni distansion, ya'ni masofadan boshqarishga, o'ta yuklanishdan, qisqa tutashuvdan va kuchlanish pasayishidan himoya qiladi.

Issiqlik relelari – KK1 va KK2 lar nominal yuklamalar 10–20% oshib ketganda himoya qiladi.

Agar tarmoqdagi kuchlanish  $0,8 U_n$  ga kamaysa, AD tarmoqdan uziladi, chunki kontaktor chulg'amidagi magnit oqimi yakorni ushlab turish uchun yetarli emas. G' saqlagichlar esa zanjirni qisqa tutashuvdan saqlaydi. KB va KH kontaktorlari AD ni reverslash uchun ishlatiladi.

**Dinamik tormozlash.** Stator chulg'amiga KT kontaktor orqali doimiy kuchlaqish beriladi. Doimiy manbadan yoki yarim o'tkazgichli to'g'rilagich orqali dinamik tormozlashni boshqarish vaqt releli RV orqali amalga oshiriladi (7.4-rasm).

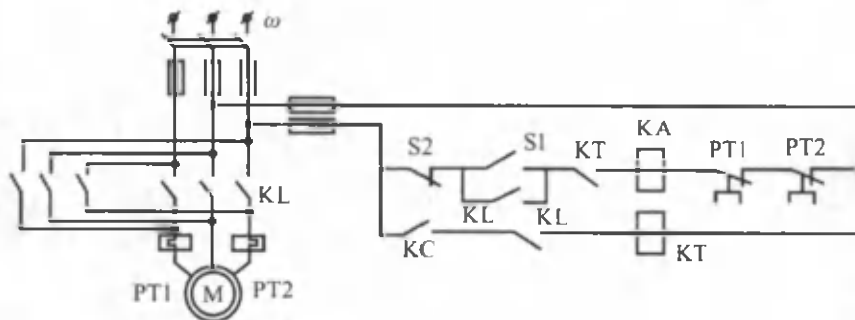


7.4-rasm. *Teskari ulab tormozlash.*

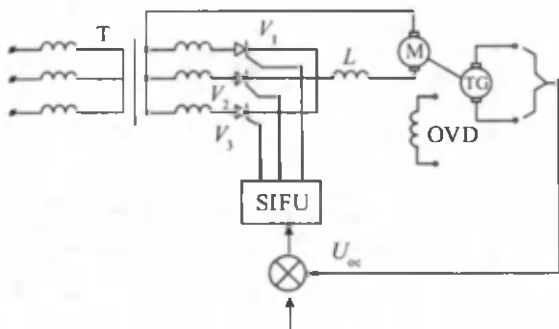
Tezda tormozlash uchun teskari ulash usuli ishlatiladi (7.4-rasm). Kontaktor KT stator chulg'amini tarmoqqa shunday ulaydiki, unda stator magnet maydoni rotor aylanishiga teskari aylanadi. Tormozlash jarayoni KT burchak tezlik nazorat rele si bilan nazorat qilinadi (7.5-rasm).

**Elektr yuritmani boshqarishning yopiq tizimi.** Ko'pgina texnologik jarayonlar talabiga ko'ra, AD ning aylanish tezligini keng diapazonda yaxshi energetik ko'rsatkichlar bilan roslash talab qilinadi.

Bunday roslash yopiq tizimini talab qiladi. Ya'ni, aylanish chastotasi, kuchlanishi, tok yoki moment bo'yicha teskari aloqa zarur.



7.5-rasm. *Elektr yuritmani boshqarishning yopiq sistemasi.*



7.6-rasm. F.I.B.T ning sxemasi.

**SIFU**–faza–impuls boshqarish tizimi. (FIBT) SIFU kirishiga  $U_U$  boshqarish kuchlanishi beriladi va teskari aloqa chastota bo'yicha  $U_{os}$  –beriladi. Bu signal taxogeneratordan TG olinadi (7.6-rasm).

## 7.2. Boshqarish elektr asboblari

**Boshqarish apparatlari.** Boshqarish apparatlari elektr yuritmalari dagi motorlarni tegishli cha tezlanishda ishga tushirish, aylanish chastotasini talab etilgan diapazon va bir tekisda rostlash, uni o'zgartirmay saqlash, motorni tormozlab to'xtatish va reverslash kabi amallarni bajaradi. Elektr yuritmalarni avtomatik boshqarishda dastaki, rele- kontaktorli va himoyalash apparatlari, texnologik datchiklar, elektromagnit muftalar, kuchaytirgichlar, yarimo'tkazgichli kontaktless asboblari va rostlagichlardan foydalaniladi.

**Dastaki boshqarish apparatlari.** Qo'l kuchi bilan yoki mexanik uzatma va richaglar yordamida harakatga keltiriladigan, 500 V gacha kuchlanishli o'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirlarni uzib-olab turuvchi boshqarish apparatlari dastaki boshqarish apparatlari deyiladi. Dastaki boshqarish apparatlarining gabarit o'lchamlari nisbatan katta, boshqarish quvvati esa kichik bo'ladi. Ularni harakatga keltirish ancha katta qo'l kuchi talab qiladi. Nominal toki 1000 A gacha bo'lgan zanjirlarni uzib-olab turishda rubilniklardan foydalaniladi. Rubilniklar bir, ikki va uch qutbli tuzilishlarda ishlab chiqariladi. Kichik va o'rtacha quvvatli, qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarni ishga tushirish, to'xtatish, yulduz sxemasidan uchburchak sxemasiga o'tkazish kabi amallarni boshqaradigan hamda qo'zg'almas kontaktlarni o'zaro izolatsiyalangan

paketlar ichiga o'rnatilgan apparat **paketli uzgich** deyiladi. Paketli uzgich 220 V kuchlanishli 400 A gacha tokni uzib-ulanishda qo'llaniladi. Agar kuchlanishi 380 V bo'lsa, bu apparatning nominal toki 40% kamaytiriladi. O'zgaruvchan va o'zgarmas tok motorlarini soatiga 120 martagacha ishga tushirish, to'xtatish, reverslash, aylanish chastotasini rostdash kabi amallarni boshqaradigan apparat **kontroller** deyiladi. Kontrollerlar barabranli va kulachokli tuzilishlarda chiqariladi.

**Rele-kontaktorli boshqarish apparatlari.** Rele va kontaktorlardan iborat bunday elektromagnit boshqarish apparatlari dastaki apparatlarga nisbatan har tomonlama takomillashgan va ularning o'rtacha xizmat davri bir necha million marta uzib-ulanish bilan xarakterlanadi (dastaki apparatlarning xizmat davri esa 2500–5000 marta ulanishlar bilan cheklanadi).

**Kontaktor.** O'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirlarini soatiga 1500 martagacha masofadan turib uzib-ulanishga hisoblangan elektromagnit apparat *K* deyiladi. *K* bir va bir necha qutbli tuzilishlarda chiqariladi. *K* ning chulg'amiga tok berilmagan holati ularning normal holati deyiladi.

**O'zgarmas tok kontaktorlari.** O'zgarmas tok kontaktorlari qo'zg'almas va qo'zg'aluvchi qismlardan iborat bo'lib, qo'zg'almas qismdagi po'lat o'zakka o'zgarmas tok chulg'ami va qo'zg'almas kontaktlar tizimisi o'rnatiladi. Qo'zg'aluvchi qism yakordan va unga o'rnatilgan qo'zg'aluvchi kontaktlar tizimidan iborat. O'zak bilan yakor o'rtasidagi havo oralig'i 10 mm dan oshmaydi. O'zgarmas tok kontaktlarida bosh zanjirlarni, ya'ni elektr mashinalarning yuklama toki o'tadigan (yakor va stator zanjirlarini uzib-ulaydigan) bosh kontaktlardan tashqari, kichik tokli boshqarish zanjirlarni uzib-ulaydigan blok kontaktlar ham bo'ladi.

O'zgarmas tok kontaktorlari chulg'ami ko'p o'ramli va demak, katta induktivlikka ega bo'ladi. Shu sababli uning chulg'amiga tok berilgandan keyin 0,1–0,2 sekund vaqt ichida kontaktor yakori o'zakka bir tekisda zarbsiz tortiladi. Bu esa kontaktlarni yemirilishdan saqlaydi va ularning xizmat davrini uzaytiradi. Natijada, bunday kontaktorlarning xizmat davri 30–50 mln marta uzib-ulanishni tashkil qiladi. O'zgarmas tok kontaktorlarining chulg'ami 220V kuchlanishda 2A ga, 440 V kuchlanishda esa faqat 0,5 A ga hisoblanadi. O'zgarmas tok kontaktorlari bilan nominal toki 40–2500 A bo'lgan zanjirlarni soatiga 1500 martagacha uzib-ulanish mumkin.

**O'zgaruvchan tok kontaktorlari.** O'zgarmas tok kontaktorlarining qo'zg'almas qismidagi po'lat o'zak chulg'amiga o'zgaruvchan tok berilganda yakor va unga o'rnatilgan qo'zg'aluvchi kontaktlar tizimisi harakatga kelib, o'zakka tortiladi. O'zakka mis halqacha o'rnatilgan. U o'zgaruvchan tokning nol qiymatlarida yakorning o'zakka urilib-tebranishdan hosil bo'ladigan tovushni keskin kamaytiradi. O'zgarmas tok kontaktorlari chulg'amiga tok berilishi momentlarida katta havo oralig'i tufayli induktivlik kichik bo'lib, chulg'amdan o'tuvchi tok normal (yakor tortilgan paytdagi) qiymatiga nisbatan 10–15 marta katta bo'ladi. Shu sababli yakor zarb bilan o'zakka uriladi. Natijada kontaktlar yemiriladi, ularning xizmat davri qisqaroq, ya'ni 1–7 mln marta uzib-ulanishni tashkil qiladi, xolos. Kontaktorlar chulg'amiga tok berilgandan keyin, 0,05–0,1 sekund o'tishi bilan yakor o'zakka tortilib, ularning kontaktlari tutashadi. Bunday kontaktorlar 20–600 A li zanjirlarni uzib-ulashga mo'ljallanadi.

**Magnitli ishga tushirgich.** Elektr motorlarni va boshqa elektr iste'molchilarni elektr tarmog'iga masofadan turib uzib-ulaydigan, ularni ortiqcha yuklamadan himoyalaydigan kontaktor va tugmalar stansiyasidan iborat boshqaruvchi apparat magnitli ishga tushirgich deyiladi. Unda kontaktor chulg'amini elektr tarmog'iga ulash yoki undan ajratish signallari knopkalar orqali beriladi. Motorlarni aylanish yo'nalishini o'zlashtirib turish uchun reversiv magnitli ishga tushirgichlardan foydalaniladi. Reversiv magnitli ishga tushirgich o'ngga va chapga aylantiruvchi ikkita kontaktordan hamda o'ng, chap va to'xtatish signallari beruvchi knopkalardan iborat bo'ladi.

**Rele.** Tashqi signal vositasida elektr zanjirlarini avtomatik ravishda uzib-ulab turadigan tuzilma *R* deyiladi. *R* ikki turg'un holatga ega bo'lgan kommutatsiya elementidan va uning turg'un holatlari o'zgarganda uzilib-ulanadigan kontaktlar tizimidan iborat. *R* lardan avtomatik boshqarish, nazorat, signalizatsiya va himoya tizimlarida foydalaniladi.

**Boshqarish rele si.** Elektr motorlarni ishga tushirish va boshqarishni avtomatlashtirishda magnitli ishga tushirgich bilan birgalikda boshqarish relesidan ham foydalaniladi. boshqarish relesining tuzilishi kontaktorlar singari, elektromagnit va boshqarish zanjirlaridagi kichik toklarga hisoblangan kontaktlar tizimidan iborat. Chulg'amiga tok (signal) berilishi bilanoq (0,1–0,15 sekund ichida) kontaktlarni uzib-ulovchi boshqarish rele si oniy rele deyiladi. Chulg'amiga tok (signal) berilgandan keyin 0,15 sekunddan ortiqroq vaqt o'tganda ishga tushadigan boshqarish rele si vaqt rele si deb yuritiladi.

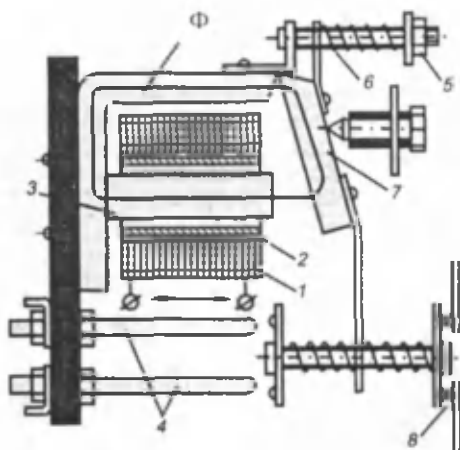


**Hayallash vaqti.** Vaqt relesini signal berilgandan keyin kontaktlarni tutashtira yoki ajrata boshlashigacha o'tadigan vaqt hayallash vaqti deyiladi.

**Elektromagnit vaqt relesi.** Bunday rele o'zgarmas tokli elektromagnit va uning yakoriga o'rnatilgan kontaktlar tizimidan iborat bo'ladi. Qoldiq magnetizm ta'sirida rele yakori po'lat o'zakka tortilganicha qolmasligi uchun yakorga nomagnit materialdan yupqa qistirmalar o'rnatiladi. Bu qistirmalar sonini o'zgartirish va yakor prujinasining tarangligini rostlash yo'li bilan elektromagnit vaqt relesining hayallash vaqtini 0,1–16 sekund chegarasida rostlash mumkin. O'zgarmas tok manbai bo'lmasa, bunday relelarga o'zgarmas tok to'g'rilagich orqali beriladi. 7.7-rasmda elektromagnit vaqt relesining sxemasi ko'rsatilgan.

**Mayatnikli vaqt relesi.** Bunday rele elektromagnit va uning yakori bilan bog'langan mayatnikli tizimidan iborat. Mayatnikli vaqt relesi o'zgarmas tokda ham, o'zgaruvchan tokda ham ishlay oladi. Bunday relening mayatnikli tizimisdagi reyka uzunligini o'zgartirish yoki mayatnik yelkasidagi yukni siljitish yo'li bilan uning hayallash vaqtini 1–10 sekund chegarasida rostlash mumkin.

**Elektron vaqt relesi** trioddan va elektromagnit reledan iborat tuzilmadir elektron vaqt relesi (7.7-rasm). Undan  $S$  sig'imli kondensatorni  $R$  qarshilik orqali zaryadsizlanish vaqti  $t=4\tau=4RS$  sababli Elektron vaqt relesining hayallash vaqti  $R$  va  $S$  qiymatlarini o'zgartirish yo'li bilan rostlanadi.



7.7-rasm. Elektromagnitli vaqt relesining tuzilishi:

1—rele chulg'ami; 2—yakor; 3—o'zak; 4—8—kontaktlar; 5—gayka; 6—prujina; 7—o'ram.

**Motorli vaqt relesi** – reaktiv sinxron motor, uzatish soni  $S = 1000000$  gacha bo'lgan reduktor va kulachokli kontaktlar tizimidan iborat tuzilma motorli vaqt relesi. Unda reduktor orqali aylantiriladigan valikka 12 tagacha o'zaro tutashib-ajraladigan kontakt o'rnatilgan bo'ladi. Reduktorni uzatish sonini keng diapazonda rostdash va valikka o'rnatilgan kontaktlar o'rnini o'zgartirish yo'li bilan motorli vaqt relesining hayallash vaqtini bir necha sekunddan bir necha soatgacha rostdash mumkin.

**Kuchlanish relesidan** motorlarni ishga tushirish yoki kuchlanish pasayganda ularni elektr tarmog'idan avtomatik ravishda ajratish kabi boshqarish amallarda kuchlanish relesidan foydalaniladi. O'zgarmas tok zanjirlarida kuchlanish relesi sifatida elektromagnit vaqt relesi, o'zgaruvchan tok zanjirlarida esa 127, 220, 380 va 500 V ga mo'ljallangan RE-2100 tipli elektromagnit relelar ishlatiladi.

**Tok relesidan** elektr motorlarni yuklama tokiga qarab avtomatik ravishda ishga tushirish, tormozlab to'xtatish kabi boshqarish operatsiyalarida tok relesidan foydalaniladi. Tok relesi sifatida o'zgarmas tok zanjirlarida 15–600 A ga mo'ljallangan elektromagnit vaqt relelari, o'zgaruvchan tok zanjirlarida esa 5–500 A ga hisoblangan RE-2100 tipli elektromagnit relelar ishlatiladi.

**Himoya apparatlari**, deb elektr motorlarini va boshqa elektr iste'molchilarni qisqa tutashuv, o'ta yuklanish hamda nol kuchlanish xavflaridan saqlanish uchun xizmat qiladigan apparatlarga deyiladi.

**Saqlagichlar** – motor, uzatish va boshqarish zanjirlarini qisqa tutashuv tokidan himoyalovchi eruvchan simli eng oddiy tuzilmalardir deyiladi. Bosh yoki boshqarish zanjirlarida qisqa tutashuv ro'y berishi bilanoq saqlagichlarning eruvchan simi katta tok ta'sirida erib ketib, zanjirni elektr tarmog'idan ajratadi. Saqlagichlardagi simning erib uzilish harorati uning diametri, uzunligi, ulanish kontakti, muhit harorati va sovish sharoitlariga bog'liq. Shu sababli saqlagichlardagi himoyalash ishonchliligi juda past bo'ladi. Reostat bilan ishga tushiriladigan motorlarda saqlagichlarning motorning nominal tokiga, qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarda esa nominalga nisbatan 2,5–3 marta katta tok hisoblanadi.

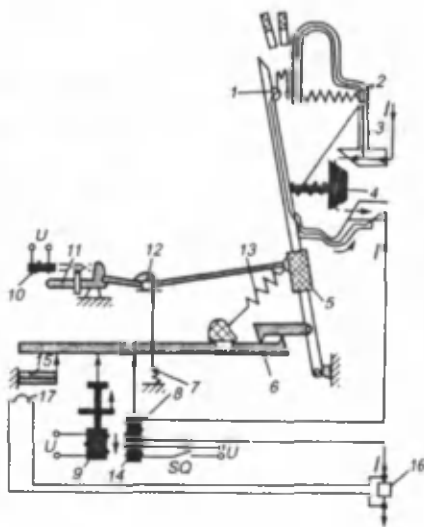
**Nol kuchlanish himoyasi.** Rubilnik singari dastaki boshqarish apparati bilan ishga tushirilgan motorda biror sabab bilan kuchlanish nolga tushib, yana tiklansa, motor to'xtab qolishi, so'ngra yana o'zi o'zidan aylanib ketish xavfi tug'iladi. Magnitli ishga tushirgich bilan boshqariladigan motorda kuchlanish nol yoki normaldan ancha past bo'lsa, motor avtomatik ravishda

to'xtaydi. Lekin, kuchlanish tiklangandan so'ng motorning bosh zanjiri magnitli ishga tushirgichning bosh kontaktlari orqali ajralganligi sababli o'z-o'zidan ishga tusha olmaydi. Demak, magnitli ishga tushirgich bilan ham nol kuchlanish xavfidan saqlanishga erishish mumkin.

**Avtomatik havo uzgich.** Avtomatik uzgich (avtomat) elektr zanjirlarni va elektr jihozlarni ulash, uzish hamda ularni qisqa tutashishlardan va o'ta yuklanishlardan himoya qilish uchun ishlatiladi (7.8-rasm). Hozirgi elektr qurilmalarda A3100 seriyali (600 A gacha) avtomatik uzgichlardan foydalaniladi. Ular bosqichma-bosqich yangi seriyalar (A3700 va AE-2000) bilan almashtirilmoqda. A3700 seriyali uzgichlar 40 dan 630 A gacha bo'lgan nominal toklar uchun mo'ljallangan. Ular 4000 dan 6300 A gacha oniy ta'sir etuvchi maksimal tokka mo'ljallangan elektromagnitli maksimal tok ajratkichlarga ega.

Avtomatik havo uzgichning prinsipial sxemasi 7.8-rasmda ko'rsatilgan. Avtomatik havo uzgichlarda yoyni so'ndirish uchun maxsus muhit ishlatilmaydi, u havoda o'chiriladi.

Qutblar soniga ko'ra avtomatik havo uzgichlar *bir, ikki va uch qutbli* bo'ladi. Kuzatiladigan kattalik (tok kuchi, kuchlanish va issiqlik miqdori)ning belgilangan qiymatdan ortish lahzasidan boshlab kontakt-



7.8-rasm. A3100 seriyali avtomatik uzgich sxemasi.

larning ajralish lahzasigacha bo'lgan vaqtga ko'ra, ya'ni ishlab ketish vaqti  $t_H$  ga ko'ra avtomatlar quyidagilarga bo'linadi: normal avtomatlar ( $t_H = 0,02 \sim 0,1$  s); tez ta'sir qiluvchi avtomatlar ( $t_H < 0,005$  s); ishlab ketish vaqti 1 s gacha bo'lgan rostlanuvchi selektiv avtomatlar.

Avtomatlar kuchlanishi o'zgaruvchan tokda 380, 660 V va o'zgarmas tokda 110, 220, 440 V bo'lganda 6000 A gacha toklar uchun mo'ljallab ishlab chiqariladi. Avtomatlarning uzish qobiliyati 200–300 kA tokkacha yetadi. Avtomatlar quyidagi asosiy elementlar: *yoy so'ndiruvchi tuzilma, kontaktlar, yuritma, erkin ajratish mexanizmi, ajratkichlar va yordamchi kontaktlardan iborat.*

Avtomatning kontaktlari uzoq vaqt qizimasdan nominal toklarni o'tkazishi va qisqa tutashuv toklarini uzishda hosil bo'luvchi yoy ta'siriga chidashi kerak. Birinchi shartga muvofiq kontaktlarning solishtirma qarshiligi kichik bo'lgan materialdan, ikkinchi shartga muvofiq esa yoy ta'siriga chidamli materialdan tayyorlash kerak.

Har ikkala shartni bir vaqtning o'zida bajarish mumkin bo'lmaganligi uchun ikki juft – bosh 3 va 4 hamda yoy so'ndiruvchi kontaktlar qo'llaniladi (7.8-rasm). Normal rejimda tokning asosiy qismi mis, kumush yoki ularning qotishmasidan tayyorlangan bosh kontaktdan o'tadi. Avtomat uzilganda avval asosiy kontaktlar ajraladi, lekin tok zanjiri uzilmaydi, chunki tokning hammasi yoy so'ndiruvchi kontaktlar zanjiriga o'tadi. So'ngra yoy so'ndiruvchi kontaktlar ajraladi va ularda elektr yoyi so'nadi.

Uziladigan tokning qiymati uncha katta boimaganida yoy so'ndiruvchi kontaktlar misdan, katta toklarda esa volfram, uning qotishmasidan yoki metalli chinnidan tayyorlanadi. Yoy so'ndiruvchi kontaktlar konstruksiyasi bo'yicha oson almashtiriladigan qilib yasaladi.

Avtomatning yoy so'ndiruvchi tuzilmasi avtomatni o'chirganda hosil bo'ladigan yoini so'ndirish uchun xizmat qiladi. Avtomatlarda po'lat plastinkali yoy so'ndiruvchi tuzilmalar keng qo'llaniladi.

Avtomatning yuritmasi bevosita qo'l bilan yoki masofadan boshqariluvchi bo'lishi mumkin. Qo'l bilan boshqarilganda zanjirni ulash dasta 11 ni burash bilan amalga oshiriladi. Masofadan boshqarilganda elektromagnit 10 yordamida yuritмага ta'sir qilinadi.

Erkin ajratish mexanizmi avtomatni istalgan vaqtda o'chirishni ta'minlaydi, shuningdek, ulash jarayonida ham zarur bo'lsa o'chirishni amalga oshiradi. U tayanchga sharnirli tarzda bog'langan richag 12 dan iborat. Avtomatik uzgichning sxemasi (7.8-rasm) da avtomat uzilgan holatda turibdi, chunki asosiy kontaktlar 3 va 4 ajratilgan va

kommutatsiya toki uzuvchi kontaktlarning (1) parallel zanjiri orqali o'tmoqda. Bunday konstruksiyada yoy asosiy kontaktlarda vujudga kelmaydi va ular kuymaydi. Uzuvchi (yoy so'ndiruvchi) kontaktlar bosh kontaktlar (3 va 4) dan yetarli masofaga uzoqlashganda ajraladi. Tok zanjirining uzilishi natijasida elektr yoyi hosil bo'ladi. U yoy so'ndiruvchi kamerada so'ndiriladi. Kontaktlar yaxshi tutashishi uchun uzviy va asosiy kontaktlar prujinalar (2) bilan ta'minlangan. Avtomatni ulash uchun dastani (11) bosish yoki elektromagnitga (10) kuchlanish berish kerak. Ulashda harakat dasta 11 yoki elektromagnitdan (10) richaglar (12) yordamida asosiy tortuvchi detal (richag) 5 ga uzatiladi. Bu richag avval yoy so'ndiruvchini (1), so'ngra esa asosiy kontaktlar 3 va 4 ni tutashtiradi. Bunda uzuvchi prujina 13 cho'ziladi va butun sistema ilgak 6 da ilinib turadi.

Ajratkichlar elektromagnit yoki bimetalli mexanizmlar bo'lib, elektr zanjirining berilgan parametrlarini nazorat qiladi va mazkur parametrlar (tok, kuchlanish va issiqlik) belgilangan qiymatlaridan oshib ketganda avtomatni o'chiradi. Ushbu avtomat elektr jihozlarni qisqa tutashuvdan, o'ta yuklanishdan va minimal kuchlanishdan himoya qiladi. Qisqa tutashuv toki maksimal ajratkich g'altagi 8 dan o'tganda uning elektromagnit kuchi qo'zg'aluvchan o'zakli g'altakka ta'sir qiladi va ilgak 6 ni chiqarib yuboradi.

Minimal kuchlanishini ajratkich tarmoq kuchlanishi beriladigan g'altakka (9) va prujinaga (7) ega. Tarmoq kuchlanishi nominal bo'lganda ularning kuchlari muvozanatlashadi va solenoidning shtogi avtomatni o'chirish (uzish) ga ta'sir qilmaydi. Tarmoq kuchlanishi nominaldan pasayganda qo'zg'aluvchan o'zak hosil qilayotgan kuch yetarli bo'lmaydi va uning shtogi prujina ta'sirida ilgak 6 ni chiqarib yuboradi. Avtomatni masofadan tugma S yordamida o'chirish uchun mustaqil ajratkich g'altagi 14 qo'llanishi mumkin.

Bimetalli (issiqlik) ajratkich 15 issiqlikni elektr tarmog'iga shunt 16 orqali ulangan qizdiruvchi elementdan oladi. Chiziqli kengayish koeffitsiyenti turlicha bo'lgan ikkita metall (bimetall)dan tashkil topgan plastinka qiziganda egiladi.

**Maksimal tok relesi** deb, o'zgarmas va o'zgaruvchan tok motorlari va boshqa iste'molchilarni qisqa tutashuv tokidan himoyalaydigan elektromagnit relelarga aytiladi. Bunday relening ishga tushish toki motorni ishga tushirish va tormozlab to'xtatish toklaridan 30–50% yuqori bo'lishi, o'zgarmas tok motori uchun esa kommutatsiya sharoitiga ko'ra belgilanganidan ortiq bo'lmasligi kerak.

**Issiqlik relesi** elektr motorlarni va boshqa elektr qurilmalarni uzoq vaqt davom etadigan 10–20% li ta yuklanishdan himoyalash uchun xizmat qiladi.

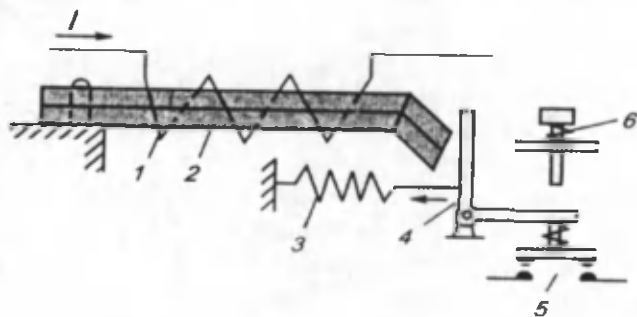
Issiqlik relesining soddalashtirilgan tuzilishi 7.9-rasmda keltirilgan. Rele himoyalalanuvchi motor yoki boshqa elektr qurilma zanjiri bilan ketma-ket ulangan qizdirish elementi 1 dan iborat.

Qizdirish elementining ichiga bimetall plastinka 2 joylashtirilgan. U chiziqli kengayish koeffitsiyenti turlicha bo'lgan ikkita metall plastinkalar-dan iborat bo'lib, ularning bir tomondagi uchlari o'zaro kavsharlanadi, ikkinchi uchlari esa asosga qo'zg'almas qilib mahkamlanadi. Qizdirish elementidan ajralib chiqayotgan issiqlik ta'sirida bimetall plastinka qiziydi. Iste'molchining toki o'zining nominal qiymatidan ma'lum miqdorga, masalan, 20% ga ortadi, bimetall plastinka ko'proq qizib, ma'lum miqdorga bukiladi va richag 4 ni qo'yib yuboradi. Prujina 3 ning ta'siri ostida richag buriladi va issiqlik relesining normal yopiq (ulangan) kontaktlari 5 ni ochadi.

Kontakt 5 magnitli ishga tushirgichning boshqarish zanjiriga ulanadi, shuning uchun yuritgich chulg'amining zanjiri uziladi va magnitli yuritgichning asosiy kontaktlari ajraladi, ya'ni elektr motor yoki boshqa elektr qurilma elektr tarmoqdan uziladi. Issiqlik relesini dastlabki holatga qaytarish uchun tugma 6 dan foydalaniladi.

**Teskari bog'lanish** elektr yuritma tizimisining keyingi zvenosi (chiqishi)dan olingan energiyaning oldingi zvenosi (kirish) dagiga ta'sir etishini ta'minlaydigan zanjir va u ta'siriga ko'ra musbat, manfiy, bir va elastik bo'lishi mumkin.

**Teskari musbat bog'lanish** – bu teskari bog'lanish signali tizimining kirishidagi asosiy signalga mos bo'lib, umumiy signalni kuchaytirishi natijasida hosil bo'lgan zanjir.



7.9-rasm. Issiqlik relesining tuzilishi:

1–qizdirish elementi; 2–plastinka; 3–prujina; 4–richag; 5–kontakt; 6–tugma.

**Teskari manfiy bog'lanish.** Teskari bog'lanish signali tizimining kirishidagi asosiy signalga teskari bo'lib, umumiy signalni susaytirsa, bunday zanjir teskari musbat bog'lanish deyiladi.

**Teskari bikr bog'lanish.** Teskari bog'lanish signali rostlanadigan kattalikning o'zgarishiga proporsional bo'lsa, bunday zanjir teskari bikr bog'lanish deyiladi.

**Teskari elastik bog'lanish.** Teskari bog'lanish signali rostlanadigan kattalikning o'zgarish tezligiga proporsional bo'lsa, bunday zanjir teskari elastik bog'lanish deyiladi.

**Avtomatik boshqarish sxemalarining tuzilishi.** Avtomatik boshqarish tizimlari tarkibida juda ko'p asbob va apparatlar bo'ladi. Shu sababli sxema ishini tez va oson tushunib, uni to'g'ri talqin qilish uchun sxema elementlariga davlat standarti bo'yicha shartli belgilar qo'yiladi. Bu belgilar elementlarning me'yorli holatlariga taalluqli bo'ladi. Kontaktorning qo'zg'atish chulg'amiga tok berilmagandagi va demak, bosh kontaktlar ochiq bo'lgan holati deyiladi. Bir tipdagi apparatlarni bir-biridan ajratish uchun ular bir necha bosh harflar bilan belgilanadi. Bunda birinchi harf apparatning nomiga taalluqli bo'lsa, qolganlari uning sxemadagi vazifasini xarakterlaydi. Agar sxemada bir xil vazifalarni bajarsa, ularning harfiy belgilari oldiga sonlar qo'yiladi, masalan, 1 kl, 2 kl va hokazo. Sxemalardagi apparatlarga tegishli turli elementlar shu apparatlar belgisi bilan ifodalanadi.

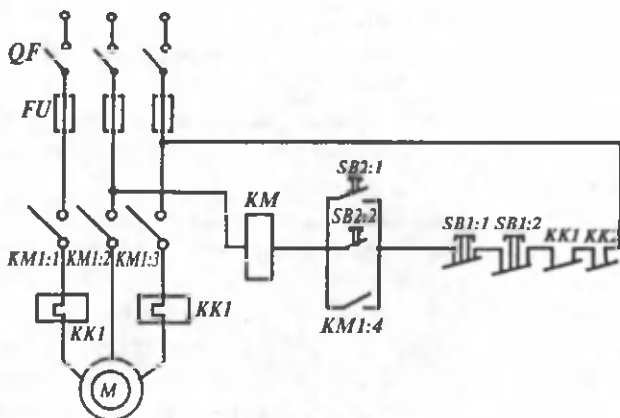
**Bosh zanjir.** Elektr motorlarining yuklama toki o'tadigan yakor, stator va rotor chulg'ami zanjirlari bosh zanjir deyiladi. Bu zanjir boshqarish zanjiriga nisbatan yo'g'onroq chiziq bilan ko'rsatiladi.

**Boshqarish zanjiri.** Elektr yuritmaning boshqarish, signalizatsiya, nazorat va himoya apparatlaridagi elementlar ulangan zanjirlar boshqarish zanjiri deyiladi.

**Bosh kontaktlar.** Boshqarish apparatlaridagi bosh zanjirning yuklama toklariga mo'ljallangan kontaktlar bosh kontaktlar deyiladi. Bosh kontaktlar elektr yuritmalarning bosh zanjirlarini elektr tarmog'iga ulab-uzib turadi.

**Blok kontaktlari** deb, boshqarish apparatlardagi boshqarish zanjirlarining kichik toklariga mo'ljallangan kontaktlarga aytiladi.

**Blokirovka(lash).** Biror elektromexanik yoki mexanik kuch ta'sirida harakatga kelib, boshqarish apparat kontaktlarini (shuningdek, temiryo'l izlarini) ma'lum tartibda tutashtirish yoki ajratish blokirovka deyiladi. Magnitli ishga tushirgich kabi boshqarish apparatlaridagi blok kontaktlar elektr blokirovka vazifasini o'taydi. Magnitli reversiv ishga tushirgichlarda mexanik blokirovka ham qo'llaniladi.



7.11-rasm. Avtomatik boshqarish sxemasi.

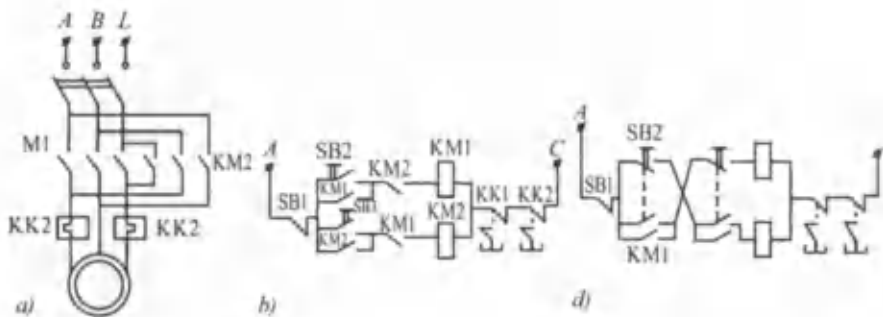
**Avtomatik boshqarish sxemalari.** 7.11-rasmda bir tomonga aylanib ishlaydigan (noreversiv) asinxron motorni avtomatik boshqarish tizimining prinsipial sxemasi ko'rsatilgan.

Unda ishga tushirish (IShT) SA tugmasi bosilsa, magnitli ishga tushirgichning KM (liniya kontaktori) chulg'amiga tok berilib, uning bosh va boshqarish zanjirlaridagi ochiq KM kontaktlari qo'shiladi.

Natijada stator chulg'ami KM kontaktlari orqali elektr tarmog'iga ulanib, asinxron motor ishga tushadi. Tugma qo'yib yuborilgach, uning kontaktlari prujina ta'sirida yana ochiq holatga to'g'ri keladi. Ammo bu kontaktlar blok kontakt KM bilan tutashtirilgani sababli, liniya kontaktlarining KL chulg'ami elektr tarmog'iga ulanganicha qoladi, motor ishlashda davom etadi. Motorni to'xtatish uchun SB<sub>1</sub> tugmasini bosish kifoya. Bunda kontaktorning KM chulg'ami toksiz qolib, uning yakori o'zakdan ajraladi. Natijada kontaktlar dastlabki ochiq holatiga kelib, motor elektr tarmog'idan uziladi. Bu sxemada qo'llanilgan KK1, KK2 issiqlik relelari vositasida motor o'ta yuklanish xavfidan ham saqlanadi. 7.12-a, b rasmda va d da reversiv asinxron motorning ochiq tizimli avtomatik boshqarish sxemasi ko'rsatilgan.

Unda o'ng (KM1) va chap (KM2) kontaktorlaridan iborat reversiv magnitli ishga tushirgichdan foydalaniladi. Bunday magnitli ishga tushirgichlarda elektr va mexanik blokirovkalar tufayli o'ng va chap kontaktorlarning bir vaqtda ulanishiga yo'l qo'yilmaydi. Shu bilan bosh zanjirda qisqa tutashuv xavfi bartaraf qilinadi. 7.12-rasmdagi boshqarish sxemasida biror tomonga aylanayotgan motorni teskari tomonga aylantirish



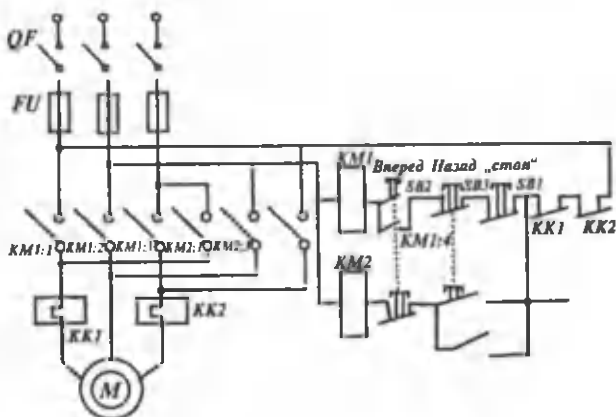


7.12-rasm. Reversiv boshqarish sxemalari.

uchun uni avval to'xtatish, so'ngra teskari tomon tugmasini bosish kerak bo'ladi. 7.12-d rasmda esa motorni to'xtamay turib, uni reverslash sxemasi ko'rsatilgan. Agar reversiv magnitli ishga tushirgichda faqat mexanik blokirovka qo'llanilgan bo'lsa, bu holda ham ishlab turgan motorni teskari tomonga aylantirish uchun uni avval to'xtatish kerak bo'ladi.

**Masofadan boshqarish.** Elektr yuritmani masofadan boshqarish uchun turli joylarga o'rnatilgan ishga tushirish tugmalarini o'zaro parallel ulash, to'xtatish tugmalarini esa ketma-ket ulash kifoya (7.13-rasm).

**Blokirovka bog'lanishlari.** Elektr yuritmalarning avtomatik boshqarish sxemalarida qo'llaniladigan blokirovka bog'lanishlardan ish mashinalarini turli rejimlarda ishlatish hamda stanoklarning potok liniyalarida ularning turli mexanizmlari harakatini o'zaro moslash uchun foydalaniladi.



7.13-rasm. Distansion boshqarish sxemasi.

---

---

## VIII BOB

### ELEKTR TA'MINOT. ENERGOSISTEMALAR HAQIDA TUSHUNCHALAR

#### 8.1. Elektr ta'minot. Energosistemalar haqida tushuncha

**Elektr ta'minoti.** Xalq xo'jaligining barcha sohalarini – sanoat, qishloq xo'jaligi, transport, shahar xo'jaligi va boshqalarni elektr energiyasi bilan ta'minlash elektr ta'minot deyiladi. Elektr ta'minot tizimiga energiya manbalari, kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi podstansiyalar, elektr uzatish va taqsimlash liniyalari, elektr tarmoqlari va boshqa yordamchi qurilmalar kiradi.

**Elektr energiya manbalari.** Elektr energiyasini asosan elektr stansiyalarida o'rnatilgan uch fazali sinxron generatorlar ishlab chiqaradi.

**Elektr stansiya.** Elektr energiyasini hosil qiladigan agregatlar, uskuna va apparatlar hamda ular o'rnatiladigan bino va boshqa yordamchi qurilmalardan iborat inshoot elektr stansiya deyiladi. Elektr stansiya energiya manbaiga ko'ra IES (TES), GES, GAES, AES va boshqa turlarga ajratiladi.

**Issiqlik elektr stansiyasi (IES).** Qattiq, suyuq yoki gaz holatdagi organik yoqilg'ilarning issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantirib beradigan stansiya issiqlik elektr stansiyasi (IES) deyiladi. Elektr energiyasining ko'pchilik qismi IESlarda ishlab chiqariladi. Generatorlarni aylantiruvchi birlamchi motorlar turiga ko'ra, TESlar bug' turbinali, gaz turbinali va dizel elektr stansiyalariga bo'linadi.

**Bug' turbinali kondensatsion elektr stansiya (KES).** KESning asosiy energetik agregatlari qatoriga suv yoki bug' oqimi hosil qiladigan trubalar batareyasidan iborat qozon qurilmasi, bug' turbinalar va turbogeneratorlar kiradi. KES larda yoqilg'ining issiqlik energiyasi qozon tizimida suvni yuqori bosimli bug'ga aylantiradi. Bu bug' bosimi

ta'sirida turbina parraklari generatorni harakatga keltiradi va natijada issiqlik energiyasi turbinada mexanik energiyaga, generatorda esa elektr energiyasiga aylantiriladi. Turbina parraklaridan o'tgan bug' sovitgichlar vositasida suvga aylantirilib, nasos orqali yana isitgich (qozon tizimiga) yuboriladi. KES larni ishga tushirish davomiyligi 3–6 soat, foydali ish koeffitsiyenti  $\eta = 32\text{--}40\%$  bo'ladi.

**Issiqlik elektr sentrali (IES).** Bunday stansiyaning turbinalarini harakatlantirishda ishlatilgan bug'ning bir qismi sovitilib, yana qozon agregatining isitish tizimiga yuboriladi, qolgan qismi esa, sanoat korxonalarini ehtiyojlariga hamda turarjoylarni isitishga sarflanadi. Natijada, TES ning foydali ish koeffitsiyenti KESga nisbatan yuqori  $\eta = 60\text{--}70\%$  bo'ladi.

**Gaz turbinali elektr stansiya.** Bunday stansiyalarda maxsus yoqilg'ining yonishidan hosil bo'lgan gaz mahsuloti bilan havo aralashmasi birgalikda turbinani aylantiradi, shu sababli bunday stansiyalar GTES deyiladi. Gaz turbinali agregatlar 25–100 mVt quvvatlarda chiqariladi. Ulardan energotizimidagi yuklamaning maksimumida yoki avariya hollarida darhol ishga tushiriladigan rezerv agregatlar sifatida foydalaniladi.

**Dizel elektr stansiyasi.** Birlamchi motor sifatida dizel motor ishlatilgan stansiyalar DES deyiladi. Stasionar dizel elektr stansiyalarda quvvati 110–750 mVt bo'lgan to'rt taktli dizel agregatlardan foydalaniladi. Energopoyezdlarda quvvati 10 mVt gacha bo'lgan stasionar tipli DES ishlatiladi. Avtomobil yoki temiryo'l platformasiga o'rnatiladigan ko'chma dizel elektr stansiyasida esa 25–150 kVt li agregatlar qo'llaniladi. DES ko'pincha qishloq, o'rmon xo'jaligi va qidiruv partiyalarida asosiy yoki rezerv stansiya sifatida ishlatiladi, dizel-elektrovoz va dizel-elektroxodlarda esa undan asosiy energetik qurilma sifatida foydalaniladi.

**Gidroelektr stansiya (GES).** Suv oqimi energiyasini elektr energiyaga aylantiradigan stansiya GES deyiladi. GES tarkibiga gidroturbina va gidrogenerator tashqari, to'g'on va boshqa gidrotexnik inshootlar ham kiradi. Suvdan foydalanish sxemasi va suv bosimini hosil qilish usuliga ko'ra GESlar o'zanli, to'g'onli, derivatsion va gidroakkumulatsiyalovchi stansiyalarga bo'linadi. GES larning ishga tushirish davomiyligi 1–5 minut, foydali ish koeffitsiyenti  $\eta = 85\text{--}87\%$  bo'ladi.

**To'g'onli va o'zanli GES.** Bunday GESlar tekislikda oqadigan sersuv daryolarda yoki tog'dan oqib tushadigan daryolarda quriladi. Bu

ikki xil GESda ham suvning bosimini hosil qilish uchun uning sathi to'g'on vositasida ko'tariladi. GES larda elektr stansiya binosi to'g'on inshootining bir qismini tashkil etadi.

**Derivatsiyali GES.** Daryo o'zidan ajratib chiqarilgan ma'lum qiyalikdagi kanal, trubalar yoki tunnelga qurilgan stansiya derivatsiyali GES deyiladi. Derivatsiyali GES asosan o'zani katta qiyalikka ega bo'lgan daryolarda quriladi.

**Gidroakkumulatsiyalovchi elektr stansiya (GAES).** GAES ikki rejimda ishlaydi: 1. Elektr energiyasiga ehtiyoj kam bo'lgan vaqtlarda, masalan, tungi paytda, uning nasos rejimida ishlaydigan agregatlari boshqa elektr stansiyalaridan energiya olib, pastki ombordagi suvni yuqoridagi omborga chiqaradi, bunda GAESning generatori motor vazifasida, turbinalari esa nasos bo'lib ishlaydi, bu vaqtda omborda suv yig'iladi (akkumulatsiyalanadi). 2. Elektr energiyasiga ehtiyoj eng katta bo'lgan paytlarda GAES elektr stansiya rejimida ishlaydi va unda ishlab chiqarilgan elektr energiya energotizimiga uzatiladi (generatsiyalash rejimi). Bunday elektr stansiyalarining foydali ish koeffitsiyenti 70–75% bo'ladi.

**Atom elektr stansiyasi (AES).** Atom energiyasini elektr energiyasiga aylantiradigan elektr stansiya AES deyiladi. AES larda radioaktiv elementlar yadrosining atom reaktorida parchalanishi natijasida hosil bo'lgan issiqlik energiyasidan turboagregatlarni harakatga keltiruvchi bug' hosil qilinadi. AES larning ishga tushirish doimiyligi 3–6 soat, foydali ish koeffitsiyenti  $\eta=35-38\%$  bo'ladi.

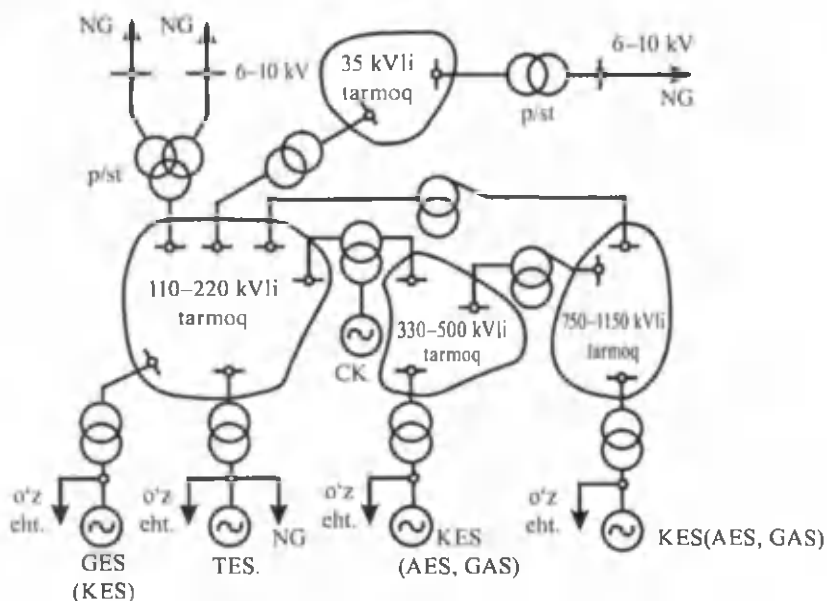
**Davlat rayon elektr stansiyasi (DRES).** Energiya manbalari yaqinida qurilgan katta quvvatli KES va GES lar DRES deyiladi. DRES lar mamlakatning ko'pgina rayonlaridagi elektr iste'molchilarini energiya bilan ta'minlaydi. Shu sababli, ular davlat rayon elektr stansiyasi deb yuritiladi. IESlar esa nisbatan kichik quvvatli bo'ladi va elektr iste'molchilariga nisbatan o'rta joyga quriladi. Shu sababli ular mahalliy stansiyalar qatoriga kiradi.

**Energetik tizim.** Elektr va issiqlik energiyasi ishlab chiqarish, taqsimlash, uni iste'molchilarga yetkazish qurilmalari va bu qurilmalarni o'zaro bog'lovchi elektr va issiqlik tarmoqlari birgalikda energetik sistema deyiladi.

**Elektr tizimi.** O'zaro parallel ishlashga ulangan elektr stansiyalari, elektr energiyasini taqsimlash qurilmalari, elektr uzatish liniyalari va elektr iste'molchilari birgalikda elektr tizimi deyiladi. 8.1-rasmda

elektr tizimning bir chiziqli prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Unda agar IESdagi generatorlar kuchlanishi odatdagiday 6–20 kVt bo'lsa, stansiya yaqinidagi iste'molchilarga elektr energiyasi shu kuchlanishda uzatiladi, uzoqdagi iste'molchilarga esa elektr energiyasini tejamli uzatish va elektr stansiyalarni elektr tizimiga birlashtirish uchun generatorlarning kuchlanishi transformator vositasida kerakli qiymatgacha ko'tariladi.

**Yagona energetik tizimi (YaES).** Rezerv quvvatlarni kamaytirish va energetik tizimlarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshirish maqsadida ayrim energetik tizimlar o'zaro birlashtirilib, yirik energetik tizimisi hosil qilinadi. Hozirgi paytda Mustaqil Davlatlar Hamdo'stligining Yevropa qismidagi 640 ta energotizimi o'zaro birlashtirilgan va unga 1978-yildan boshlab, Sibir Qozog'iston va O'rta Osiyo birlashgan energetik tizimisi qo'shilgan. Natijada umumiy quvvati 220 ming MVT bo'lgan va bir markazda boshqariladigan YaES yaratilgan. Shunday qilib, Mustaqil Davlatlar Hamdo'stligining asosiy yirik sanoat rayonlari iste'molchilari YaESga ulanib, arzon va sifatli elektr energiya bilan ta'minlanmoqda. Mustaqil Davlatlar Hamdo'stligining YaESga qo'shni davlatlarning energotizimlari ham birlashtirilmoqda.



8.1-rasm.

**Elektr tarmoqlari.** Elektr energiyasini iste'molchilarga uzatadigan va taqsimlaydigan qurilmalar elektr tarmoqlari deyiladi. Hozirgi paytda elektr energiyasining taxminan 98 foizi Hamdo'stlik mamlakatlari yagona energetik tizimiga kirgan turli kuchlanishdagi elektr tarmoqlari orqali uzatiladi va taqsimlanadi. Elektr tarmoqni ta'minlovchi va taqsimlovchi, o'zgaruvchan va o'zgarmas tok tarmoqlariga, 1000V gacha va yuqori kuchlanishli, ochiq simli va kabelli, radial va halqali tarmoqlarga ajratish mumkin. Elektr tarmoq tarkibiga elektr uzatish liniyalaridan tashqari, kuchlanish qiymatini va tok turini o'zgartiruvchi transformator va o'zgartkich podstansiyalari hamda taqsimlash qurilmalari RU (распределение устройства) kiradi. Hamdo'stlik mamlakatlarida 750 KV va 1150 KV li elektr tarmog'i ishga tushirilgan, 1500 KV li elektr tarmog'ini ishga tushirish borasida tayyorgarlik ishlari olib borilmoqda.

**Taqsimlash qurilmalari (TQ).** Tok taqsimlovchi shinalar tizimidan hamda kommutatsion va himoya apparatlaridan iborat qurilma taqsimlash qurilmalari deyiladi. Taqsimlash qurilmalarining turi uzatiladigan elektr energiyaning quvvati va kuchlanishiga hamda uzatish liniyalari va ularning tarmoqlari soniga qarab tanlanadi. Ko'pincha taqsimlash qurilmalari ma'lum sxemalarga muvofiq komplekt holda zavod sharoitida ishlab chiqariladi. Bunda ularning hamma uskuna va apparatlari metall shkafarga joylangan bo'ladi. Turli tipdagi ana shunday tayyor taqsimlash qurilmalari guruhidan ularning talab etilgan sxemasini tuzish mumkin.

**Transformator pod (kichik) stansiyasi.** Kuchlanishni o'zgartiruvchi transformatorlar va elektr energiyasini taqsimlovchi qurilmalar birgalikda transformator nadstansiyalari deyiladi.

Transformator nadstansiyalari elektr energiyasi bilan ta'minlash tizimining asosiy zvenosi hisoblanadi.

**Taqsimlash punkti (TP).** Berilgan elektr energiyani qabul qilib olib, uni shu kuchlanishda iste'molchilarga taqsimlaydigan podstansiya qurilmasiga deyiladi.

**Komplekt transformator podstansiyalari.** 1 MVA gacha quvvatli, 6–10, 04–023 kV kuchlanishli, berk korpuslarga o'rnatilgan bitta yoki ikkita transformator, kommutatsion va himoya apparatlari bilan jihozlangan (zavod sharoitida komplektlangan) podstansiya KTP deyiladi. Sanoat korxonalari va qurilish obyektlarida bunday KTP lardan keng foydalaniladi.

**Transformatorlar soni va quvvatini tanlash.** Bitta transformatorli podstansiyalar asosan uchinchi o'rinli (elektr ta'minoti vaqtincha to'xtatilganda baxtsiz hodisalar, avariya sodir bo'lmaydigan) iste'molchilarda qo'llaniladi. Unda ishdan chiqqan transformator o'rniga boshqasi o'rnatilguncha elektr ta'minoti to'xtatiladi yoki ulagichlar orqali vaqtincha rezerv liniyadan foydalaniladi. Buning uchun talab etilgan quvvatning 25–30% iga mo'ljallangan rezerv liniya o'tkazilishi mumkin. Agar iste'molchilarning ko'pchilik qismi birinchi va ikkinchi o'rinli yoki sutkalik va yillik yuklama grafigi o'zgarib tursa, ikki transformatorli podstansiyadan foydalanish tavsiya qilinadi. Bunda har bir transformator umumiy yuklamaning 70 foiziga hisoblanadi. Agar transformatorlardan biri ishdan chiqsa, elektr ta'minot to'xtatilmay, ikkinchisini vaqtinchalik 140% yuklama bilan ishlashi ko'zda tutiladi. Podstansiyadagi transformatorlar soni va quvvatini tanlashda turli variantlarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari o'zaro qiyoslab ko'riladi. Taxminiy hisoblashda, agar yuklama 3000–4000 kVA bo'lsa, 1600–3500 kVA quvvatli transformatorlar tanlanadi. Yuklama undan kichikro bo'lsa, 400, 630, yoki 1000 kVA quvvatli transformator tanlash tavsiya qilinadi.

Transformator soni va quvvatini tanlashda, uning o'ta yuklanish xususiyati hisobga olinadi. Buning uchun sutkalik yuklama grafigida:

$$K_{GT} = \frac{S_y}{S_{max}}$$

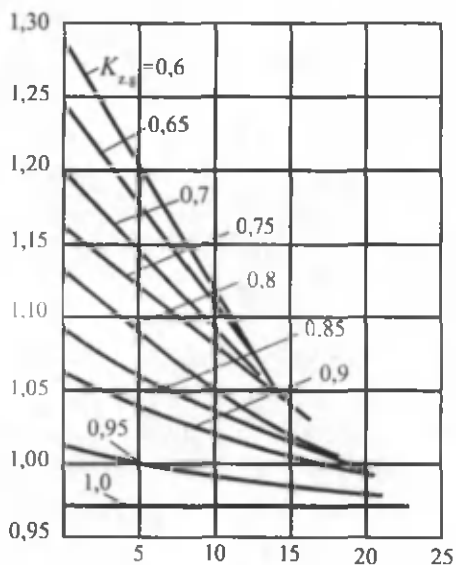
topiladi. Bu yerda:  $K_{gt}$  – grafikni to'lg'azish koeffitsiyenti;  $S_y$ ,  $S_{max}$  yuklamaning (quvvat  $S$  ning) o'rtacha  $S_o$  va maksimum  $S_{max}$  qiymatlari. Sutkadagi maksimum yuklama davomiyligi  $t$  va  $K_{GT}$  koeffitsiyentiga asosan 8.2-rasmdagi diagrammadan:

$$K_H = \frac{S_{max}}{S_H} = \frac{I_{max}}{I_H}$$

topiladi. Bu yerda:  $K_H$  – transformatorning o'ta yuklanish koeffitsiyenti.

$$K_H = \frac{S_{max}}{S_{nom}} = \frac{I_{max}}{I_{nom}}$$

$$S_H = \frac{S_{\max}}{K_H}$$



8.2-rasm.

Ochiq havoda o'rnatilgan transformatorlarning o'ta yuklanishi 30%, berk joydagilarniki esa 20% dan oshmasligi kerak. Avariya hollarida transformatorni 5 sutka davomida 6 soatdan 140 foiz ortiq yuklantirib ishlatishga ruxsat etiladi. Agar yuklama grafigi berilmagan bo'lsa, transformator quvvati hisoblab topilgan maksimal yuklama  $R_{m,ik} = K_E \cdot R_H$  ga asosan aniqlanadi.

Bu yerda:  $R_H$  – elektr iste'molchilarning umumiy nominal quvvati;  $K_E = K_{Y_u} \cdot K_u$  – ehtiyoj koeffitsiyenti;  $K_{Y_u} = R/R_H$  – yuklanish koeffitsiyenti;  $K_u$  – iste'molchilarning bir vaqtda ulanish koeffitsiyenti. Bu koeffitsiyentlar turli tipdagi iste'molchilar uchun jadvallarda berilgan bo'ladi.

**Elektr tarmoqlarini hisoblash** – bu elektr tarmog'i uchun o'tkazgich (mis, aluminiy yoki po'lat bilan aluminiy qotishmasidan iborat ochiq sim yoki kabel) tanlash va ularning ko'ndalang kesimini aniqlashdan iborat. Tarmoq simlari ko'ndalang kesimini to'g'ri hisoblash katta texnik-iqtisodiy ahamiyatga egadir. Darhaqiqat, simning kesimi talabdagiga nisbatan kattaroq olinsa, qimmatbaho rangli metall tejamsiz sarflanib, tarmoq qurilmasi og'irlashadi va qimmatlashadi, kichikroq olinganda esa, tarmoqdagi kuchlanishning tushuvi me'yoridan oshib ketadi. Natijada yorug'lik lampalarining ravshanligi va asinxron motorlarning



aylantiruvchi momenti pasayadi va demak, ishlab chiqarish unumdorligi kamayadi. Sim kesimini to'g'ri tanlash uchun avvalo undan o'tadigan tokni, simning turini va muhitini hisobga olib, jadvaldan simning qizishiga ko'ra hisoblangan uning taxminiy ko'ndalang kesimi topiladi. So'ngra tanlangan sim tarmoqdagi kuchlanishning tushuviga ko'ra qayta tekshiriladi. Tarmoq kuchlanishining tushuvi o'zgarmas tokda:

$$\Delta U = e \cdot i \cdot R_0 l,$$

o'zgaruvchan uch fazali tokda esa:

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R_0 \cos \varphi_2 + X_0 \sin \varphi_2) l$$

bo'ladi. Bu yerda:  $R_0$  – bir km uzunlikdagi ko'ndalang kesimi taxminiy topilgan simning elektr yoki aktiv qarshiligi;  $X_0$  – shu simning induktiv qarshiligi,  $l$  – tarmoq uzunligi,  $I$  – tarmoqdan o'tadigan tok,  $\cos \varphi$  – iste'molchining quvvat koeffitsiyenti (o'rtacha qiymati). Agar hisoblab topilgan  $\Delta U$  qiymati belgilangan 5% dan kam, ya'ni nominal kuchlanish  $U_{2H}$  ning 5% dan ko'p bo'lib chiqmasa, simning qizishiga ko'ra jadvaldan topilgan ko'ndalang kesimi to'g'ri tanlangan, ortiq bo'lib chiqsa, noto'g'ri tanlangan bo'ladi. Bu holda jadvaldan bir shkala katta kesimli sim tanlanib, u  $\Delta U$  bo'yicha qayta tekshiriladi. Agar elektr tarmog'i uchun  $\Delta U$  ning berilgan  $\Delta U_0$  qiymatiga mos keladigan sim kesimini aniqlash kerak bo'lsa, o'zgarmas tokda:

$$S = \frac{2I \cdot 100}{\gamma \Delta U \% U_{1H}}$$

Uch fazali tokda:

$$S = \frac{\sqrt{3} I \cos \varphi_2 l}{\gamma \Delta U_a}$$

ifodalardan foydalaniladi. Bu ifodalarda:

$$\Delta U_a = \Delta U_h \cdot \Delta U_r; \Delta U_r = \sqrt{3} I X_0 \sin \varphi_2 l \cdot r = \frac{M}{0m \cdot mm^2}$$

solishtirma o'tkazuvchanlik.

**Yerga ulash.** Elektr mashinasi, transformator va shu kabi elektrotexnik qurilmalarning biror qismini yer bilan tutashtirish yerga ulash (Ye.u.) deb ataladi.

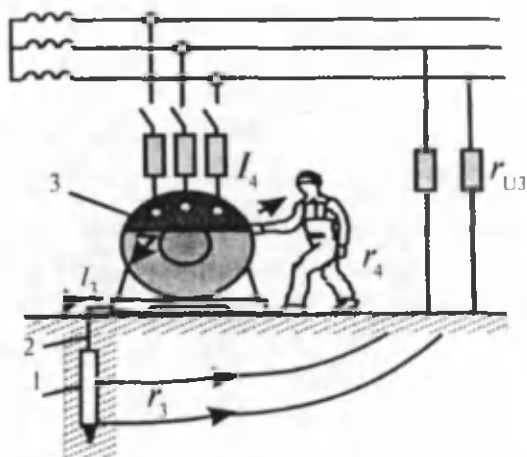
**Yerga ulash qurilmalari.** Elektrotexnik qurilmalardan tok o'tkazuvchi qismlarning izolatsiyasi shikastlanishi natijasida tok qarshiligi turlicha bo'lgan o'tkazgichlar orqali yerga o'tadi. Tok zichligi uning yerga

o'tish joyida anchagina katta bo'ladi, Shu sababli bu joy atrofdagilar uchun xavfli bo'lishi mumkin. Bu xavfni bartaraf qilish maqsadida stansiya, podstansiya, elektr uzatish liniyalari va h.k. larda Yerga ylash qurilmalaridan foydalaniladi. Ular yordamida yerga o'tuvchi tok uchun elektr qarshiligi juda kam bo'lgan qisqa yo'l hosil qilinadi.

**Yerga ulagich.** Yerga ulash qurilmasining asosiy elementi yerga ulagich deyiladi. U yerga bevosita ulangan gorizontaal va vertikal o'tkazgichlar tizimidan iborat bo'lib, tokni yerga o'tkazish uchun xizmat qiladi. Tabiiy yerga ulagich sifatida turli inshootlarning er bilan kontaktdagi tok o'tkazuvchi qismlari—vodoprovod trubalari, fundamentlarning temir armaturalari va shu kabilardan keng foydalaniladi.

**Himoyalash uchun yerga ulash.** Odamlarning elektr tokidan zararlanish xavfini yo'qotish maqsadida elektrotexnik qurilmalarining normal holda, tok o'tmaydigan metall qismlarini yerga ulagichga ulash *himoyalash uchun yerga ulash* deyiladi.

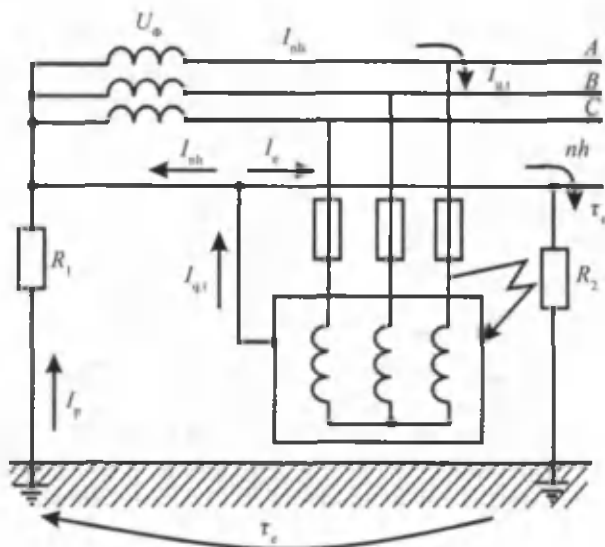
**Ishlatishda yerga ulash.** Elektr temiryo'li, telegraf aloqa qurilmalari va shu kabilarning ishlashida yer ish sxemasi tarkibiga kiradi, ya'ni tok manbaining minusi yerga ulangan bo'ladi. Bunday yerga ulashda er bilan bevosita kontaktda bo'ladigan temir yo'l relsi tok uchun ikkinchi sim vazifasini o'taydi. Uch fazali toklarda esa, ko'pincha ish sxemasiga binoan generator yoki transformatorning nol nuqtasi yerga ulab qo'yiladi. Bu ham ishlatishda yerga ulashning bir xil turi.



8.3-rasm. Elektr qurilmalarining yerga ulanishi.

**Nol simga ulash.** Tok manbaining yerga ulangan nuqtasidan tortilgan simga, ya'ni nol simga elektr iste'molchilarning metall korpusini ulash nol simga ulash deyiladi. Nol simga ulangan elektr iste'molchilari generator yoki transformatorlarning neytrali yerga ulash qurilmasiga bevosita ulanganligi sababli, qisqa tutashish sodir bo'lgan taqdirda avtomatik usulda darhol tok manbaidan ajratiladi. Bu bilan shikastlangan bo'lak xodimlari baxtsiz hodisadan, qurilmalar esa, avariya bilan saqlanib qoladi. Uch faza va nol simlardan iborat 380/220 V li tarmoqlarda nol simga ulash uchun nol simdan foydalanish mumkin.

8.4-rasmda kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan, neytrali yerga ulash qurilmasiga bevosita ulangan elektr qurilma elementlarini nol simga ulash sxemasi ko'rsatilgan. 8.3-rasmda kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan, neytrali yerdan izolatsiyalangan elektr qurilma elementlarini himoyalaydigan yerga ulash sxemasi ko'rsatilgan. Bir tarmoqdan ta'minlanuvchi elektr iste'molchilarning birida nol simga ulashni, boshqasida himoyalash uchun yerga ulanishni qo'llash man etiladi.



8.4-rasm. Elektr qurilmalarining simga ulanishi.

## 8.2. Qayta tiklanadigan energosistemalar. Quyoshdan quvvat oladigan suv isitgichlar

Quyoshdan quvvat oladigan suv isitgich moslamalar quyosh kollektorlari orqali suv haroratini oshirish uchun quyosh nurlari energiyasidan foydalanadi. Shaffof qoplamali havo o'tkazmaydigan korpusli, qora rangga bo'yalgan, suv o'tkazgich naychalarga ega singdiruvchan metall plastina va korpusining orqa hamda yonbosh devorlarida issiqlikni yo'qotmaslik uchun izolatsiyalangan yassi quyosh kollektorlari keng tarqalgan.

Sovuq hududlarda esa muzlashdan himoyalangan kollektorlar qo'llaniladi. Aksariyat hollarda bunga yopiq sirkulatsiya tizimidan foydalanish orqali erishiladi. Bu tizimda issiqlik o'tkazuvchi suyuqlik (suvga nisbatan unchalik muzlamaydigan) quyosh kollektori orqali aylanib, hosil bo'lgan issiqlikni rezervuardagi suvga issiqlikni almashtirib beruvchi qurilma yordamida uzatadi.

Quyosh nuridan quvvat oladigan suv isitgichlarda foydalaniladigan suv to'plagich rezervuarlar tizimining passiv va aktiv turi mavjud.

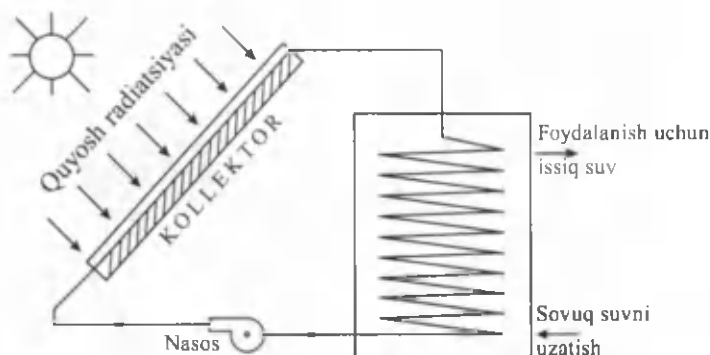
Passiv tizimlarda rezervuar quyosh kollektoridan yuqorida joylashtiriladi. Bundan ko'zlangan maqsad issiqlik yetkazib beruvchi sovuq, suyuqlik suv to'plagich rezervuar tubida joylashgan issiqlikni almashtirib beruvchi qurilmadan o'tadigan chiqarish quvuri orqali kollektorlarga quyilishi lozim. So'ngra issiqlik o'tkazuvchi suyuqlik quyosh nurlari yordamida qizib, kollektor orqali ko'tariladi va kollektorning yuqori qismida joylashgan chiqish quvuri orqali issiqlikni almashtirib beruvchi qurilmaga qaytadi. Bu majburiy aylantirish uchun nasosdan foydalanmasdan issiqlik o'tkazuvchi suyuqlikning kollektor orqali uzluksiz oqimni tashkil etadi.

Passiv tizimlarning ikkita—yopiq qo'shqavat va o'z oqimi bilan uzatiladigan turi mavjud. Yopiq-qo'shqavat tizimlarda gorizontal suv to'plagich rezervuar bevosita kollektorning ustida—tomda montaj qilinadi. Bu tizim uni montaj qilishga ketadigan xarajatlarga nisbatan ancha tejamli hisoblanadi. Biroq, uning unumdorligi yilning salqin va sovuq vaqtlarida suv to'plagich rezervuarda issiqlikning yo'qotilishi sababli pasayadi. Suv to'plagich rezervuarda issiqlikning yo'qotilishini kamaytirish uchun uni qo'shimcha izolatsiyalash yoki bu rezervuarni imoratning tomiga joylashtirish mumkin.

O'z oqimi bilan uzatiladigan tizimda suv to'plagich rezervuar tom ustiga o'rnatiladi. Bunday tizim eng arzon hisoblanadi, biroq, uydagi suv

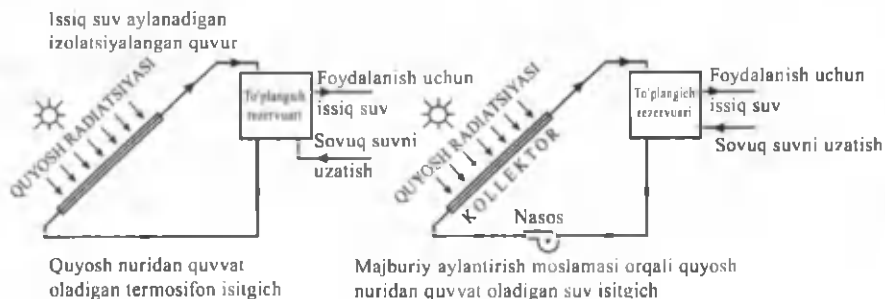
quvurlari tizimi suyuqlikning o'z oqimi bilan oqishi talablariga javob berishi, jumladan suv isitgich va jo'mrak o'rtasidagi quvur diametri ham katta bo'lishi lozim.

Aktiv tizimlarda Quyosh kollektori tomda o'rnatiladi, suv to'plagich rezervuarni esa yerda yoki biron-bir qulay joyda o'rnatish mumkin. Suv yoki issiqlik yetkazib beruvchi suyuqlik majburiy aylanishni ta'minlab beruvchi kichik elektr nasos yordamida kollektor orqali tortib chiqariladi. Aktiv tizimlar odatda passiv tizimlarga qaraganda juda qimmat turadi.



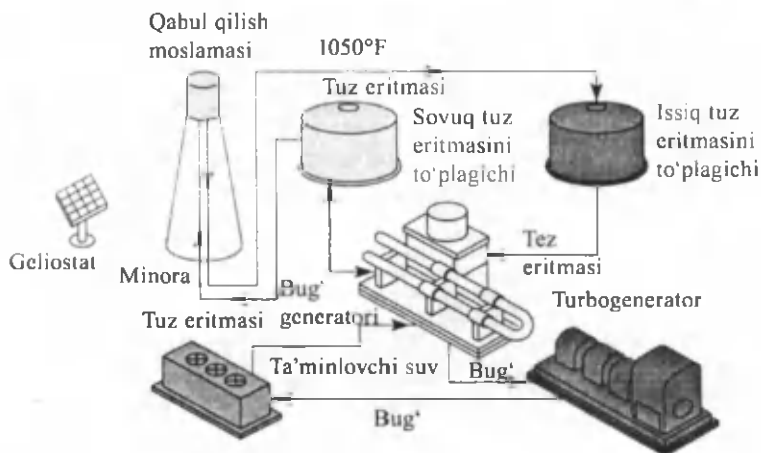
**Issiqlikni almashtirib beradigan qurilma o'rnatilgan va muzlashdan himoyalangan quyoshdan quvvat oladigan suv isitgich tizimining sxemasi.**

*Manba:* BMT Taraqqiyot dasturi. «O'zbekistonda qayta tiklanadigan energiyani rivojlantirish bo'yicha milliy strategiyani ishlab chiqishga doir umumiy tadqiqotlar» loyihasi bo'yicha hisobot.



**Quyosh nuridan quvvat oladigan passiv va aktiv suv isitgich tizimlarning soddalashtirilgan sxemalari.**

## Quyosh elektr stansiyalari



To'yintiruvchi quyosh energetika qurilmalari turli shaklli ko'zgularday yordamida quyosh nurlarini energiya tashuvchining yuqori haroratli issiqlik energiya manbaiga aylantiradi. Issiqlik bug' turbinasiga o'tib, turbogenerator yordamida elektr energiyasiga aylantiriladi. Bu texnologiyalar quyosh energiyasidan o'rtacha quvvatga ega energetika qurilmasi shaklida uzoq muddat foydalanish imkonini beradi va odatda ikki qismdan iborat bo'ladi: *birinchisi* quyosh energiyasini to'plab, uni issiqlik energiyasiga aylantiradi, *ikkinchisi* issiqlik energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi.

Quyosh energiyasini to'yintiradigan yirik tizimlarning ikkita turi mavjud: energetika minorasi va parabola-silindrsimon to'yintirgichlar.

Energetika minorasi tizimi quyosh energiyasini minora tepasida joylashgan qabul qilish moslamasida to'playdi.

Ushbu maqsadda yuzlab va hattoki, minglab geliostatlardan foydalaniladi. Bu energiya qabul qilish moslamasi orqali o'tadigan erigan tuzni qizdiradi va so'ngra tuz energiyasidan oddiy bug' generatorida elektr energiyasini ishlab chiqarishda foydalaniladi. Erigan tuz issiqlikni yaxshi to'playdi va shu bois undan elektr energiya ishlab chiqarish maqsadida ko'plab soat va hatto kunlar davomida issiqlik saqlanishi mumkin. Erigan tuz birinchi generatordan «sovuq» rezervuargayaytadi. Keyin erigan tuz «sovuqlik» rezervuardan qabul qilish moslamasi orqali

270°C haroratda tortib olinadi va 550°C gacha qizdiriladi, so'ngra bu eritma saqlash uchun «issiq» rezervuarga o'tadi.

Qurilmadan elektr energiyasi talab qilinganida issiq, tuz eritmasi bug' hosil qiladigan tizimga o'tkaziladi. Bu tizim bug' turbinasini harakatga keltirish uchun o'ta qizigan bug' ishlab chiqaradi. Tuz eritmasi bug' generatoridan «sovuq» rezervuarga qaytadi.

Parabola-silindsimon tizimlarda quyosh energiyasi parabola shaklidagi reflektorlar yordamida qiyshaygan yuzaning ichki qismidan aylanib o'tadigan quvur shaklidagi qabul qilish moslamasida to'planadi. Quyosh energiyasi quvur orqali oqib o'tadigan moyni qizdiradi, so'ngra issiqlik energiyasidan oddiy bug' generatorida elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun foydalaniladi. Parabola-silindsimon tizimlar shimoli-janubiy o'qqa yo'naltirilgan tarzda parallel qatorlarda yig'iladi. Bu esa ularni quyosh nurlarini qabul qilish quvurlariga tushishini ta'minlashi uchun Sharqdan G'arbgacha yo'naltirish imkonini beradi. Ayni paytda parabola-silindsimon tizimlar 80 MVt quvvatga yetishi mumkin. Bunday tizim konstruksiyasi bir necha soat mobaynida va quyosh botganidan so'ng ham, elektr energiyasini ishlab chiqarish imkonini beradigan issiqlik to'plagich moslamani ham o'z ichiga olishi mumkin.

Quyosh energiyasini to'yintiradigan tajriba qurilmalaridan foydalanish tajribasi shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqarilgan elektr energiyasining joriy qiymati kVt/soat uchun taxminan 0,1–0,13 AQSH dollarini tashkil etadi. Ilg'or texnologiyalar va kam mablag' talab qiladigan issiqlik to'plagich moslamalardan foydalanish quyosh energiyasi bilan to'yintirgichlar kelajakda qurilmalarga kun davomida ishlash va kechasi ham elektr energiyasini ishlab chiqarish imkonini beradi. Taxminlarga ko'ra, bu quyosh energiyasi bilan to'yintiradigan texnologiyalar narxini taxminan 0,04–0,05 AQSH dollari kVt/soat ga kamaytiradi [BMTTD loyiha hisoboti 2006].

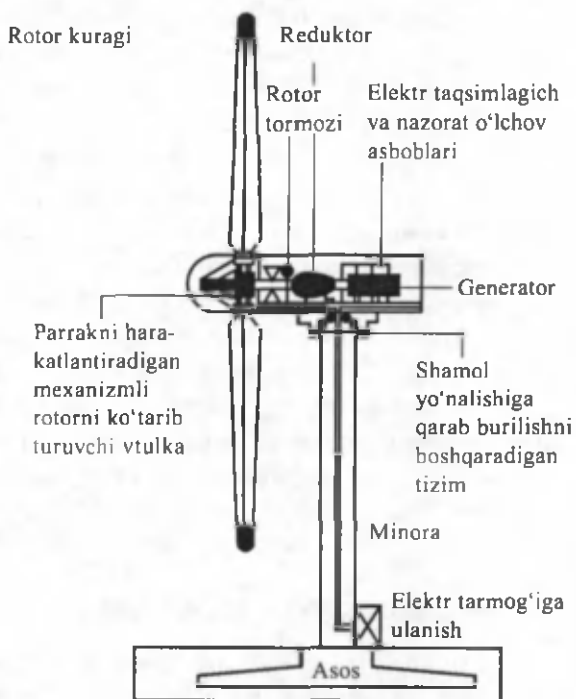
## SHAMOL GENERATORLARI

**Shamol energiyasidan** mexanik yoki elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun foydalanish mumkin. Bu energiya esa bevosita shamol tezligiga bog'liq. Shamol generatorining standart turbinasi quvursimon po'lat tirgakda joylashgan uch parrakli rotordan iboratdir. Buriilish mexanizm rotorni shamol esayotgan tomonga yo'naltirib turadi. Rotor reduktor va asinxron generatorni ishga tushiradi. Ko'pgina shamol

generatorlari sekundiga 3–4 metrdan yuqori tezlik bilan esadigan shamol yordamida ishlaydi va turbina turi hamda shamol kadastriga qarab, sekundiga 8–25 metr tezlikda esadigan shamol yordamida maksimal quvvatga ega bo‘ladi. Odatda, maksimal ishlash tezligi sekundiga 25–30 metrni tashkil etadi.

Shamol generatorlari olisdan turib boshqarilishi va nazorat qilinishi, alohida yoki bir qancha yoxud ko‘plab qurilmalardan iborat yirik shamol fermasi sifatida o‘rnatilishi mumkin. Bunday fermalarga birlashtirilgan shamol generatorlaridan asosiy energiya tizimi uchun elektr tarmog‘ining yuklamasini boshqarishda foydalanish mumkin.

### Namunali shamol generatori tuzilishi



*Manba:* BMT Taraqqiyot dasturi: «O‘zbekistonda qayta tiklanadigan energiyani rivojlantirish bo‘yicha milliy strategiyani ishlab chiqishga doir umumiy tadqiqotlar» loyihasi bo‘yicha hisobot.



---

---

## GLOSSARIY

- Energetika** – energetika resurslari, turli xil energiyani ishlab chiqarish, yetkazib berish, qayta o'zgartirish, jamg'arish, taqsimlash va iste'mol qilishni o'z ichiga oluvchi iqtisodiyot, fan va texnika tarmog'i.
- Energetika tizimi** – bir-biriga ulangan va elektr energiyasi hamda issiqlikni uzluksiz ishlab chiqarish, o'zgartirish va taqsimlashda umumiy rejimni boshqarishda bir-biri bilan bog'liq bo'lgan elektr stansiyalar, elektr va issiqlik tarmoqlari majmui.
- Energiya tashuvchi** – g'amlangan energiyasidan energiya bilan ta'minlash uchun foydalanish mumkin bo'lgan turli agregat holatidagi modda (qattiq, suyuq, gazsimon) yoki materiyaning boshqa shakli (plazma, maydon, nurlanish va hokazo).
- Yoqilg'i-energetika resurslari** – g'amlangan energiyasidan texnika va texnologiyalar rivojlangan mavjud sharoitda xo'jalik faoliyatida foydalaniladigan tabiiy qazilma yoqilg'i va ishlab chiqariladigan energiya tashuvchilar majmui.
- Qayta tiklanadigan** – yoqilg'i-energetika resurslari – tabiiy jarayonlar natijasida muntazam to'ldiriladigan tabiiy energiya tashuvchilari. Qayta tiklanadigan yoqilg'i-energetika resurslari qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishga asoslangan:
- quyosh nurlari, shamol, daryolar, dengizlar va okeanlar energiyasi, Yer sharining ichki issiqligi;

- o'simlikshunoslik va chorvachilik, sun'iy o'rmonlar va suv o'tlari chiqindilari sifatida olinadigan barcha turdagi biomassadan foydalanish asosida hosil bo'ladigan energiya;
  - sanoat ishlab chiqarish, qattiq, maishiy chiqindilar va oqova suvlar cho'kindilari-dan olinadigan energiya;
  - o'simlik biomassasini bevosita yoqishdan olinadigan energiya.
- Noan'anaviy qayta tiklanadigan energiya manbalari**
- gidroenergiya va o'simlik biomassasini bevosita yoqish natijasida olinadigan energiyadan tashqari, barcha turdagi qayta tiklanadigan energiya.
- Qayta tiklanadigan energetika**
- qayta tiklanadigan manbalar energiyasini energiyaning boshqa turlariga aylantirish bilan bog'liq energetika sohasi.
- Shamol energetikasi**
- mexanik, issiqlik yoki elektr energiyasini olish uchun shamol energiyasidan foydalanish bilan bog'liq energetika sohasi.
- Gidroenergetika**
- elektr energiyasini olish uchun suv resurslarining mexanik energiyasidan foydalanish bilan bog'liq energetika sohasi.
- Quyosh energetikasi**
- quyosh energiyasini elektr va issiqlik energiyasiga aylantirish bilan bog'liq energetika sohasi.
- Quyosh issiqlik ta'minoti**
- turli iste'molchilarni isitish, issiq, suv bilan ta'minlash va texnologik ehtiyojlarini qondirish uchun quyosh nurlari energiyasidan foydalanish.
- Quyosh, issiq suv ta'minoti**
- turli iste'molchilarning kommunal-maishiy va texnologik ehtiyojlarini ta'minlash maqsadida suvni isitish uchun quyosh nurlari energiyasidan foydalanish.
- Quyosh elementi**
- turli jismoniy prinsiplari asosida quyosh nurlari energiyasini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirgich.

- Quyosh fotoelektr elementi** – fotoeffekt asosidagi quyosh elementi.
- Quyosh kollektori** – quyosh nurlari energiyasini singdirish va uni issiqlik energiyasiga aylantirish qurilmasi.
- Quyosh energiyasi konsentratori** – quyosh nurlari oqimining zichligini oshirish uchun nurlarni aks ettirish va yoʻnalishini oʻzgartirishga asoslangan optik moslama.
- Quyosh, issiq suv taʼminoti tizimi** – quyosh energiyasidan suvni isitish uchun foydalanadigan va mazkur isteʼmolchini issiq, suv bilan taʼminlashni qisman yoki toʻliq qoplaydigan tizim.
- Quyosh yordamida isitishning aktiv tizimi** – mazkur isteʼmolchini issiqlik bilan qisman yoki oʻliq taʼminlash maqsadida quyosh kollektorlaridagi issiqlik tashuvchini isitish uchun quyosh energiyasidan foydalanadigan tizim.
- Quyosh yordamida isitishning passiv tizimi** – binolar va inshootlar tuzilishining tarkibiy qismlari quyosh energiyasini qabul qiluvchi moslama va akkumulatorlari hisoblanganda, quyosh kollektorlari hamda maxsus uskunalarni qoʻllamasdan mazkur isteʼmolchini issiqlik bilan qisman yoki toʻliq, taʼminlash uchun quyosh energiyasidan foydalanadigan tizim.
- Quyosh issiqlik taʼminoti tizimi** – mazkur isteʼmolchini issiqlik va issiq suv bilan taʼminlashni qisman yoki toʻliq qoplash uchun quyosh energiyasidan foydalanadigan tizim.
- Shamol energetikasi qurilmasi** – shamol energiyasini elektr energiyasiga aylantiradigan qurilma.
- Sarmoyador** – qimmatli qogʻozlarni sotib oluvchi, ushbu qogʻozlarning u yoki bu turini tanlashda avvalo tavakkalchilikni kamaytirish haqida oʻylaydigan shaxs.

**Birlashgan Millatlar  
Tashkilotining Iqlim  
o'zgarishi oldini olish  
to'g'risidagi muvaqqat  
konvensiyasi  
(BMT IO'MK)**

– Konvensiya 1992-yil 9-mayda Nyu-Yorkda qabul qilingan va shu yili Rio-de-Janeyroda imzolangan. Uning yakuniy maqsadi «Atmosfera issiqxona gazlari quyuqligini iqlim tizimiga xavfli antropogen ta'sir ko'rsatishga yo'l qo'ymaydigan darajada bir xil saqlash» dan iborat. Ushbu Konvensiya tomonlarning barcha majburiyatlarini o'z ichiga olgan.

**Kioto protokoli**

– Kioto protokoli 1997-yilda BMT IUMK Tomonlari konferensiyasining Kioto shahrida (Yaponiya) bo'lib o'tgan uchinchi sessiyasida qabul qilingan. Ushbu hujjat BMT IO'MK ga kiritilgan qoidalarga qo'shimcha tarzida huquqiy jihatdan majburiy qoidalarni ham o'z ichiga olgan. Ushbu protokol doirasida B ilovaga kiritilgan mamlakatlar (aksariyat rivojlangan mamlakatlar va o'tish davri iqtisodiyotini boshdan kechirayotgan mamlakatlar) majburiyatlar amal qilinadigan 2008–1012-yillarda o'zlarining issiqxona gazlari antropogen chiqindilarini 1990-yildagi darajaga nisbatan kamida 5 foizga kamaytirishga kelishib oldi.

**Issiqxona gazlari**

– bu atmosferaning gazsimon tarkibiy qismi bo'lib, u Yer shari yuzasi, atmosfera va bulutlar tarqatadigan infra qizil nur spektri doirasida nurlarni o'ziga singdiradi va aniq to'lqin uzunligida nurlanadi. Yer shari atmosferasida asosiy issiqxona gazlari quyidagilar hisoblanadi: suv bug'i ( $N_2O$ ), uglerod dioksidi ( $SO_2$ ), azot oksidi ( $N_2O$ ), metan ( $SN_4$ ) va ozon ( $O_3$ ). Kioto protokolida  $SO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$  dan tashqari, oltingugurt geksaftoridi ( $SF_6$ ), gidroftoruglerodlar (GFU) va perftoruglerodlar (PFU) ko'rib chiqilmoqda.

---

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Karimov A.S., Mirxaydarov M.M.* va boshq. Elektrotexnika va elektronika asoslari. Darslik – T.: «O'qituvchi». 1995. 469 b.
2. *Majidov S., Shoyimov Y.* va boshq. Elektromexanik uskunalar va ularni avtomatlashtirish asoslari. O'quv qo'llanma. – T.: «O'qituvchi». 2002. 142 b.
3. *Baratov R., Shoyimov Y.* va boshq. Elektr yuritma va jihozlarni ishga tushirish hamda tamirlash. O'quv qo'llanma – T.: «G'afur-G'ilom» nashriyoti. 2008–158 b.
4. *Шухин А.Я.* и др. «Электротехника». Учебник для ПТУ. – М.: «Высшая школа». 1991. 336 с.
5. *Jabbarov N.G., Yakubov M.S.* «Elektrotexnika va elektronika asoslaridan masalalar to'plami». – T.: «Uzinkomsentr». 2004.
6. *Касаткин А.С.* Основы электротехники. Учебное пособие для ПТУ. – М.: «Высшая школа». 1986. 287 с.
7. *Amirov S.F., Jabborov N.G', Yakubov M.S.* «Elektrotexnikaning nazariy asoslari. 1, 2, 3-qismlar. – T.: TTYMI. 2007. 430 b.
8. O'zbekistonda qayta tiklanadigan energetikani rivojlantirish istiqbollari. UNDP. – Toshkent. 2007.
9. [www.lalls.narod.ru/Literature/Elektrotexnika](http://www.lalls.narod.ru/Literature/Elektrotexnika)
10. [www.undp.uz](http://www.undp.uz),  
[www.uzbekenergodak.uz](http://www.uzbekenergodak.uz).

---

## MUNDARIJA

KIRISH.....	3
-------------	---

### I BOB

#### O'ZGARMAS TOK ZANJIRLARI

1.1. Chiziqli o'zgarmas tok zanjirlari va uning elementlari .....	10
1.2. Murakkab o'zgarmas tok elektr zanjirlarini hisoblash usullari .....	17

### II BOB

#### CHIZIQLI O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLAR

2.1. Chiziqli o'zgaruvchan tok zanjirlari .....	21
2.2. Keima-ket ulangan $r$ , $l$ va $s$ elementli elektr zanjirida sinusoidal tok. Kuchlanishlar va qarshiliklar uchburchagi. Toklar va o'tkazuvchanliklar uchburchagi .....	29
2.3. Elektr zanjirlarida rezonans jarayonlari .....	35

### III BOB

#### UCH FAZALI O'ZGARUVCHAN TOK ELEKTR ZANJIRLARI

3.1. Uch fazali o'zgaruvchan tok elektr zanjirlari haqida tushuncha .....	43
3.2. Nosimmetrik uch fazali zanjirlar va ularni hisoblash .....	50

### IV BOB

#### TRANSFORMATORLAR VA ELEKTROTEXNIK QURILMALAR

4.1. Transformatorning vazifasi va qo'llanish sohasi.....	54
4.2. Uch fazali transformatorlar.....	61
4.3. Elektr o'lchashlar va asboblari.....	67

### V BOB

#### O'ZGARMAS TOK ELEKTR MASHINALARI

5.1. O'zgarmas tok elektr mashinalari.....	73
5.2. O'zgarmas tok motorlari.....	80

5.3. Asinxron mashinalar .....	88
5.4. Sinxron elektr mashinalari.....	97

### **VI BOB**

#### **ELEKTRONIKA ASOSLARI**

6.1. Elektronika asoslari.....	107
6.2. Elektron kuchaytirgich va generatorlar.....	116

### **VII BOB**

#### **ELEKTR YURITMA. ELEKTR YURITMANI BOSHQARISH**

7.1. Elektr yuritma. Elektr yuritmani boshqarish .....	120
7.2. Boshqarish elektr asboblari.....	126

### **VIII BOB**

#### **ELEKTR TA'MINOT. ENERGOSISTEMALAR XAQIDA TUSHUNCHALAR**

8.1. Elektr ta'minot. Energosistemalar haqida tushuncha.....	138
8.2. Qayta tiklanadigan energosistemalar. Quyoshdan quvvat oladigan suv isitgichlar.....	148
<b>GLOSSARIY</b> .....	153
<b>FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI</b> .....	157

3800 с.м.

**SHOYIMOV YO'LCHI YUSUPOVICH**

**ELEKTROTEXNIKA  
VA ELEKTRONIKA ASOSLARI**

*Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma*

Muharrir: *G. Azizova*

Badiiy muharrir: *J. Gurova*

Texnik muharrir: *D. Salixova*

Kompyuterda tayyorlovchi: *B. Bahaxodjayeva*

«NISO POLIGRAF» ShK, Toshkent sh., H. Boyqaro ko'chasi, 41-uy.

Nashriyat litsenziyasi AI №211. 26.03.2012.

«VORIS-NASHRIYOT», Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30.

Nashriyat litsenziyasi AI №195. 28.08.2011.

Original maketdan bosishga ruxsat etildi 23.11.2012. Bichimi 60×84<sup>1/16</sup>.

Shartli b.t. 10,0. Nashr b.t. 9,3. Adadi 420 nusxa.

Buyurtma №633.

«Niso Poligraf» ShK bosmaxonasida bosildi.

100182, Toshkent sh., H. Boyqaro ko'chasi, 41.