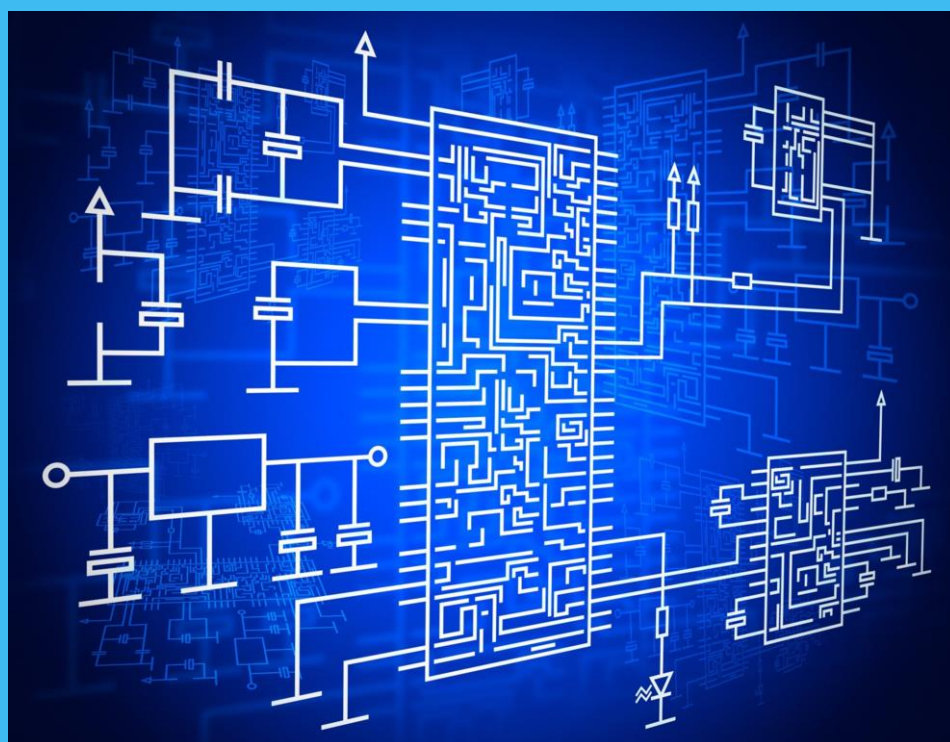


O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

B. Abdullayev, A.A. Alimov  
E.X. Abduraimov, D.X. Xalmanov

# ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA



Toshkent 2022

UDK 621.3.073

BBK

KBK

**Elektrotexnika va elektronika.** B. Abdullayev, A.A. Alimov, E.X. Abduraimov, D.X. Xalmanov. Darslik. "ToshDTU",-T.: 2022 y., 326 bet.

**Taqrizchilar:**

**Toirov O.Z.-** texnika fanlari doktori (DSc), professor;

**Sattarov X.A.-** texnika fanlari nomzodi, professor;

Darslik "Elektrotexnika va elektronika" fanining o'quv dasturi asosida tuzilgan bo'lib, unda fanning o'zgaras va o'zgaruvchan tok zanjirlari, uch fazali o'zgaruvchan tok zanjirlari, transformatorlar, o'zgaruvchan va o'zgaras tok elektr mashinalari, elektronika qismidan, yarim o'tkazgichli asboblari, impul'sli va raqamli texnika qurilmalari mavzulari batafsil yoritib berilgan. Darslik oliy o'quv yurtlarining noelektrotexnik bakalavriat va magistratura ta'lim yo'nalishlari bo'yicha tahsil olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan. Darslikdan doktorantlar va soha mutaxassislari ham foydalanishlari mumkin. Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan darslik sifatida tavsiy etilgan (Grif 388-250).

\*\*\*

Учебник основан на учебной программе предмета «Электротехника и электроника», который включает в себя цепи постоянного и переменного тока, цепи трехфазного переменного тока, трансформаторы, электрические машины переменного и переменного тока, электронику, полупроводниковые приборы, импульсные и цифровые устройства. Учебник предназначен для студентов и аспирантов неэлектротехнических специальностей. Учебник также может быть использован докторантами и специалистами в данной области. Рекомендовано в качестве учебника Министерством высшего и среднего специального образования (Гриф 388-250).

\*\*\*

The textbook is based on the curriculum of the subject "Electrical Engineering and Electronics", which includes DC and AC circuits, three-phase AC circuits, transformers, AC and AC electrical machines, electronics, semiconductor devices, impulse and digital devices. The textbook is intended for students and graduate students of non-electrotechnical specialties. The textbook can also be used by doctoral students and specialists in the field. Recommended as a textbook by the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education (Grift 388-250).

## Kirish

Hozirgi zamon elektr energetikasi va sanoat elektronikasi sohalarini ajralmas qismi bo'lgan "Elektrotexnika va elektronika" fanining rivojlanishi va insoniyat turmush tarziga jadal kirib borishi- elektr energiyasini ishlab chiqarish, masofaga uzatish va taqsimlash, turli xil signallarni o'zgartirish muammolarini yechish imkonini berishi bilan izohlash mumkin.

Fanning elektrotexnika qismida — elektr zanjirlarida, elektromagnit maydonlarda elektr va magnit energiyalarining xosil bo'lishi, o'zgarish qonuniyatlarini, hamda elektr energiyasini amaliy maqsadlarda qo'llanilishini o'rganiladi. Elektronika qismida esa yarim o'tkazgichli asboblarning tuzilishi, ishlash prinsipi, tavsiflari shuningdek ular asosida yaratilgan elektron, impulsli va raqamli zamonaviy qurilmalarning signallarni o'zgartirish va boshqarish asoslari o'rganiladi.

"Elektrotexnika va elektronika" fanining rivojlanishiga buyuk fizik olimlar: G. Om, E. Lens, D. Joul, G. Kirxgof, M. Faradey, J. Maksvell, T. Edison va boshqalar asos solgan bo'lib, 1827 yilda nemis olimi Om tok, kuchlanish va qarshiliklarning orasida o'zaro bog'lanish qonunini yaratdi. 1833 yilda T. Edison electron asboblarning yaratilishiga asos solgan. 1842 yilda rus olimi E. Lents va ingliz olimi D. Djoullar elektr tok energiyasining issiqlik energiya o'zgartirish qonuniga asos soldi. 1845 yilda G. Kirxgof elektr tok zanjirlarini hisoblash uchun asosiy qonunlarni tadbiq etdi.

Elektr energiyasi boshqa turdagi (mexanik, issiqlik, yorug'lik, kimyoviy va x.k) energiyalardan quyidagi afzalliklarga ega:

- ❖ elektr energiyasi boshqa turdagi energiyalarga ya'ni, mexanik, issiqlik, yorug'lik, kimyoviy energiyalarga oson aylanadi;
- ❖ elektr energiyasini uzoq masofalarga kam quvvat isrofi bilan uzatish mumkin (foydali ish koeffitsienti 85%);

❖ elektr energiyasini iste'molchilar orasida quvattning bir necha ulushidan, bir necha killovattlargacha taqsimlash mumkin;

❖ elektr energiyasini ishlatishda elektr qurilmalari oson avtomatlashtiriladi.

Yuqoridagi afzalliklaridan kelib chiqib elektr energiyasidan bugungi kunda xalq xujaligining barcha soxalarida keng qo'llanilmoqda. Shuning uchun ham texnika sohasida bakalavr darajasiga ega bo'lgan mutaxassislar ixtisosligidan qat'iy nazar etarli darajada elektrotexnik bilim va kunikmalarga ega bo'lishi kerak.

## KALITLI SO‘ZLARNING IZOHLI LUG‘ATI

**Elektr zanjiri** – elektr toki oqib o‘tishini ta’minlaydigan elementlar jamlamasi.

**Elektr energiya manbalari** – energiyani boshqa turlarini elektr energiyasiga aylantiruvchi elektr zanjir elementi.

**Elektr zanjirida tarmoq** - elektr zanjirining ma’lum bir qismi bo’lib, ketma-ket birlashtirilgan qarshiliklar (rezistorlar), energiya manbalari va hokazolardan iborat.

**Tugun** - elektr zanjirining uchta va undan ortiq tarmoqlarining birlashgan joyi.

**Kontur**- zanjirining bir necha tarmoqlaridan iborat yopiq yo’l.

**Kontur toki** – alohida olingan konturdan o‘tayotgan tokning qiymati.

**O‘zgaruvchan tok** – vaqt birligi ichida qiymat va yo‘nalishi o‘zgaradigan tok.

**Sinusoidal tok** – sinus qonuniyati bilan o‘zgaruvchan tok.

**Effektiv** (ta’sir etuvchi) **qiymat** – teng vaqt davomida o‘zgarmas va o‘zgaruvchan tokda ajralib chiqadigan energiya qiymatlarini o‘zaro tengligini ta’minlaydigan o‘zgarmas tokning qiymati o‘zgaruvchan tokning effektiv qiymati deb ataladi.

**Davr** – sinusoidal tokni bir to‘la o‘zgarishi uchun ketgan vaqt.

**Chastota** – o‘zgaruvchan tokni bir sekunddagi o‘zgarishlar soni.

**Boshlang‘ich faza** - vaqt nolga tengligida sinusoidal tokning o‘qiymatini belgilovchi burchak.

**Aktiv element** – elektr energiyasini issiqlik energiyasiga aylantiruvchi elektr zanjir elementi.

**Induktiv element** – magnit maydon energiyasini jamlash xususiyatiga ega bo‘lgan elektr zanjir elementi.

**Sig‘im elementi** – elektr maydon energiyasini jamlash xususiyatiga ega bo‘lgan elektr zanjiri elementi.

**Aktiv quvvat** – elektr zanjirida foydali ish uchun sarf bo‘ladigan quvvat.

**Reaktiv quvvat** – elektr zanjirini elementlarida magnit maydon va elektr maydon xosil qilish uchun sarf bo‘ladigan quvvat

**Uch fazali sinxron generator**- mexanik energiyani uch fazali o‘zgaruvchan tok elektr energiyasiga aylantirib beruvchi elektr mashinasi.

**Faza toki** – iste'molchi faza qarshiligidan o'tuvchi tok.

**Faza qarshiligi** – uch fazali iste'molchini sinxron generatorni faza cho'lg'amlariga ulanuvchi qarshilik.

**Faza kuchlanishi** – istemolchining faza qarshiligidagi kuchlanish pasayishi yoki istemolchini neytral nuqtasi bilan ixtiyoriy liniya simi orasidagi kuchlanish.

**Liniya kuchlanishi** – ixtiyoriy ikkita liniya simlari orasidagi kuchlanish.

**Neytral (nolinchi) sim** – elektr energiya manbasini hamda uch fazali istemolchini neytral (nulinchi) nuqtalarni o'zaro birlashtiruvchi sim.

**Neytral tok** – neytral sim orqali o'tuvchi tok.

**Simmetrik uch fazali istemolchi** – faza qarshiligini qiymatlari o'zaro teng bo'lgan istemolchilar.

**Nosimmetrik uch fazali istemolchi** – faza qarshiligini qiymatlari turlicha bo'lgan istemolchilar.

**Transformatorni magnit o'zagi** – elektrotexnik po'lat tunkachalardan yig'ilgan o'zak.

**Birlamchi cho'lg'am** – elektr energiya manbasiga ulanuvchi miss cho'lg'am.

**Ikkilamchi cho'lg'am** – elektr energiya istemolchilari ulanuvchi miss cho'lg'am.

**Past kuchlanishli cho'lg'am** – ikkilamchi cho'lg'am.

**Transformator moyi** – transformatorni sovutish tizimida ishlatiladigan, maxsus tarkibga ega bo'lgan moy.

**Transformator** – o'zgaruvchan tokni chastotasini o'zgartirmagan xolda kuchlanishini o'zgartiruvchi statik apparat.

**Salt ishlash toki** – pulat uzakni magnitlash uchun maydon xosil qiluvchi tok.

**Transformatoridagi quvvat nobudgarchiliklari** – transformatorlarni pulat uzagini hamda miss simdagi quvvat isrofgarchiligi.

**Kuchlanish pasayishi** – transformator ikkilamchi chulg'amida yuklama oshishi bilan kuchlanish qiymatini pasayishi (kamayishi).

**Uch fazali transformator** – yagona uzakka ega bo'lgan, uch fazali birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardan iborat bo'lgan transformator.

**Avtotransformator** – ikkilamchi chulg'ami birlamchi chulg'amni bir qismini tashkil etuvchi hamda chqish kuchlanishini oxista o'zgartirish imkoniyatiga ega bo'lgan transformator.

**Ulchash transformatori** – elektr ulchov asboblarini shkalalarini «kengaytirish» imkoniyatiga ega bo'lgan transformatorlar.

**Payvandlash transformatori** – metallni payvandlash uchun «qisqa tutashuv» rejimida ishlashga muljallangan transformator.

**O'zgarmas tok generatori** – mexanik energiyani o'zgarmas tok elektr energiyasiga aylantiruvchi elektr mashinasi.

**Magnit qutblari** – o'zgarmas tok mashinasini asosiy magnit maydonini xosil qiluvchi o'zgarmas tok elektromagniti.

**Yakor** – birlamchi motor yordamida xarakatga keltiruvchi, chulg'amlarida o'zgaruvchan E.Yu.K. xosil bo'luvchi generator qismi.

**Kollektor sho'tka qurilmasi** – o'zgaruvchan E.Yu.K.ni o'zgarmas (pulsatsiyalanuvchi) E.Yu.K.ga aylantirib beruvchi generator qismi.

**Sho'tka** – tashqi elektr energiya istemolchisini generator ulashda kontakt xosil qiluvchi element.

**O'zgarmas tok motori** – o'zgarmas tok elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantiruvchi elektr mashinasi.

**Magnit qutblari** – o'zgarmas tok mashinasini asosiy magnit maydonini xosil qiluvchi o'zgarmas tok elektromagniti.

**Asinxron motor** – o'zgaruvchan tok elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantiruvchi elektr mashinasi.

**Asinxron generator** – mexanik xarakatni (energiyani) o'zgaruvchan tok elektr energiyasiga aylantiruvchi elektr mashinasi.

**Aylanuvchi magnit maydoni** – uch fazali o'zgaruvchan tok xosil qilgan va sinxron tezlik bilan aylanuvchi magnit maydoni.

**Qisqa tutashgan chulg'amli rotor** – rotor chulg'amli uzaro berk kontur xosil qiluvchi aluminiy sterjenlardan iborat bo'lgan rotor.

**Faza chulg'ami rotor** – rotor chulg'ami uch fazali mis chulg'amlardan iborat bulib unga ketma-ket uch fazali aktiv qarshilik ulangan rotor chulg'ami.

**Sirpanish** – aylanuvchi magnit maydon tezligi bilan rotorni aylanish tezligi orasidagi nisbiy farq.

**Yurgizish momenti** – asinxron motorni ishga tushirish paytida xosil qiladigan aylantiruvchi moment.

**Maksimal (kritik) moment** – asinxron motor xosil qilishi mumkin bo'lgan eng kata aylantiruvchi moment qiymat.

**Diod** – ikki elektrodli yarim o'tkazgichli asbob.

**Triod** – uch elektrodli yarim o'tkazgichli asbob.

**Tiristor** – uch elektrodli boshqariladigan elektron asbob.

**Tranzistor** – uch elektrodli to'liq boshqariladigan va kuchaytirish xususiyatiga ega bo'lgan elektron asbob.

**To'g'irlangan kuchlanish** – to'g'irlagich sxemasini chiqish qismlaridagi kuchlanishni qiymati.

**Filtr** – to'g'irlangan kuchlanish tarkibidagi yuqori garmonikalarni bartaraf etadigan elektr zanjir elementi.

**Integral mikrosxema** – aktiv va passiv elementlarni yagona texnologiya asosida yig'ilgan va ulangan ma'lum funksional vazifalarini bajaruvchi minatyuralashtirilgan sxema.

**Katta integral sxemalar** (KIS) – katta imkoniyatlarga ega bo'lgan elektron apparatlarni alohida bloki sifatida foydalaniladigan integral mikrosxema.

**Gibridli integral mikrosxema** – keramik asosga yupqa va qalin plenklar sifatida joylashtirilgan integral mikrosxema.

**Elektr yuritma** – ishchi mexanizmni elektrlashtirish hamda ish jarayonlarini avtomatlashtirish uchun hizmat qiladigan avtomatik uskunalarga aytiladi.

**Elektromotor** – elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantiruvchi elektromexanik qurilma.

**Elektr to'g'irilagichlar** – o'zgaruvchan tok elektr energiyasini o'zgarmas tok elektr energiyasiga aylantiruvchi apparat.



***Inventor*** – o‘zgarmas tok elektr energiyasini o‘zgaruvchan tok elektr energiyasiga aylantiruvchi apparat.

***Yuklash diagrammalari*** – ishchi mexanizmni ishlash jarayonida uni quvvatini, aylantiruvchi momentni va tokini vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafigi.

***Uzoq muddatli ish rejimi*** – ishchi mexanizmni ish jarayonida dvigatelni qizishi barqaror temperaturagacha o‘zgaradigan xolat.

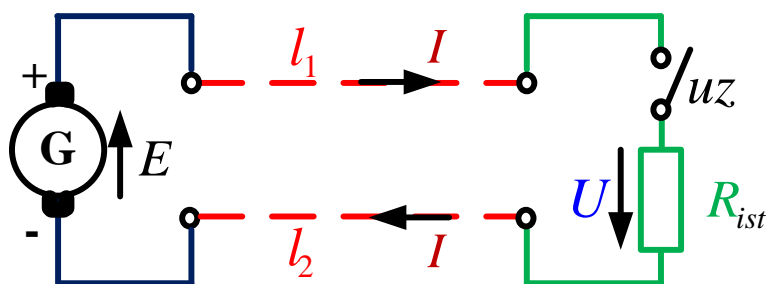
***Qisqa muddatli ish rejimi*** – ishchi mexanizmni ish jarayonida dvigatelni qizishi barqaror temperaturagacha qizib ulgurmaydi pauza vaqtida esa atrof muxit temperaturasiigacha sovub ulgiradi.

***Takroriy-qisqa muddatli ish rejimi*** – ishchi mexanizmni ish vaqtida dvigatel barkaror temperaturagacha qizib ulgurmaydi, pauza vaqtida esa atrof-muxit temperaturasiigacha sovub ulgurmaydi.

## I BOB. O'ZGARMAS TOK ELEKTR ZANJIRLARI

### 1.1. Elektr zanjiri va uning elementlari

Har qanday elektr zanjiri o'zaro simlar bilan birlashtirilgan bitta yoki bir nechta elektr energiyasi manbalaridan va iste'molchilaridan iborat bo'ladi. Shuning uchun *elektr zanjiri* deb, elektr tokini xosil qiluvchi va uning oqib o'tishini ta'minlash uchun xizmat qiladigan qurilmalar yig'indisiga aytiladi. Elektr zanjirlarini shartli belgilar yordamida tasvirlash elektrik *sxema* deb ataladi.



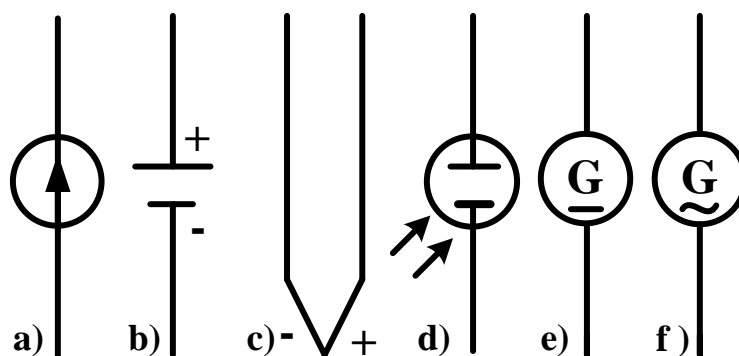
1.1-rasm.

Oddiy o'zgarmas tok elektr zanjirining sxemasi 1.1-rasmda ko'rsatilgan. Oddiy o'zgarmas tok elektr zanjiri asosan quyidagi elementlardan tashqil topgan:

- ❖ elektr energiyasining manbai -  $G$  - EYuK (o'zgarmas tok generatori);
- ❖ elektr energiyasining iste'molchisi -  $R_{ist}$  (yuklama);
- ❖ birlashtiruvchi simlar -  $l_1$  va  $l_2$  (masalan, elektr uzatish liniyasi);
- ❖ zanjirni ulab-uzish uchun moslama (uzgich) -  $uz$  kabi elementlardan tashqil topgan.

Zanjirdan tok uzluksiz o'tib turishini asosiy sharti uning tarkibida elektr energiyasi manbaining bo'lishidir. Elektr energiyasining manbaida energiyaning boshqa turlari elektr energiyasiga aylantiriladi. Masalan, elektr mashina generatorlari bug', gaz yoki gidravlik turbinalarning mexanik energiyasini, gal'vaniq elementlar va akkumulyatorlar kimyoviy jarayonlar energiyasini, termoelementlar va magnitogidrodinamik generatorlar issiqlik energiyasini, turli fotoelementlar yorug'lik energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi. Elektr energiyasini xosil qiluvchi manbalarning shartli belgilanishi 1.2-rasmda ko'rsatilgan. a - EYuK, b - gal'vaniq elementlar yoki akkumulyator batareyalari,

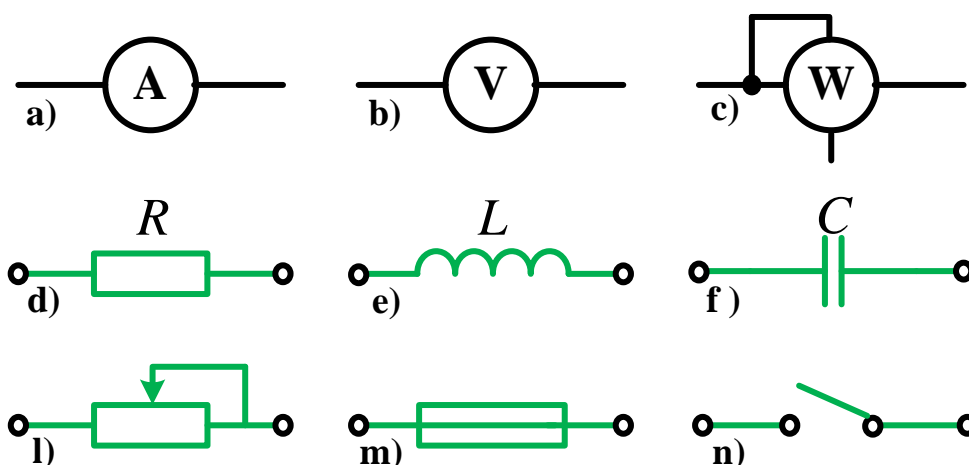
c - termoelementlar, d - fotoelement, e - o'zgarmas tokning elektr mashina generatori, f - o'zgaruvchan tokning elektr mashina generatori.



1.2-rasm.

Bular elektr yurituvchi kuchlari  $-E$ , ichki qarshiligi  $-r_0$ , nominal toki  $-I_{nom}$  va boshqa kattaliklari bilan bir-birlaridan farq qiladi.

Bulardan tashqari o'lchov asboblari, elektr zanjirining asosiy parametrlari va ayrim elementlarining shartli belgilari 1.3-rasmda keltirilgan. a – ampermetr; b – voltmeter; c – vattmetr; d – rezistor (aktiv qarshilik); e – induktivlik (induktiv g'altak); f – sig'im (kondensator); l – reostat (o'zgaruvchan qarshilik); m – saqlagich (eruvchan); n – uzgich (bir qutubli).



1.3-rasm.

Elektr energiyasini manbadan iste'molchilarga uzatish elektr liniyalari orqali amalga oshiriladi. 1.1 – rasmda uzgich ulangan holatida bo'lganda, ya'ni yopiq zanjirda  $E$  – EYuK ta'sirida elektr zaryadlarning tartibli harakati  $I$  – elektr tokini

xosil qiladi. O'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasidan bir sekund davomida bir kulon elektr zaryadi o'tgandagi tok bir amperga tengdir.

$$1A = \frac{1Kl}{1sek}.$$

Agar tokning qiymati vaqt davomida o'zgarmasa, bunday tok o'zgarmas tok deyiladi:

$$I = \frac{q}{t}. \quad (1.1)$$

Agar vaqt davomida tokning qiymati o'zgarsa bu tok o'zgaruvchan tok bo'lib, u quyidagi differentsial ko'rinishda yoziladi:  $i = \frac{dq}{dt}$ .

Metallarda elektr toki manfiy ishorali zaryadlarning (elektronlarning) harakatidan iborat bo'lsa, elektrolitlarda esa musbat ham manfiy ishorali zaryadlarning (ionlarning) o'zaro qarama-qarshi yo'nalishdagi harakatlaridan iborat. Shunga ko'ra, o'tkazgichlarda tokning shartli yo'nalishini qabul qilish muhim ahamiyatga ega. Bu yo'nalish uchun musbat zaryadlarning harakat yo'nalishi qabul qilingan. Manbaning (generator, akkumulyator va b.) elektr yurituvchi kuchi tufayli uning qismalarida ma'lum potentsiallar farqi yuzaga keladi. Potentsiali yuqori bo'lgan qismani musbat deb, uni "+" ishora, potentsiali past bo'lgan qismani manfiy "-" ishora bilan belgilash qabul qilingan. Manbada (ichki zanjirda) elektr tokining yo'nalishi "-" ishoradan "+" ishoraga, ya'ni quyi potentsialli nuqtadan yuqori potentsialli nuqtaga yo'naladi. Tashqi zanjirda esa aksincha "+" ishoradan "-" ishoraga, ya'ni yuqori potentsialli nuqtadan quyi potentsialli nuqtaga yo'naladi.

Elektr zanjirida harakatlanayotgan zaryadga o'tkazgich muhiti ma'lum darajada qarshilik ko'rsatadi. Bu qarshilik o'tkazgichning elektr qarshiligi deb atalib, quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.2)$$

bu yerda:  $\rho$  - o'tkazgichning solishtirma qarshiligi,  $Om \cdot m$ ;  $l$  - o'tkazgichning uzunligi,  $m$ ;  $S$  - o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi,  $m^2$ .

SI sistemasida o'tkazgichning elektr qarshilik birligi uchun Om qabul qilingan. Qismlarida 1 vol't kuchlanishi bo'lgan holda, 1 amper tok kuchi xosil qilgan o'tkazgichning qarshiligi 1 Om deb hisoblanadi, ya'ni  $1Om = \frac{1V}{1A}$ . Amalda qarshilikning nisbatan katta birliklari kiloom (kOm) va megaom (MOM) dan ham foydalaniladi.

Ayrim hollarda elektr qarshiligi o'rniga (qarshiliklari parallel ulangan zanjirlar o'rganilganda) unga teskari bo'lgan kattalik o'tkazuvchanlikdan foydalaniladi, ya'ni

$$G = \frac{1}{R}; \left[ \frac{1}{Om} = 1simens = 1Sm \right]. \quad (1.3)$$

Solishtirma qarshilikka teskari kattalik solishtirma o'tkazuvchanlikdir:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} Sm/m. \quad (1.4)$$

Elektr texnikasida turli maqsadlarda tayorlanadigan o'tkazgich simlar uchun asosiy materiallari nisbatan yuqori solishtirma o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan metallar bo'lib, ular mis, alyuminiy, po'lat kabelaridir. Shuningdek, ushbu metallarning qotishmalari (manganin, konstantan, nixrom va b.) dan ham keng foydalaniladi. Ushbu metallarga xos xususiyatlar 1.1- jadvalda keltirilgan.

**1.1- jadval**

<b>Metallar</b>	<b>Solishtirma o'tkazuvchanligi (20°C)</b>	<b>Solishtirma qarshiligi (20°C)</b>	<b>Qarshilikning (20 ÷ 100°C) dagi temperaturada koeffitsienti, 1°/C</b>
Kumush	62,0	0,016	0,0035
Mis	57,0	0,0175	0,004
Alyuminiy	35,0	0,0294	0,004
Vol'fram	19,0	0,053	0,004
Po'lat	7,7	0,13	0,006
Manganin	2,4	0,42	0,00003
Konstantan	2,0	0,5	0,000005
Nixrom	1,0	1,0	0,0001

## 1.2. Elektr zanjirlarining asosiy qonunlari

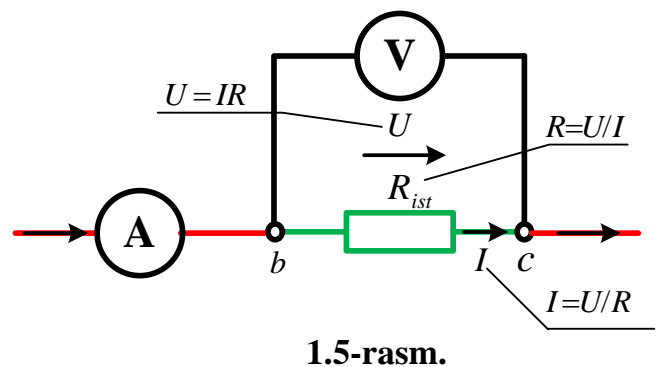
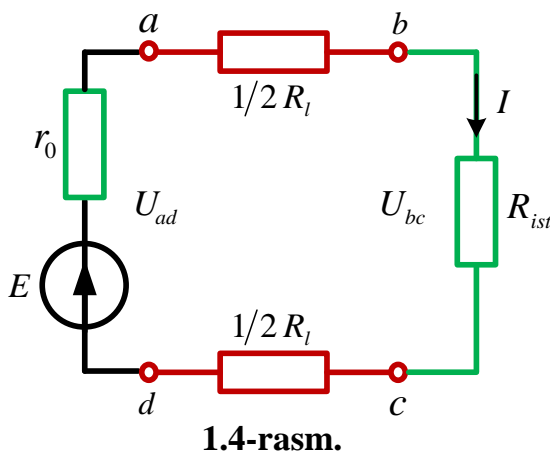
**Om qonuni** elektr zanjiriga oid asosiy qonun bo'lib, zanjirdagi tok va kuchlanishlarning o'zaro qanday nisbatda bog'langanligini ifodalaydi. Bu qonunga ko'ra tarmoqlanmagan berk zanjirdagi (konturdagi) tok EYuK ga to'g'ri proporsional, zanjirning to'la qarshiligiga teskari proporsionaldir. Mazkur qonunga binoan 1.4-rasmda ko'rsatilgan elektr zanjirdagi tok quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{E}{r_0 + R_l + R_{ist}} = \frac{E}{r_0 + R_T}, \quad (1.5)$$

bu yerda  $r_0$  - manbaning ichki qarshiligi;  $R_l = \frac{1}{2}R_l + \frac{1}{2}R_l$  - elektr uzatish liniya simining qarshiligi;  $r_0 + R_T$  - zanjirning to'la qarshiligi;  $R_T = R_l + R_{ist}$  - tashqi zanjirning qarshiligi:

(1.5) formula berk kontur uchun Om qonunini ifodalaydi. Shuningdek, EYuK manbai bo'lmagan elektr zanjirining istalgan qismi uchun ham tadbiq etish mumkin. U holda zanjirning qismidagi (1.4 va 1.5-rasmlar) tok:

$$I = \frac{U_{bc}}{R_{ist}}. \quad (1.6)$$



bundan

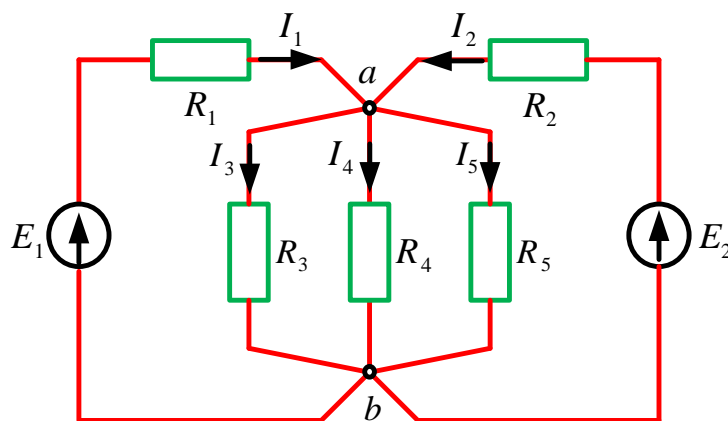
$$U_{bc} = I \cdot R_{ist}.$$

Demak,  $R_{ist}$  qarshiligida kuchlanishning pasayishi u orqali o'tgan tokning mazkur qarshilikka ko'p aytmasiga teng.

**Kirxgof qonunlari** murakkab (ikki va undan ortiq konturli) elektr zanjirlarni hisoblash va ularning elektr holatlarini to'la aniqlash uchun xizmat qiladi. Murakkab zanjirlar uchun tarmoq, tugun va kontur tushunchalari qo'llanadi.

- ❖ **Tarmoq** - elektr zanjirining ma'lum bir qismi bo'lib, ketma-ket birlashtirilgan qarshiliklar (rezistorlar), energiya manbalari va hokazolardan iborat.
- ❖ **Tugun** - elektr zanjirining uchta va undan ortiq tarmoqlarining birlashgan joyi.
- ❖ **Kontur** - zanjirining bir necha tarmoqlaridan iborat yopiq yo'l.

Masalan, 1.6-rasmdagi elektr zanjiri beshta tarmoq (bularndan ikkitasining energiya manbai bor) ikkita tugun va to'qqizta konturdan iborat.



1.6-rasm.

**Kirxgofning birinchi qonuni** (toklar qonuni) elektr zanjirining tarmoqlanish tugunidagi toklarning qanday taqsimlanganligini ifodalaydi. Bu qonunga ko'ra, elektr zanjirining tarmoqlanish tuguniga kelayotgan va undan chiqib ketayotgan toklarning algebraik yig'indisi nolga teng. Chunonchi, 1.6- rasmdagi elektr zanjirining *a* tuguni uchun

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0, \quad (1.7)$$

deb yozish mumkin. Bunda tarmoqlanish tuguniga kelayotgan toklarni «+» ishora va undan chiqib ketayotgan toklarni «-» ishora bilan olgan bo'lamiz. Umumiy holda

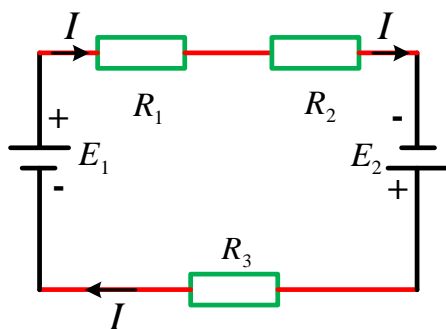
$$\sum_{k=1}^n I_k = 0. \quad (1.8)$$

**Kirxgorfning ikkinchi qonuni** (kuchlanishlar qonuni) berk elektr zanjirining qismlaridan EYuK va kuchlanishlarning qanday taqsimlanganligini aniqlashga yordam beradi. Binobarin, berk konturdagi barcha EYuK larning algebraik yig'indisi shu konturning barcha qismlaridagi kuchlanishlar pasayishining algebraik yig'indisiga teng:

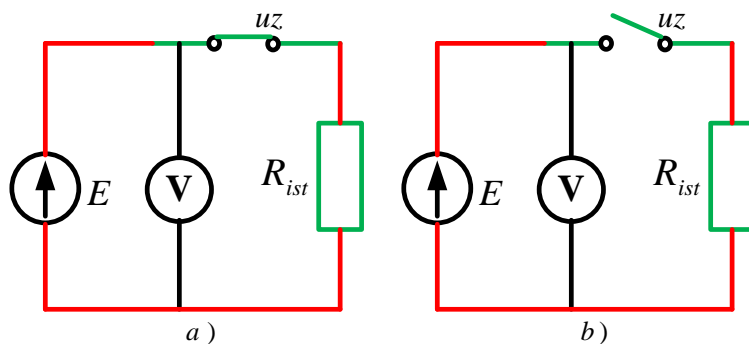
$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n I_k \cdot R_k. \quad (1.9)$$

Kirxgorfning ikkinchi qonuniga binoan. 1.7-rasmda ko'rsatilgan elektr zanjirida EYuK ning shartli musbat yo'nalishi bo'yicha (ya'ni, soat milining harakat yo'nalishi bo'yicha) zanjirning elektr muvozanat tenglamasi:

$$E_1 + E_2 = IR_1 + IR_2 + IR_3. \quad (1.10)$$



1.7-rasm.



1.8-rasm.

Zanjirdagi har qanday nuqtaning potentsiali mazkur nuqtaning zanjirdagi holati bilan aniqlanadi. Umumiy holda  $\sum E - \sum IR = 0$  deb yozish mumkin(1.8-rasm).

**Joul-Lens qonuni.** Elektr tokening ishi deyilganda, elektr maydonida zaryadlangan zarrachalarning potentsiali kichik nuqtadan potentsiali yuqori nuqtaga ko'chishda bajargan ishi ( $A$ ) yoki shu ishni bajarish uchun sarflangan energiya ( $W$ ) tushuniladi, ya'ni

$$A = U \cdot I \cdot t = W. \quad (1.11)$$

### 1.3. Manba va istemol'chi qismlaridagi kuchlanishlar

(1.5) ifodani  $E = I \cdot r_0 + I \cdot R_l + IR_{ist} = I \cdot r_0 - I \cdot R_T$  ko'rinishda qayta yozib quyidagi xulosaga kelish mumkin: har qanday manba EYuK ining bir qismi uning ichki qarshiligi  $r_0$  ga sarflanadi. Shunga ko'ra manba qismlaridagi



kuchlanish uning EYuK idagi doimo  $I \cdot r_0 = \Delta U_0$  miqdorga kichik bo'ladi. U holda 1.4-rasmdagi manbaning *ad* qismalaridagi kuchlanish bo'ladi.

Manbaning ichki qarshiligi qancha kichik bo'lsa, u ishlab chiqarayotgan elektr energiyasining quvvati shunchalik katta bo'ladi. Ichki qarshiligi  $r_0 \approx 0$  bo'lgan EYuK manbalari shartli ravishda quvvati cheksiz generatorlar deyiladi. Bunga o'ta katta quvvatli (GES, GRES, AES va b) elektr stantsiyalarining generatorlari kiradi. Agar manba qismlaridan tashqi zanjir ajratib qo'yilsa,  $I=0$  bo'ladi. U holda  $\Delta U_0 = I \cdot r_0 = 0 \cdot r_0 = 0$ , ya'ni tashqi zanjir ajratib qo'yilganda manbaning kuchlanishi uning EYuK iga teng ( $U_{ad} = E$ ) bo'ladi.

Manba bilan iste'molchini birlashtiruvchi liniya simi ham ma'lum qarshilikka ega bo'lgani sababli kuchlanishning bir qismi uzatish liniyasiga sarflanadi, ya'ni  $I \cdot R_l = \Delta U_l$ . Uzatish simining (liniyaning) uzunligi ortgan sari kuchlanishning pasayishi ham orta boradi. Bunda iste'molchining bu qismlaridagi kuchlanish manba qismlaridagi kuchlanishdan doimo  $\Delta U_l$  ga farq qiladi, ya'ni  $U_{bc} = U_{ad} - \Delta U_l$ . Shuningdek, iste'molchining tok iste'moli, ya'ni yuklama orta borgan sari uzatish liniyasiga kuchlanishning pasayuvi orta borib, iste'molchi qismlaridagi kuchlanish yanada pasaya boradi.

#### 1.4. Elektr tokining quvvati

Bajarilgan ish (yoki sarflangan energiya) kuchlanish, tok va vaqtning o'zaro ko'paytmasiga teng bo'lsa, u holda bajarilgan ishning jadalligini aniqlash uchun **quvvat** tushunchasi kiritiladi. Elektr tokining quvvati vaqt birligida bajarilgan ishga yoki shu ishni bajarish uchun sarflangan energiyaga teng, ya'ni

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I. \quad (1.12)$$

Xalqaro SI birliklar sistemasida quvvatning o'lchov birligi sifatida vatt (W) qabo'l qilingan.

$1W = 1J/1s$ , ya'ni 1 vatt quvvat xosil qilinishi uchun 1 sekund davomida 1 joul' ish bajarilishi lozim. Xuddi shuningdek elektr zanjirida o'tkazgich uchlaridagi kuchlanish 1 V, tok kuchi 1 A bo'lganida 1Vt quvvat sarf bo'ladi

( $1W = 1V \cdot 1A$ ). Amalda quvvatning quyidagi o'lovchov birliklari: millivat ( $mW$ ) [ $1mW = 10^{-3}W$ ], kilovatt ( $kVt$ ) [ $1kW = 1000W$ ] va megavatt ( $MW$ )  $1MW = 10^6W$  dan foydalaniladi. Elektr zanjiridagi tokning quvvati vattmetr asbobi yordamida o'lvchanadi.

Zanjir elementlarida erishiladigan quvvatni kuchlanish bilan ham, tok bilan ham rostlash mumkin. Masalan, uzatish liniyalarida elektr energiyasining issiqlikka sarflanadigan isforini kamaytirish maqsadida, manba beradigan quvvatning kuchlanishi oshiriladi va shunga mos ravishda tok kuchi kamaytiriladi. Liniyadagi tok kuchi qanchalik kichik bo'lsa, kuchlanishning pasayishi  $I \cdot R_l = \Delta U_l$  ham shunchalik kichik bo'ladi. Natijada liniyaning foydali ish koeffftsienti yuqori bo'ladi:

$$\eta = \frac{P_{ist}}{P_m} = \frac{U_{ist} \cdot I}{U_m \cdot I} = \frac{U_{ist} \cdot I}{\Delta U_l \cdot I + U_{ist} \cdot I}, \quad (1.13)$$

bu yerda  $P_{ist}$  – iste'molchining quvvat;  $P_m$  – manbaning quvvati.

Elektr energiyasining ancha yuqori kuchlanish bilan o'zgarmas tokda uzatish birmuncha tejimli hisoblanadi. Bunga kuchlanishi 1500 kV o'zgarmas tok elektr uzatish liniyalari misol bo'la oladi.

Xalqaro SI birliklar sistemasida energiya birligi qilib joul' qabo'l qilingan ( $1J = 1W \cdot 1s$ ), ammo amalda kilovatt–soatdan ham keng foydalaniladi

$$(1kW \cdot soat = 1000W \times 360s = 3,6 \cdot 10^6J).$$

### 1.5. Elektr tokining issiqlik ta'siri

Elektr zanjirlaridagi qarshilik tabiati jihatidan mexanikadagi ishqalanishga o'xshab ketadi, chunki o'tkazgichda elektr tokini xosil qiluvchi erkin elektronlarning ilgari lanma harakati elektronlarning o'tkazgich ichida atomlar yoki molekulalar bilan qo'shimcha to'qnashishiga sabab bo'ladi. To'qnashishlar (ishqalanishlar) natijasida mexanik energiya issiqlik energiyasiga aylanib (bunda ishqalanish kuchini yengish uchun ma'lum bir ish bajariladi), o'tkazgich (sim) qiziydi. Om qonuniga binoan  $U = I \cdot R$  ekanligini hisobga olsak, tok  $I$  ning  $R$  qarshilikli zanjir qismida bajarilgan ishi quyidagini tashqil etadi:

$$A = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (1.14)$$

(1.14) formula Joule-Lentz qonunini analitik ifodasidir.

Elektr tokining issiqlik ta'siri elektr yoritish elektr payvandlash, elektr metallurgiya, elektr qizitish, shuningdek, avtomatik nazorat asboblari foydali hisoblanadi. Ammo elektr motorlarda, transformatorlarda va manba bilan iste'molchini birlashtiruvchi uzatish simlarida bu issiqlik zararlidir. Chunki bunda elektr energiyasining bir qismi issiqlik energiyasi tarzida isrof bo'ladi. Shuning uchun elektr simlarining ko'ndalang kesimini uning qizish darajasidan kelib chiqib tanlash muhim ahamiyatga ega.

O'tkazgichdan elektr toki o'tishi natijasida xosil bo'lgan issiqlik o'tkazgichini qizitib, atrof-muhitga tarqaladi. Elektr toki ajratib chiqargan issiqlik miqdori tashqi muhitga tarqalayotgan issiqlik miqдорiga teng bo'lganda, o'tkazgichda issiqlik muvozanati yuzaga keladi. Shu o'tkazgichda turg'un temperatura yuzaga keladi. Bu temperatura berilgan o'tkazgich (sim) uchun *chegaraviy qizish temperaturasi* hisoblanadi. chegaraviy qizish temperaturasi o'tganda o'tkazgichning temperaturasi tashqi muhit temperaturasidan yuqori bo'ladi. Simlarning ortiqcha qizishi ularning izolyatsiyasiga putur yetkazishi, ochiq simning mexanik xususiyatlarini susaytirib yuborishi mumkin. Qizigan izolyatsiya sovuq izolyatsiyaga qaraganda tezroq eskirib, elektr mashinalari va apparatlarining xizmat muddatini keskin qisqartiradi. Elektr simlarning ortiqcha qizib ketmasligi uchun ma'lum ko'ndalang kesimga ega bo'lgan o'tkazgichdan o'tadigan uzoq vaqtli turg'un yuklama tokining miqdorini aniqlash kerak bo'ladi.

Amaliy hisoblashlarda turli ko'ndalang kesimga ega bo'lgan elektr simlar chegaraviy yuklama toklarining qiymatlari ko'rsatilgan tayyor jadvallardan foydalaniladi.

## **1.6. Elektr zanjirida quvvatlar muvozanati**

Har qanday elektr zanjirida manbaning ishlab chiqargan elektr energiyasi (quvvati) iste'molchida, uzatish liniyasida va manbaning o'zida sarf bo'lgan energiyaga (quvvatiga) tengdir. Misol tariqasida 1.4- rasmda berilgan elektr zanjiri

uchun quvvatlar muvozanatini ko'rib chiqaylik. Buning uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha zanjirning elektr muvozanat tenglamasi:

$$E = I \cdot r_0 + I \cdot R_l + I \cdot R_{ist} = I \cdot (r_0 + R_l + R_{ist}) = I \cdot (r_0 + R_T),$$

Uning ikkala tomonini  $I$  ga ko'paytirsak, zanjirning quvvatlari muvozanati tenglamasi xosil bo'ladi:

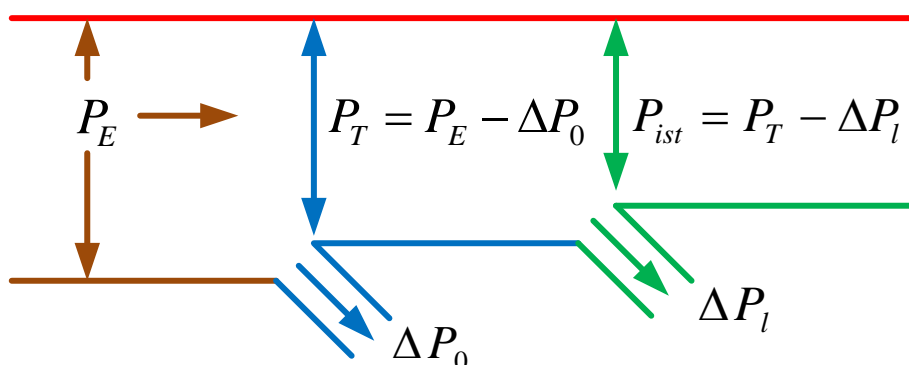
$$E \cdot I = I \cdot r_0 + I^2 \cdot R_l + I^2 \cdot R_{ist},$$

yoki

$$P_E = \Delta P_0 + \Delta P_l + P_{ist} = \Delta P_0 + \Delta P_T, \quad (1.15)$$

bu yerda  $P_E = E \cdot I$  - manba xosil qilgan elektromagnit quvvat. U manbaning o'zida (ichida)  $\Delta P_0 = I^2 \cdot r_0$  quvvatga uzatish liniyasi ma'lum qarshilik ( $R_l$ ) ga ega bo'lgani sababli uzatilayotgan quvvatning  $\Delta P_l = I^2 \cdot R_l$  qismi issiqlik energiyasiga, qolgan qismi  $P_{ist} = I^2 \cdot R_{ist}$  (yuklamaga) sarflanadi.

Shunday qilib, ko'rib chiqilgan zanjirning quvvatlar muvozanati, ya'ni (1.15) ifoda zanjirning energetik holatini to'la namoyon qiladi (1.9-rasm)



1.9-rasm.

Amalda elektr manbaining ichki qarshiligi zanjirning tashqi qarshiligidan juda kichik bo'ladi, ya'ni  $r_0 \ll R_T$ . Shunga ko'ra, elektr generatorlarning foydali ish koeffitsienti katta bo'ladi.

**1.1-masala.** Ichki qarshilik 0,5 Om, elektr yurituvchi kuchi 150 V bo'lgan o'zgarmas tok generatorining qismlariga ikki simli uzatish liniyasi orqali qarshiligi 11,56 Om bo'lgan yuklama ulangan (1.4-rasm). Uzatish liniyasi alyuminiy simlardan iborat bo'lib, uning parametrlari quyidagicha: uzunligi  $l = 200 m$ ,

ko'ndalang kesimi  $S = 4 \text{ mm}^2$ , solishtirma qarshiligi  $\rho = 0,0294 \frac{\text{Om} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ .

Berilgan kattaliklar asosida quyidagilar aniqlansin:

- 1) zanjirdagi tok -  $I$ ;
- 2) generator qismlaridagi kuchlanish -  $U$ ;
- 3) yuklama qismlaridagi kuchlanish -  $U_{ist}$ ;
- 4) generatorning elektromagnit quvvati -  $P_E$ ;
- 5) generatorning ichida sarflanayotgan quvvat isrofi -  $\Delta P_0$ ;
- 6) uzatish liniyasidagi quvvat isrofi -  $\Delta P_l$ ;
- 7) yuklama iste'mol qilayotgan quvvat -  $P_{ist}$ ;
- 8) zanjirning quvvatlar muvozanati.

**Yechilishi:**

❖ uzatish liniyasining qarshiligi:

$$R_l = \rho \frac{2l}{S} = 0,0294 \frac{2 \cdot 200}{4} = 2,94 \text{ Om};$$

❖ zanjirning umumiy qarshiligi:

$$R = r_0 + R_l + R_{ist} = 0,5 + 2,94 + 11,56 = 15 \text{ Om};$$

❖ Om qonuniga binoan zanjirdagi tok:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{150}{15} = 10 \text{ A};$$

❖ generator qismlaridagi kuchlanish:

$$U_G = E - I \cdot r_0 = 150 - 10 \cdot 0,5 = 145 \text{ V};$$

❖ yuklama qismlaridagi kuchlanish:

$$U_{ist} = U_G - I \cdot R_l = 145 - 10 \cdot 2,94 = 115,6 \text{ V};$$

❖ generatorning elektromagnit quvvati:

$$P_E = E \cdot I = 150 \cdot 10 = 1500 \text{ W} = 1,5 \text{ kW};$$

❖ generatorning ichida sarflanayotgan quvvat isrofi:

$$\Delta P_0 = I^2 \cdot r_0 = 10 \cdot 0,5 = 50 \text{ W};$$

❖ uzatish liniyasidagi quvvat isrofi:

$$\Delta P_l = I^2 \cdot R_l = 10^2 \cdot 2,94 = 294 \text{ W};$$

❖ yuklama iste'mol qilayotgan quvvat:

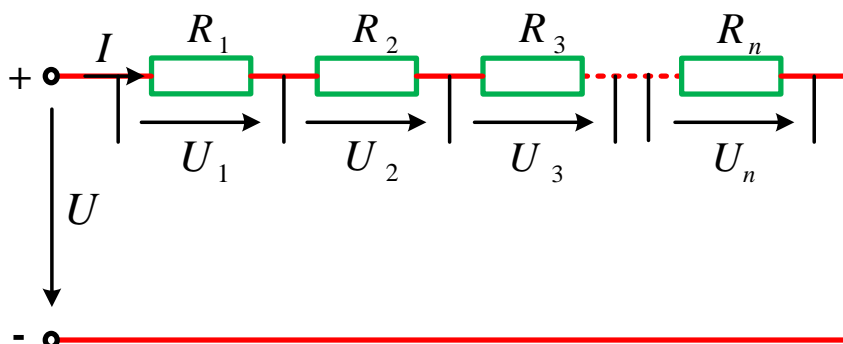
$$P_{ist} = U_{ist} \cdot I = 115,6 \cdot 10 = 1156 \text{ W} = 1,156 \text{ kW};$$

❖ zanjirdagi quvvatlar muvozanati:

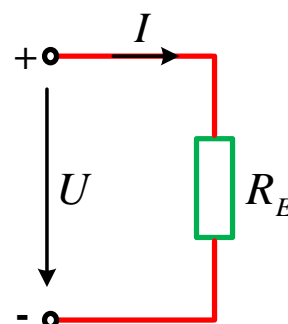
$$P_E = \Delta P_0 + \Delta P_l + P_{ist} = 50 + 294 + 1156 = 1500 \text{ W} = 1,5 \text{ kW}.$$

### 1.7. Elektr zanjiridagi qarshiliklarni ulash sxemalari

Turli elektr zanjirlarining ish jarayoni tahlil qilinganda zanjirdagi iste'molchilarning ekvivalent qarshiligini aniqlash kerak bo'ladi. Umuman, elektr iste'molchilarni zanjirga ketma-ket, parallel va aralash ulash sxemalari mavjud.



1.10-rasm.



1.11-rasm.

**Qarshiliklarni (iste'molchilarni) ketma-ket ulash** deb, bir qarshilik ( $R_1$ ) ning oxirgi uchini ikkinchi qarshilik ( $R_2$ ) ning bosh uchiga, ikkinchi qarshilikning oxirgi uchini uchinchi qarshilik ( $R_3$ ) ning bosh uchiga va hokazo birlashtirishga aytiladi (1.10-rasm). Qarshiliklari ketma-ket birlashtirilgan, ya'ni **tarmoqlanmagan elektr zanjirining** o'ziga xos xususiyati shundaki, unda tok o'tkazadigan bitta yopiq kontur bo'lib, konturning barcha qismlaridan bir xil qiymatga ega bo'lgan tok o'tadi. Bunday zanjirda unga berilgan kuchlanish –  $U$  zanjirning ayrim qismlaridagi kuchlanishlar pasayishining algebraik yig'indisiga teng (Kirxgofning II qonuniga asosan):  $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$  yoki

$$U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3 + \dots + I \cdot R_n,$$

$$U = I(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n),$$

$$R_E = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1.16)$$

bu yerda:  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  – zanjir qismlarining qarshiliklari;  $R_E$  – zanjirning ekvivalent (umumiy) qarshiligi.

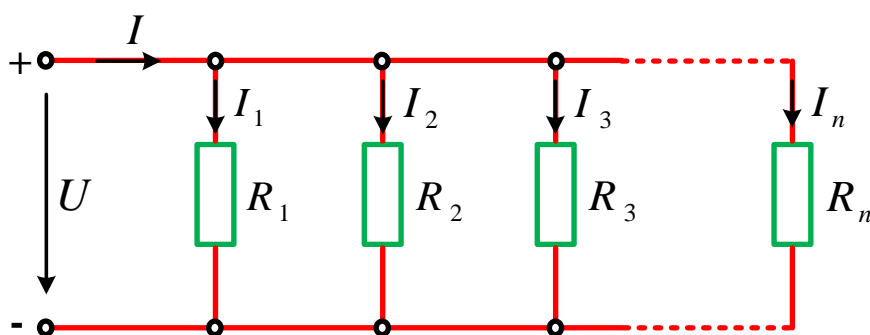
Demak, ekvivalent qarshilik  $R_E$  zanjir ayrim qismlari qarshiliklarining yig'indisiga teng. U holda 1.10-rasmdagi sxemaning ekvivalent elektr zanjiri 1.11-rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi. Bunday zanjirdagi tok Om qonuniga binoan quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{U}{R_E} \quad (1.17)$$

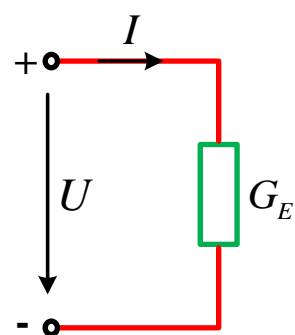
Qarshiliklarni ketma-ket ulash elektrotexnikaning turli sohalarida uchraydi. Masalan, o'zgarmas tok motorini ishga tushirishda ishga tushirish tokini cheklash maqsadida yakorъ bilan ishga tushirish reostati ketma-ket ulanadi. Shuningdek, aylanish tezligini rostlash maqsadida rostlash reostati qo'l lanadi. Vol'tmetrga qo'shimcha qarshilikni ketma-ket ulash bilan uning o'lchash chegarasini kengaytirish mumkin. Manbalarning ham o'zaro ketma-ket ulash mumkin. Masalan, akkumulyator va batareya elementlarini o'zaro ketma-ket ulab, kerakli kuchlanishni xosil qilish mumkin.

Qarshiliklari ketma-ket birlashtirilgan zanjirning biron qismida uzilish sodir bo'lganida uning tamomila ishdan chiqishi qarshiliklarni ketma-ket ulash usulining asosiy kamchiligidir.

Qarshiliklarni (iste'molchilarni) parallel ulash deb,  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  va hokazo qarshiliklarning bosh uchlarini bir tugunga va ana shu qarshiliklarning oxirgi uchlarini ikkinchi tugunga birlashtirishga aytiladi (1.12-rasm).



1.12-rasm.



1.13-rasm.

Qarshiliklari parallel ulangan elektr zanjirining (bunday zanjirlarni *tarmoqlangan* yoki ko'p konturli elektr zanjirlari, deb ham atash mumkin) o'ziga

xos xususiyati zanjirga ulangan barcha qarshiliklar qismalaridagi kuchlanishning bir xil qiymatga ega bo'lishidir.

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  qarshiliklar bosh uchlarining ulanish nuqtalariga keluvchi tok ( $I$ ) shu nuqtalardan (tugunlardan) tarqaluvchi  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  toklarning yig'indisiga teng (Kirxgofning -1-qonuniga asosan) :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

yoki

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n} = U \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = U \cdot \frac{1}{R_E} \quad (1.18)$$

Agar

$$\frac{1}{R_1} = G_1; \frac{1}{R_2} = G_2; \frac{1}{R_3} = G_3; \frac{1}{R_n} = G_n; \quad \text{va} \quad \frac{1}{R_E} = G_E;$$

bo'lsa, u holda

$$I = U \cdot (G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n)$$

Agar  $G_E = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$  bo'lsa, zanjirdagi tok quyidagicha ifodalanadi:

$$I = U \cdot G_E. \quad (1.19)$$

Bu yerda:  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$  - parallel tarmoqlarning o'tkazuvchanliklari, Sm;

$G_E$  - paralel tarmoqlarning ekvivalent o'tkazuvchanligi Sm.

(1.19) formulaga binoan (1.12) va 1.13-rasmdagi sxemalarni (zanjirlarni) o'zaro ekvivalent deyish mumkin. Demak, qarshiliklari paralel ulangan elektr zanjirining ekvivalent o'tkazuvchanligi ( $G_E$ ) shu zanjir ayrim tarmoqlari o'tkazuvchanliklari ( $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ ) ning yig'indisiga teng.

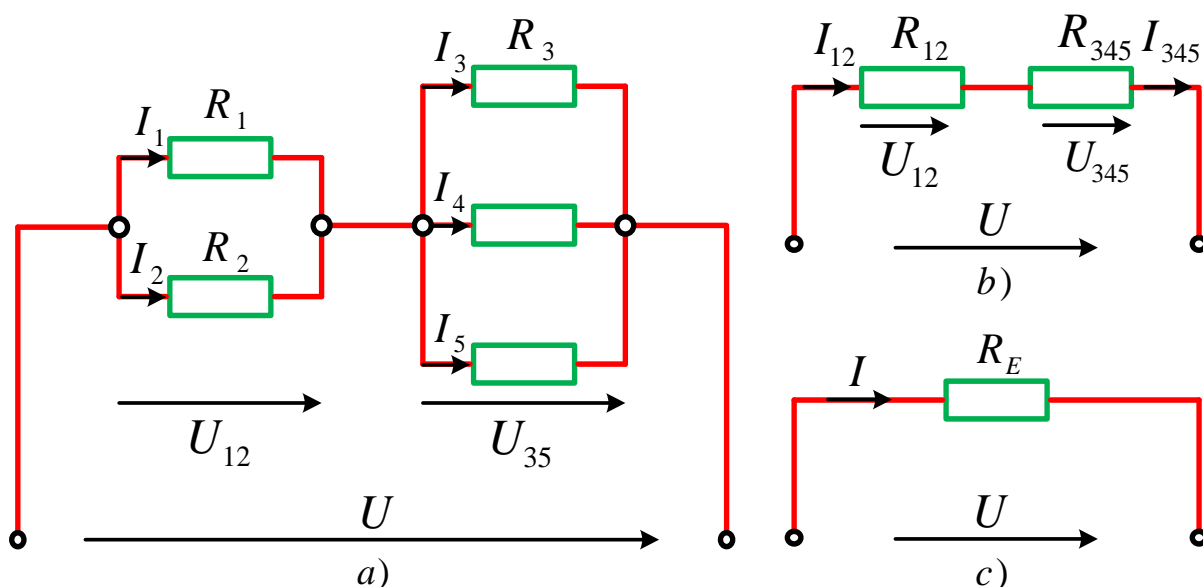
Agar elektr zanjirdagi paralel ulangan tarmoqlarning soni ikkita bo'lsa ularning ekvivalent qarshiligi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$R_E = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.20)$$

Qarshiliklari paralel ulangan zanjirning asosiy afzalligi shundaki, bunday zanjirning biron tarmog'ida uzilish sodir bo'lganida qolgan tarmoqlar normal holatda ishlayveradi, shuning uchun ham elektr energiyasining iste'molchilari tarmoqqa, asosan, parallel usulda ulanadi.



Qarshiliklarni aralash ulash ketma-ket va parallel ulashlarning birgalikda qo'llanilishidir (1.14-rasm, a) Qarshiliklarni aralash ulash sxemalarining xilma-xilligi tufayli bunday zanjirlarning ekvivalent qarshiligini aniqlashning umumiy ifodasini chiqarib bo'lmaydi. Har bir konkret hol uchun zanjirdagi qarshiliklarning ketma-ket va parallel ulangan qismlarini shartli ravishda ajratib olib, ma'lum formulalar bo'yicha ularning ekvivalent qarshiliklarini hisoblash lozim bo'ladi.



1.14-rasm.

Qarshiliklari aralash ulangan zanjirlarning ekvivalent qarshiligini hisoblash zanjirning oxirgi qismidan manba tomon olib boriladi (1.14-rasm, b) Bunda zanjir tobora soddalashib borib, bitta ekvivalent qarshilik zanjir ko'rinishiga keltiriladi. (1.14-rasm, c) Zanjirning har bir qismidagi tok va kuchlanish Om qonuniga binoan hisoblanadi.

**1.2-masala.** 1.14-rasm, a da ko'rsatilgan murakkab elektr zanjiri uchun quyidagilar:  $U = 36 V$ ,  $R_1 = 8 Om$ ,  $R_2 = 2 Om$ ,  $R_3 = R_4 = 5 Om$ ,  $R_5 = 10 Om$ , ma'lum bo'lsa, zanjirning tarmoqlaridagi  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  toklarining qiymati aniqlansin.

**Yechilishi.** Zanjirdagi  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklari o'zaro parallel ulangani uchun ularning ekvivalent qarshiligi.

$$R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{8 \cdot 2}{8 + 2} = \frac{16}{10} = 1,6 Om.$$

$R_3, R_4, R_5$  qarshiliklar o'zaro parallel ulangani uchun ularning ekvivalent o'tkazuvchanligi.

$$G_E = \frac{1}{R_{3,4,5}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = 0,5 \text{ Sm.}$$

Bunda

$$R_{3,4,5} = \frac{1}{G_E} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ Om.}$$

Qarshiliklar  $R_{1,2}$  va  $R_{3,4,5}$  o'zaro ketma-ket ulangani uchun (1.14-rasm, b) zanjirning ekvivalent qarshiligi (1.14-rasm, v):

$$R_E = R_{1,2} + R_{3,4,5} = 1,6 + 2 = 3,6 \text{ Om.}$$

U holda zanjirdagi tok.

$$I = \frac{U}{R_E} = \frac{36}{3,6} = 10 \text{ A.}$$

Zanjirning qismlaridagi kuchlanishlar esa

$$U_{1,2} = I \cdot R_{1,2} = 10 \cdot 1,6 = 16 \text{ V;}$$

$$U_{3,4,5} = I \cdot R_{3,4,5} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ V.}$$

U holda tarmoqdagi toklarning qiymati:

$$I_1 = \frac{U_{1,2}}{R_1} = \frac{16}{8} = 2 \text{ A;} \quad I_2 = \frac{U_{1,2}}{R_2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ A;}$$

$$I_3 = I_4 = \frac{U_{3,4,5}}{R_3} = \frac{20}{5} = 4 \text{ A;} \quad I_5 = \frac{U_{3,4,5}}{R_5} = \frac{20}{10} = 2 \text{ A.}$$

Kirxgofning birinchi qonuniga binoan

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5; \quad 2 + 8 = 4 + 4 + 2 \Rightarrow 10 \text{ A} = 10 \text{ A.}$$

### 1.8. Elektr zanjirlarining ish rejimlari

Elektr zanjirlarining ish rejimlari, ya'ni ularning elektr holatlari mazkur zanjir ayrim elementlarining toki, kuchlanishi va quvvatlarining qiymatlari bilan aniqlanadi.

Elektr zanjirlarining harakterli hisoblangan quyidagi ish rejimlari bilan tanishib chiqamiz.

**Nominal (normal) rejim** elektr mashinalarining, apparatlarning, asboblarning va simlarning ishlab chiqaruvchi zavod tomonidan ko'rsatilgan

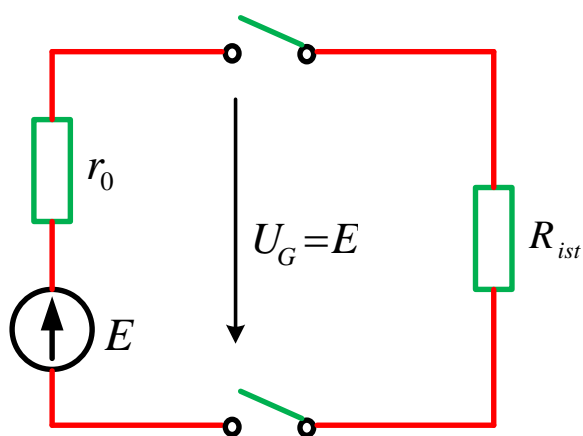
nominal tok -  $I_{nom}$ , nominal kuchlanish -  $U_{nom}$  va nominal quvvat —  $P_{nom}$  bilan ishlashidir. Elektr qurilmasining nominal parametrlari, odatda, uning pasportida ko'rsatilgan bo'ladi.

Elektr qurilmalarining nominal parametrlari ichida eng harakterlisi **nominal kuchlanish** va **nominal tok** hisoblanadi. O'zgarmas tokda ishlaydigan aksariyat iste'molchilar 110, 220, 440 V nominal kuchlanishlarga mo'ljallangan bo'ladi.

Elektr qurilmalarining izolyatsiyasi va elementlarining konstruksiyasi uning nominal kuchlanishiga, ularning chegaraviy qizish temperaturasi esa nominal tok kuchiga bog'liq.

Elektroenergetik qurilmaning nominal toki va kuchlanishi uning **nominal quvvatini** aniqlashga imkon beradi. Generatorning nominal quvvati deyilganda, uning normal sharoitda tashqi zanjirga bera oladigan eng katta foydali quvvati tushuniladi. Motorning nominal quvvati deyilganda esa normal sharoitda uning valida xosil qilinib, uzoq vaqt davomida tutib turiladigan eng katta foydali quvvat tushuniladi. Boshqa iste'molchilar uchun nominal quvvat. ularning normal rejimda iste'mol qila oladigan elektr quvvatidir.

Elektr energiyasi iste'molchilariniig normal rejimda ishaashini ta'minlash uchun, birinchi navbatda, ularning kirish qismalaridagi haqiqiy kuchlanishning nominal kuchlanish qiymatiga teng bo'lishiga erishmoq zarur.



1.15-rasm.

Elektr zanjirlarining ish rejimlari turli sabablarga ko'ra nominaldan farq qilishi mumkin. Agar elektr zanjiri rejimining haqiqiy harakteristikalari uning nominalidan farq qilsa-yu, ammo bu farq joiz chegarada bo'lsa, bunday rejim **yuklama (yuklanganlik) rejimi** deyiladi.

Masalan, radio va televizorlar uchun kuchlanishning joiz chegarasi  $210 \div 235$  V, nominal kuchlanish esa  $U_{nom} = 220$  V hisoblanadi.

***Salt ishlash rejimi*** deganda tashqi zanjir manbadan ajratilgan va uning qarshiligi amalda cheksizga teng bo'lib ( $R_T = \infty$ ), zanjirdan tok o'tmagandagi ( $I = 0$ ) holat tushuniladi (1.15-rasm). Bu holda manba ichida kuchlanishning pasayishi nolga teng bo'lib, uning qismalaridagi kuchlanish generatorning (manbaning) EYuK iga teng bo'ladi ( $E \approx U_G$ ).

Elementlari o'zaro ketma-ket ulangan zanjirning biror elementi salt ishlasa, qolgan barcha elementlar ham ana shu rejimda ishlaydi. Shuningdek, elektr motorlarning vali mexanik yuklamasiz aylanishi, transformatorlarning esa elektr yuklamasiz ishlashi salt ishlash rejimiga kiradi.

***Qisqa to'tashish rejimi*** deb, qismalarida kuchlanishi bo'lgan zanjir yoki zanjir elementlarining (manba, iste'molchi, uzatish liniyasi yoki birlashtiruvchi simlar) qarshiliksiz, o'zaro ulanib qolishiga aytiladi.

Elektr qurilmalari uchun qisqa to'tashish rejimi salbiy holat hisoblanadi. Chunki zanjirning qisqa to'tashuv bo'lgan joyida qarshilik  $R \approx 0$  bo'lishi natijasida qisqa to'tashish toki nominal qiymatdan bir necha marta ortib ketadi. Natijada katta issiqlik ajralib chiqib, qurilmaning izolyatsiyasi ishdan chiqadi. Ba'zi qisqa to'tashishlarda elektr yoyi xosil bo'lishi mumkin. Umuman, qisqa to'tashish rejimi noxush oqibatlarga olib kelishi sababli uni ***avariyalij rejim***, deb ham ataladi. Qisqa to'tashish elektr qurilmalarini montaj qilish va undan foydalanishning me'yor va qoidalariga tiliq rioya qilinmaganligining natijasidir. Elektr qurilmalarini qisqa to'tashuv toklaridan himoyalash uchun zanjirning shikastlangan joyini tarmoqdan avtomatik ravishda uzib qo'yadigan himoya qurilmalaridan foydalaniladi.

### **1.9. Murakkab elektr zanjirlarini hisoblash usullari**

Elektr zanjirlarini hisoblashdagi asosiy vazifa tokning zanjir tarmoqlarida qanday taqsimlanganligini aniqlashdir. Bu vazifa elektr zanjiri uchun asosiy bo'lgan Om va Kirxgof qonunlaridan foydalanib hal etiladi.

Murakkab elektr zanjirlarining ishlashini tahlil qilish va hisoblash uchun Kirxgofning ikkala qonuniga asoslangan bir nechta usullar ishlab chiqilgan. Ammo

konkret sharoitda berilgan elektr zanjiri sxemasidagi elementlarning joylashishiga (konfiguratsiyasi) ko'ra va masalada qo'yilgan shartlarga binoan uni qaysi usul bilan yechish samarali bo'lsa, usha usuldan foydalanish tavsiya etiladi. Quyida elektr zanjirlarini hisoblashning amalda keng tarkalgan usullari bilan tanishib chiqamiz.

***Kirxgof qonunlarini bevosita qo'llash usuli.*** Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalanib, har qanday murakkablikdagi tarmoqlangan elektr zanjiri uchun kerakli tenglamalarni tuzgandan so'ng ularni birgalikda yechib, zarur kattaliklarni (masalan, toklarni) aniqlash mumkin.

Berilgan elektr zanjiri uchun Kirxgof qonunlariga asoslanib tenglamalar tuzishdan avval quyidagi tartib va qoidalarga rioya qilish shart:

- ❖ berilgan elektr zanjiri sxemasini iloji boricha soddalashtirish;
- ❖ berilgan elektr zanjiri sxemasini mustaqil konturlarga ajratish;
- ❖ sxemada avvaldan berilgan elektr energiyasi manbalari: EYuK, kuchlanish va toklarning hamda avvaldan noma'lum bo'lgan toklarning ixtiyoriy shartli musbat yo'nalishini ko'rsatish (tanlash);

- ❖ sxemadagi har bir berk konturni aylanib chiqishning ixtiyoriy yo'nalishini ko'rsatish (tanlangan yo'nalish bo'yicha tuzilgan tenglamalar uzaro bog'liq bo'lmasin);

- ❖ Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha  $n - 1$  ( $n$  – sxemadagi tugunlar soni) hol uchun toklar tenglamasini tuzish, aks holda oxirgi tugun uchun tuzilgan tenglama avvalgilariga bog'liq bo'lib qoladi;

- ❖ Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra (uzaro bog'liq bo'lmagan)  $K - (n - 1)$  yetishmovchi tenglamalarni tuzish ( $K$  – noma'lum toklar soni):

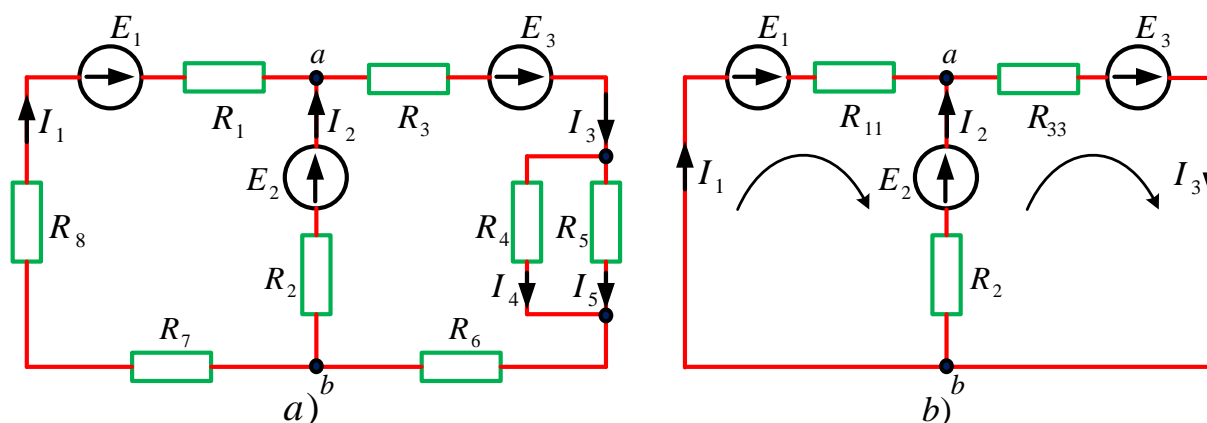
- a) yo'nalishi konturni aylanib chiqish yo'nalishi bilan mos bo'lgan barcha EYuK larni musbat ishora bilan, yo'nalishi qarama-qarshi bo'lgan barcha EYuK larni manfiy ishora bilan tenglamaning bir tomoniga yozish;

- b) yo'nalishi konturni aylanib chiqish yo'nalishi bilan mos bo'lgan toklarning (ichki va tashqi qarshilikda) barcha tarmoqlarda xosil qilgan kuchlanishlar pasayishini musbat ishora bilan, yo'nalishi qarama-qarshi bo'lgan

barcha tarmoqlardagi kuchlanishlarning pasayishini esa manfiy ishora bilan tenglamaning ikkinchi tomoniga yozish;

❖ Kirxgof qonunlari bo'yicha tuzilgan tenglamalar soni sxemadagi tarmoqlar soniga teng bo'lishi kerak.

Misol tariqasida 1.16-rasmda ko'rsatilgan elektr zanjirdagi toklarni aniqlaylik (EYuK va qarshiliklar ma'lum, deb faraz qilamiz).



1.16-rasm.

Berilgan elektr zanjirining boshlang'ich sxemasini (1.16-rasm, a) soddalashtirgandan so'ng 1.16-rasm, b) dagi sxema xosil bo'ladi.

$$R_{11} = R_1 + R_7 + R_8; \quad R_{33} = R_3 + R_6 + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}.$$

Sxemada avvaldan ma'lum bo'lgan EYuK yo'nalishini va aniqlanishi kerak bo'lgan toklarning ixtiyoriy musbat yo'nalishini ko'rsatib, Kirxgof qonunlariga ko'ra tenglamalar sistemasini tuzamiz. Tarmoqlar soni uchta bo'lgani uchun tenglamalar soni ham uchta bo'lishi kerak:

$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0 \\ R_{11} \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2 &= E_1 - E_2 \\ R_2 \cdot I_2 + R_{33} \cdot I_3 &= E_2 + E_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

(1.21) tenglamalar sistemasini yechish nagijasida ayrim toklar musbat yoki manfiy ishoraga ega bo'lib qolishi mumkin. Musbat ishoralar toklarning haqiqiy yo'nalishlari to'g'ri belgilanganligini, manfiylari esa toklarning yo'nalishi teskari belgilanganligini bildiradi.

**1.3-masala.** 1.16 a -rasmda ko'rsatilgan elektr zanjiri uchun

$$E_1 = 100 \text{ V}; \quad E_2 = 70 \text{ V}; \quad E_3 = 92 \text{ V};$$

$$R_1 = 7 \text{ Om}; \quad R_2 = 9 \text{ Om}; \quad R_3 = 9,5 \text{ Om}; \quad R_4 = 2 \text{ Om};$$

$$R_5 = 6 \text{ Om}; \quad R_6 = R_7 = 7 \text{ Om}; \quad R_8 = 8 \text{ Om}$$

ekanligi ma'lum bo'lsa, Kirxgof qonunlarini bevosita qo'llash usuli yordamida zanjirdagi toklarning taqsimlanishi aniqlansin.

**Yechilishi.** Avval birinchi tarmoqdagi  $R_1$ ,  $R_7$ ,  $R_8$  va uchinchi tarmoqdagi  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  qarshiliklarning ekvivalent qarshiligini aniqlab, berilgan sxemani soddaroq kurinishga (1.16-rasm, b) keltiramiz:

$$R_{11} = R_1 + R_7 + R_8 = 7 + 7 + 8 = 22 \text{ Om};$$

$$R_{33} = R_3 + R_6 + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = 9,5 + 7 + \frac{2 \cdot 6}{2 + 6} = 18 \text{ Om}.$$

EYuK lar ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ) va tarmoqlardagi toklar ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) ning ixtiyoriy musbat yo'nalishlarini 1.16-rasm, b da ko'rsatilgandek qabul qilamiz. So'ngra EYuK va qarshiliklarning ma'lum qiymatlarini (1.21) tenglamalar sistemasiga qo'yamiz:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 30 = 22I_1 - 9I_2 \\ 162 = 9I_2 + 18I_3. \end{cases}$$

Mazkur tenglamalar sistemasini yechib,  $I_1 = 3 \text{ A}$ ,  $I_2 = 4 \text{ A}$  va  $I_3 = 7 \text{ A}$  ekanligini topamiz. Demak, aniqlangan barcha toklarning ishorasi musbat bo'lib chikdi, chunki tarmoqlardagi toklarning haqiqiy yo'nalishi ularning 1.16-rasmda ko'rsatilgan yo'nalishlariga mos keldi.  $I_3$  toki uzaro parallel bo'lgan  $R_4$  va  $R_5$  tarmoqlarda taqsimlanib, ularning qarshiligiga teskari proportsional ravishda o'zgaradi, ya'ni:

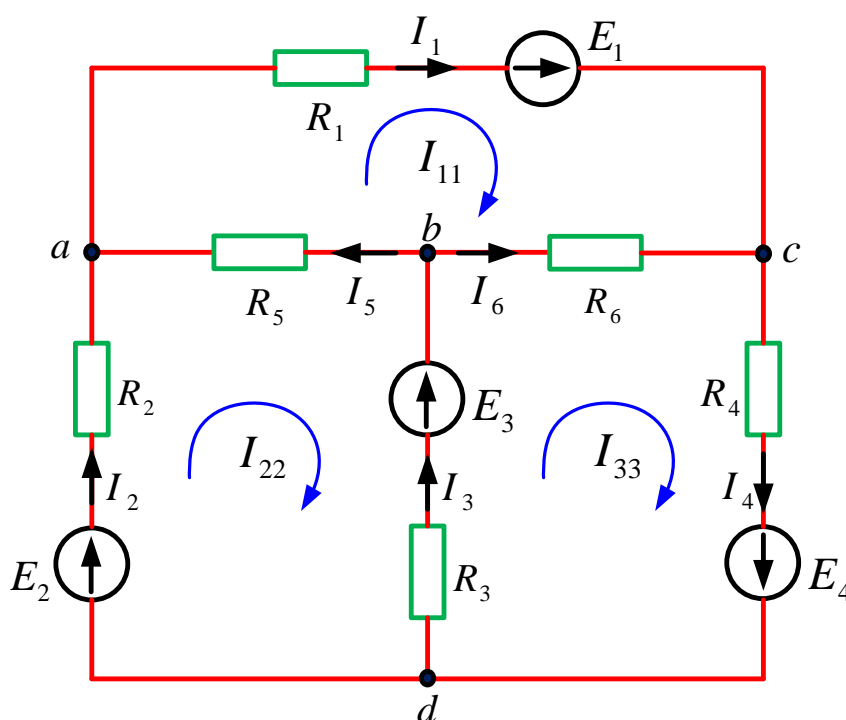
$$I_4 = I_3 \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 7 \cdot \frac{6}{8} = 7 \cdot 0,75 = 5,25 \text{ A};$$

$$I_5 = I_3 \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5} = 7 \cdot \frac{2}{8} = 7 \cdot 0,25 = 1,75 \text{ A}.$$

**Kontur toklari usuli.** Bu usul murakkab elektr zanjirlarini xisoblashda amalda keng kullaniladigan usullardan biri bo'lib, Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan tuzilgan tenglamalar bo'yicha tahlil qilinadi. Kontur toklari usuli tugun nuktalari kup bo'lgan murakkab elektr zanjirlarni xisoblashda samarali bo'lib, u

yordamida tenglamalar sistemasi tuzilganda, Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha tuziladigan tenglamalardan farqli ularok, umumiy yechiladigan tenglamalarning soni avvalgi usulga qaraganda bittaga kamayadi.

Mazkur usul yordamida murakkab elektr zanjirining sxemasi (1.17-rasm) xisoblanganda uni avval mustaqil (*I*; *II*; *III*) konturlarga ajratib, har bir konturda ixtiyoriy yo'nalishga ega bo'lgan kontur toklari  $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$  oqib o'tayapti, deb faraz qilinadi. Kontur toklarining yo'nalishini, iloji boricha\* EYuK lar yo'nalishiga mos qilib olgan ma'qul. Agar kontur toklarining qiymatlari aniqlansa, ular orqali barcha tarmoqlardagi toklarning haqiqiy qiymatlarini aniqlash mumkin.



1.17-rasm.

Kontur toklari absolyut qiymat jixatdan mustaqil tarmoqlardagi toklarga teng bo'lishi kerak. Agar mustaqil tarmoqdagi tokning yo'nalishi (ixtiyoriy olingan) kontur tokining yo'nalishi bilan mos bo'lsa, mustaqil tarmoqdagi tok " + " musbat ishoraga, mos bo'lmasa " - " manfiy ishoraga ega bo'ladi. Masalan, 1.17-rasmda ko'rsatilgan sxemadagi mustaqil (*ac*; *ad*; *cd*) tarmoqlarning toklari  $I_1 = I_{11}$ ;  $I_2 = I_{22}$ ;  $I_4 = I_{33}$  bo'ladi.

Yondosh tarmoqlar (*ab*; *bc*; *bd*) dagi ( $I_3$ ;  $I_5$ ;  $I_6$ ) toklar yondosh konturlarning toklari orqali aniqlanadi. Yondosh konturdagi tokning haqiqiy



qiymati va yo'nalishi yondosh toklarning algebraik yigindisidan iborat. Masalan, 1.17-rasmdagi sxemada yondosh tarmoqlarning toklari:

$$I_3 = I_{33} - I_{22}; \quad I_5 = I_{11} - I_{22}; \quad I_6 = I_{33} - I_{11}.$$

Kontur toklari ( $I_{11}, I_{22}, I_{33}$ ) ni aniqlash uchun har bir konturga alohida, Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tenglama tuziladi. Tenglamani tuzishda quyidagilarga rioya qilish tavsiya etiladi:

- ❖ Konturlar uchun tenglamalar tuzishda konturni aylanib chiqishni kontur toklari yo'nalishi bo'yicha olish.
  - ❖ Tenglamada tarmoq toklarining urniga konturning barcha tarmoqlar uchun bir xil bo'lgan kontur toklarini olish.
  - ❖ Yo'nalishi kontur tokining yo'nalishi bilan mos bo'lgan EYuK larni " + " musbat ishora bilan, yo'nalishi mos bo'lmagan EYuK larni esa " - " manfiy ishora bilan yozish<sup>1</sup>.
  - ❖ Yondosh tarmoqlardagi toklarning yo'nalishi kontur toklarining yo'nalishi bilan mos bo'lsa, yondosh tarmoqning qarshiligi " + " musbat ishora bilan, aksincha, qarama-qarshi bo'lsa, " - " manfiy ishora bilan tenglamaga kiritiladi.
  - ❖ Sxemada nechta mustaqil kontur bo'lsa, ushancha tenglama tuzish kerak
- Shunday qilib, kurilayotgan sxema uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan quyidagi tenglamalar sistemasini tuzamiz:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= (R_1 + R_5 + R_6) \cdot I_{11} - R_5 \cdot I_{22} - R_6 \cdot I_{33} \\ E_2 - E_3 &= -R_5 \cdot I_{11} + (R_2 + R_3 + R_5) \cdot I_{22} - R_3 \cdot I_{33} \\ E_3 + E_4 &= -R_6 \cdot I_{11} - R_3 \cdot I_{22} + (R_3 + R_4 + R_6) \cdot I_{33} \end{aligned} \right\} \quad (1.22)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$\begin{aligned} E_{11} &= E_1; \quad E_{22} = E_2 - E_3; \quad E_{33} = E_3 + E_4; \\ R_{11} &= R_1 + R_5 + R_6; \quad R_{22} = R_2 + R_3 + R_5; \quad R_{33} = R_3 + R_4 + R_6; \\ R_{12} &= R_{21} = -R_5; \quad R_{13} = R_{31} = -R_6; \quad R_{23} = R_{32} = -R_3 \end{aligned}$$

Binobarin, (1.22) tenglamalar sistemasini umumiy holda quyidagicha yozamiz:

<sup>1</sup> Agar konturda EYuK bo'lmasa, tenglamaning chap tomoni 0 ga teng bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} E_{11} &= R_{11} \cdot I_{11} + R_{12} \cdot I_{22} + R_{13} \cdot I_{33} \\ E_{22} &= R_{21} \cdot I_{11} + R_{22} \cdot I_{22} + R_{23} \cdot I_{33} \\ E_{33} &= R_{31} \cdot I_{11} + R_{32} \cdot I_{22} + R_{33} \cdot I_{33} \end{aligned} \right\} \quad (1.23)$$

Bu yerda:  $E_{11}, E_{22}, E_{33}$  - tegishli konturlardagi EYuK larning algebraik yiginaisi;  $R_{11}, R_{22}, R_{33}$  - tegishli konturlardagi qarshiliklarning algebraik yiginaisi;  $R_{12}, R_{21}, R_{13}, R_{31}, R_{23}, R_{32}$  - tegishli yondosh konturlar orasidagi yondosh tarmoqlar qarshiliklarining yigindisi yoki konturlarning o'zaro qarshiliklari.

(1.23) tenglamalar sistemasi, odatda, aniqlovchilar usuli yordamida yechiladi.

Agar  $n$  ta mustaqil konturli elektr zanjiri uchun  $I_{11}, I_{22}, I_{33}, \dots, I_n$  kontur toklarini aniqlash kerak bo'lsa,  $n$  ta tenglama tuziladi, ya'ni:

$$\left. \begin{aligned} E_{11} &= R_{11} \cdot I_{11} + R_{12} \cdot I_{22} + R_{13} \cdot I_{33} + \dots + R_{1n} \cdot I_n \\ E_{22} &= R_{21} \cdot I_{11} + R_{22} \cdot I_{22} + R_{23} \cdot I_{33} + \dots + R_{2n} \cdot I_n \\ E_{33} &= R_{31} \cdot I_{11} + R_{32} \cdot I_{22} + R_{33} \cdot I_{33} + \dots + R_{3n} \cdot I_n \\ \dots &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ E_n &= R_{n1} \cdot I_{11} + R_{n2} \cdot I_{22} + R_{n3} \cdot I_{33} + \dots + R_{nn} \cdot I_n \end{aligned} \right\} \quad (1.24)$$

Tuzilgan  $n$  - tenglamalar sistemasi yordamida  $k$  - konturdagi tok  $I_k$  ni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$I_k = E_{11} \cdot \frac{\Delta k_1}{\Delta} + E_{22} \cdot \frac{\Delta k_2}{\Delta} + E_{33} \cdot \frac{\Delta k_3}{\Delta} + \dots + E_n \cdot \frac{\Delta k_n}{\Delta} \quad (1.25)$$

Bu yerda  $\Delta$  - tenglamalar sistemasining bosh aniqlovchisi:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & \dots & R_{2n} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & \dots & R_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{k1} & R_{k2} & R_{k3} & \dots & R_{kn} \end{vmatrix}; \quad (1.26)$$

$\Delta k_n$  bosh aniqlovchining  $k$  - kator va  $n$  — ustunini uchirib tashlash bilan olingan aniqlovchini  $(-1)^{b+n}$  ga ko'paytirishdan xosil bo'lgan algebraik to'ldiruvchisidir.

**1.4- masala.** 1.17-rasmda ko'rsatilgan elektr zanjiri sxemasi uchun quyidagilar:

$$\begin{aligned} E_1 &= 20 V, & E_2 &= 25 V, & E_3 &= 15 V, & E_4 &= 15 V, \\ R_1 &= 12 Om, & R_2 &= 11 Om, & R_3 &= 10 Om, \\ R_4 &= 10 Om, & R_5 &= 5 Om, & R_6 &= 5 Om \end{aligned}$$

ma'lum bo'lsa, zanjir tarmoqlaridagi toklarning taqsimlanishi *kontur toklari usuli* yordamida aniqlansin.

**Yechilishi.** EYuK larning, tarmoqlardagi toklarning, shuningdek kontur toklarining yo'nalishini rasmda ko'rsatilgandek qabo'l qilamiz.

Har bir kontur EYuK larining algebraik yigindilari:

$$E_{11} = E_1 = 20 \text{ V};$$

$$E_{22} = E_2 - E_3 = 25 - 15 = 10 \text{ V};$$

$$E_{33} = E_3 + E_4 = 15 + 15 = 30 \text{ V}.$$

Har bir kontur qarshiliklarining yigindilari:

$$R_{11} = R_1 + R_5 + R_6 = 12 + 5 + 5 = 22 \text{ Om};$$

$$R_{22} = R_2 + R_3 + R_5 = 11 + 10 + 5 = 26 \text{ Om};$$

$$R_{33} = R_3 + R_4 + R_6 = 10 + 10 + 5 = 25 \text{ Om}.$$

Yondosh tarmoqlarning qarshiliklari:

$$R_{12} = R_{21} = -R_5 = -5 \text{ Om};$$

$$R_{13} = R_{31} = -R_6 = -5 \text{ Om};$$

$$R_{23} = R_{32} = -R_3 = -10 \text{ Om}.$$

Olingan EYuK va qarshiliklarning qiymatlarini (1.24) tenglamalar sistemasiga qo'yamiz:

$$\left. \begin{aligned} 22 \cdot I_{11} - 5 \cdot I_{22} - 5 \cdot I_{33} &= 20 \\ -5 \cdot I_{11} + 26 \cdot I_{22} - 10 \cdot I_{33} &= 10 \\ -5 \cdot I_{11} - 10 I_{22} + 25 \cdot I_{33} &= 30 \end{aligned} \right\}$$

Mazkur tenglamalar sistemasining bosh aniqlovchisi  $\Delta$  ni topamiz.

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} 22 & -5 & -5 \\ -5 & 26 & -10 \\ -5 & -10 & 25 \end{vmatrix} = 22 \cdot \begin{vmatrix} 26 & -10 \\ -10 & 25 \end{vmatrix} + 5 \cdot \begin{vmatrix} -5 & -10 \\ -5 & 25 \end{vmatrix} - 5 \cdot \begin{vmatrix} -5 & 26 \\ -5 & -10 \end{vmatrix} = \\ &= 14300 - 2200 - 625 - 250 - 250 - 650 = 10325. \end{aligned}$$

Kontur toklarini aniqlash uchun bosh aniqlovchining algebraik tulduruvchilarini topamiz.

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} 26 & -10 \\ 10 & 25 \end{vmatrix} = 650 - 100 = 550;$$

$$\Delta_{12} = \Delta_{21} = - \begin{vmatrix} -5 & -10 \\ -5 & 25 \end{vmatrix} = -(-125 - 50) = 175;$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} 22 & -5 \\ -5 & 25 \end{vmatrix} = 550 - 25 = 525;$$

$$\Delta_{13} = \Delta_{31} = \begin{vmatrix} -5 & 26 \\ -5 & -10 \end{vmatrix} = 50 + 130 = 180;$$

$$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} 22 & -5 \\ -5 & 26 \end{vmatrix} = 572 - 25 = 547;$$

$$\Delta_{23} = \Delta_{32} = \begin{vmatrix} 22 & -5 \\ -5 & -10 \end{vmatrix} = -(-220 - 25) = 245.$$

Aniklangan kattaliklar yordamida kontur toklarini topamiz:

$$I_{11} = E_{11} \cdot \frac{\Delta_{11}}{\Delta} + E_{22} \cdot \frac{\Delta_{12}}{\Delta} + E_{33} \cdot \frac{\Delta_{13}}{\Delta} = 20 \cdot \frac{550}{10325} + 10 \cdot \frac{175}{10325} + 30 \cdot \frac{180}{10325} = 1,07 + 0,17 + 0,52 = 1,76 \text{ A};$$

$$I_{22} = E_{11} \cdot \frac{\Delta_{21}}{\Delta} + E_{22} \cdot \frac{\Delta_{22}}{\Delta} + E_{33} \cdot \frac{\Delta_{23}}{\Delta} = 20 \cdot \frac{175}{10325} + 10 \cdot \frac{525}{10325} + 30 \cdot \frac{245}{10325} = 0,34 + 0,51 + 0,71 = 1,56 \text{ A};$$

$$I_{33} = E_{11} \cdot \frac{\Delta_{31}}{\Delta} + E_{22} \cdot \frac{\Delta_{32}}{\Delta} + E_{33} \cdot \frac{\Delta_{33}}{\Delta} = 20 \cdot \frac{180}{10325} + 10 \cdot \frac{245}{10325} + 30 \cdot \frac{547}{10325} = 0,35 + 0,24 + 1,59 = 2,18 \text{ A}.$$

Kontur toklari yordamida tarmoqlardagi toklarning xarakteristik qiymatini aniqlaymiz:

$$I_1 = I_{11} = 1,76 \text{ A};$$

$$I_2 = I_{22} = 1,56 \text{ A};$$

$$I_3 = I_{33} - I_{22} = 2,18 - 1,56 = 0,62 \text{ A};$$

$$I_4 = I_{33} = 2,18 \text{ A};$$

$$I_5 = I_{11} - I_{22} = 1,76 - 1,56 = 0,2 \text{ A};$$

$$I_6 = I_{33} - I_{11} = 2,18 - 1,76 = 0,42 \text{ A}.$$

Demak, barcha tarmoq toklarining qiymatlari musbat bo'lgani tufayli 1.17-rasmda ko'rsatilgan toklarning yo'nalishlari o'zgarishsiz qoladi.

**Tugun potentsiallari (kuchlanishlari) usuli.** Ma'lumki, agar zanjirdagi berilgan EYuK (tok) manbalari va qarshiliklari bo'yicha zanjirning tarmoqlaridagi

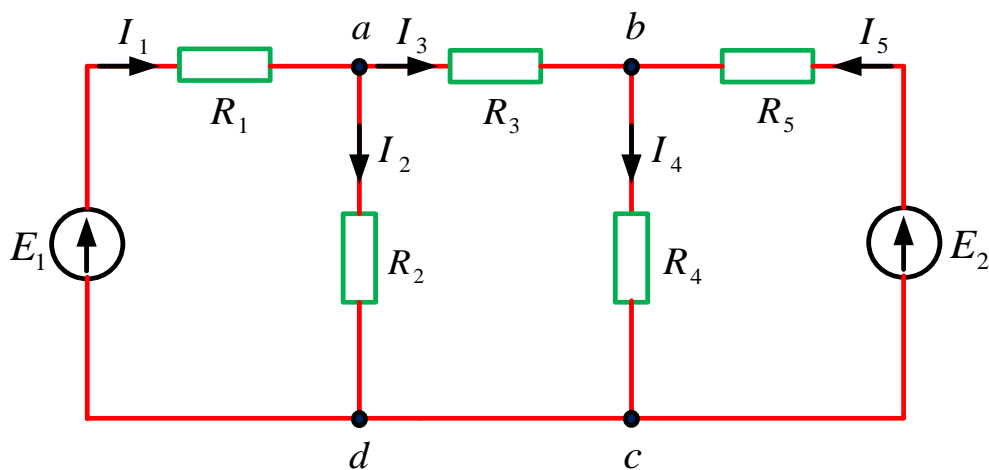
toklar va barcha tugunlari orasidagi kuchlanishlar pasayishini aniqlash mumkin bo'lsa, bunday zanjirni tahlil qilish mumkin, deb hisoblanadi.

Agar ixtiyoriy murakkab elektr zanjirdagi  $(m + 1)$  tugunlardan bittasini [masalan,  $(m + 1)$  tugunni] ajratib olib, uning potentsiali nolga tenglashtirilsa ( $\varphi_{m+1} = \varphi_0 = 0$ ) u holda qolgan barcha tugunlarning potentsiali ana shu tugunga nisbatan aniqlanadi:

$$\varphi_{10} = \varphi_1 - \varphi_0 = \varphi_1; \quad \varphi_{20} = \varphi_2 - \varphi_0 = \varphi_2; \quad \dots;$$

$$\varphi_{m0} = \varphi_m - \varphi_0 = \varphi_m.$$

Bunda  $q$  va  $s$  tugunlari orasida joylashgan  $q - s$  tarmoqning qismalaridagi potentsiallar ayirmasi  $\varphi_{qs} = \varphi_q - \varphi_s$  bo'ladi.  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_m$  tugunlarning potentsiallari ma'lum bo'lsa, ular orasidagi ayirma har doim shu tarzda aniqlanadi. So'ngra Kirxgofning birinchi qonuniga muvofiq elektr zanjirining  $m$  ta muvozanat tenglamasi tuziladi. Tenglamadagi tegishli tarmoqlarning toklarini shu tarmoq o'tkazuvchanliklarini uning elementidagi kuchlanishning pasayishiga ko'paytmasi ko'rinishida ifodalaymiz.



1.18-rasm.

Masalan, 1.18-rasmdagi elektr zanjiri uchun bunday tenglamalar soni ikkita bo'ladi, ya'ni:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1.27)$$

$$I_3 - I_4 + I_5 = 0. \quad (1.28)$$

1.18-rasmdagi elektr zanjirining  $c$  va  $d$  tugunlari bitta tugun deb qaraladi<sup>2</sup>. Shuning uchun ham  $a$ ,  $b$  va  $c$  tugunlarning potentsiallarini tegishlicha  $\varphi_a = \varphi_1$ ,  $\varphi_b = \varphi_2$ , va  $\varphi_c = 0$  orqali belgilab, butun zanjirning toklari uchun quyidagi tenglamalarni tuzamiz:

$$I_1 = \frac{1}{R_1}(E_1 - \varphi_1) = G_1 \cdot (E_1 - \varphi_1);$$

$$I_2 = \frac{1}{R_2}\varphi_1 = G_2 \cdot \varphi_1;$$

$$I_3 = \frac{1}{R_3}(\varphi_1 - \varphi_2) = G_3 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2);$$

$$I_4 = \frac{1}{R_4}\varphi_2 = G_4 \cdot \varphi_2;$$

$$I_5 = \frac{1}{R_5}(E_2 - \varphi_2) = G_5(E_2 - \varphi_2).$$

Bunda,  $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  – elektr zanjirini tegishli tarmoqlarining o'tkazuvchanliklari.

Toklarning mazkur kiymaglarini (1.27) va (1.28) ga kuyib, quyidagini xosil qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} G_1(E_1 - \varphi_1) - G_2\varphi_1 - G_3(\varphi_1 - \varphi_2) &= 0 \\ G_3(\varphi_1 - \varphi_2) - G_4\varphi_2 + G_5(E_2 - \varphi_2) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

yoki

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1(G_1 + G_2 + G_3) - \varphi_2 G_3 &= G_1 E_1 = I_1 \\ -\varphi_1 G_3 + \varphi_2(G_3 + G_4 + G_5) &= G_5 E_2 = I_2 \end{aligned} \right\} \quad (1.29)$$

1.29 tenglamalar sistemasini soddalashtirish uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$G_{11} = G_1 + G_2 + G_3 - \text{birinchi tugunning xususiy o'tkazuvchanligi};$$

$$G_{22} = G_3 + G_4 + G_5 - \text{ikkinchi tugunning xususiy o'tkazuvchanligi};$$

$$G_{12} = G_{21} = G_3 - \text{birinchi va ikkinchi tugunlarning o'zaro o'tkazuvchanligi}.$$

Kiritilgan belgilashlar asosida 1.29 tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 G_{11} - \varphi_2 G_{12} &= I_1 \\ -\varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} &= I_2 \end{aligned} \right\}$$

<sup>2</sup> Sababi  $c$  va  $d$  tugunlar orasida birorta manba yoki qarshilik yo'q.

Ma'lumki,  $m$  ta tugun potentsialli ixtiyoriy murakkab elektr zanjiri uchun tenglamalar sistemasini umumlashgan ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 G_{11} - \varphi_2 G_{12} - \dots - \varphi_m G_{1m} &= I_1, \\ -\varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} - \dots - \varphi_m G_{2m} &= I_2, \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\ \varphi_1 G_{m1} - \varphi_2 G_{m2} - \dots + \varphi_m G_{mm} &= I_m. \end{aligned} \right\} \quad (1.30)$$

Tenglamalarning chap tomonida faqat bittadan  $\varphi_k G_{kk}$  ko'rinishdagi musbat ko'paytma, qolganlari  $\varphi_q G_{qs}$  ko'rinishdagi manfiy ko'paytmalardir. Har bir tenglamaning o'ng tomonida  $k$  – tugunga bevosita bog'liq bo'lgan energiya manbalaridan kelayotgan toklarning yig'indisi  $I_k$  yozilgan.

Bu manbalar EYuK manbalari bo'lsa, u holda  $I_k$  ga barcha EYuK larning ushbu EYuK lar ulangan tarmoqlar o'tkazuvchanliklariga ko'paytmasining algebraic yig'indasi kiradi. Agar  $E_q G_q$  ko'paytma xosil qilgan tok tugunga qarab yo'nalsa, ushbu ko'paytmaning ishorasi musbat va aksincha yo'nalsa, manfiy bo'ladi. Tok manbai mavjud bo'lganda  $I_k$  yig'indining qiymati tarmoqning o'tkazuvchanligiga bog'liq bo'lmaydi (agar  $k$  – tugunga nisbatan yo'nalishini hisobga olsak EYuK ham, tok manbai ham  $s$  tugunga tegishli bo'lmasa, unda  $I_k = 0$  bo'ladi).

Bu usulda ham 1.30 tenglamalar sistemasining echimi aniqlovchilar tordamida topiladi, ya'ni:

$$\varphi_k = \frac{\Delta K_1}{\Delta} I_1 + \frac{\Delta K_2}{\Delta} I_2 + \dots + \frac{\Delta K_k}{\Delta} I_k,$$

bunda bosh aniqlovchi ( $\Delta$ ) quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta = \begin{vmatrix} G_{11} & -G_{12} & -\dots & -G_{1m} \\ -G_{11} & G_{12} & -\dots & -G_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -G_{m1} & -G_{m2} & -\dots & G_{mm} \end{vmatrix};$$

$\Delta_{qs} = \Delta_{sq}$  – bosh aniqlovchining minorlari bo'lib, ishorasi  $(-1)^{q+s}$  ga ko'paytirish yo'li bilan aniqlanadi.

Tarmoqlardagi haqiqiy toklarning qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:  
 $k, q, \dots, s$  tugunlarni nol potentsialli tugun bilan ulovchi tarmoqlar uchun

$$I_k = \varphi_k G_k, \quad I_q = \varphi_q G_q, \quad \dots, \quad I_s = \varphi_s G_s$$

shunindek,  $k$  va  $q$ ,  $q$  va  $s$  va hokazo tugunlarni ulovchi tarmoqlar uchun

$$I_{kq} = \varphi_k G_{kq} = (\varphi_k - \varphi_q) G_{kq};$$

$$I_{qs} = (\varphi_q - \varphi_s) G_{qs}.$$

**1.5-masala.** 1.18-rasmda ko'rsatilgan elektr zanjiri uchun quyidagilar

$$E_1 = 60 V, \quad E_2 = 30 V,$$

$$R_1 = 8 \text{ Om}, \quad R_2 = 5 \text{ Om}, \quad R_3 = 6 \text{ Om}, \quad R_4 = 7 \text{ Om}, \quad R_5 = 16 \text{ Om}$$

ma'lum bo'lsa, elektr zanjiri tarmoqlaridagi toklar tugun potentsiallari usuli yordamida aniqlansin.

**Echilishi.** Agar " $c - d$ " tugunlarni bitta tugun deb hisoblasak va uning potentsialini  $\varphi_0 = 0$  deb olsak, " $a$ " tugunning potentsiali  $\varphi_1$ , " $b$ " tugunning potentsiali  $\varphi_2$  bo'ladi. Shunga ko'ra masala ikkita tenglama bilan echiladi:

$$\begin{cases} \varphi_1 G_{11} - \varphi_2 G_{12} = I_1, \\ -\varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} = I_2. \end{cases}$$

Bu yerda

$$G_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{8} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} = \frac{59}{120} \approx 0,5 \text{ Sm};$$

$$G_{12} = G_{21} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6} = 0,167 \text{ Sm};$$

$$G_{22} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{16} = \frac{125}{336} = 0,372 \text{ Sm};$$

$$J_1 = E_1 G_1 = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ A};$$

$$J_2 = E_2 G_5 = \frac{30}{16} = 1,875 \text{ A}.$$

Yuqoridagi tenglamalar sistemasini qayta yozamiz:

$$\begin{cases} 0,5\varphi_1 - 0,167\varphi_2 = 7,5 \\ -0,167\varphi_1 + 0,372\varphi_2 = 1,875. \end{cases}$$

Bu tenglamalar sistemasini yechish natijasida quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\varphi_1 = 20 V, \quad \varphi_2 = 14 V.$$

Tarmoqlardagi toklar esa quyidagi qiymatlarga ega.



$$I_1 = (E_1 - \varphi_1) \cdot G_1 = \frac{60 - 20}{8} = 5 \text{ A};$$

$$I_2 = \varphi_1 \cdot G_2 = 20 \cdot \frac{1}{5} = 4 \text{ A};$$

$$I_3 = (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot G_3 = \frac{20 - 14}{6} = 1 \text{ A};$$

$$I_4 = \varphi_2 \cdot G_4 = \frac{14}{7} = 2 \text{ A};$$

$$I_5 = (E_2 - \varphi_2) \cdot G_5 = \frac{30 - 14}{16} = 1 \text{ A}.$$

Kirxgofning birinchi qonuniga binoan:

$$\text{"a"} \text{ tugun uchun } I_1 - I_2 - I_3 = 0 \leftrightarrow 5 - 4 - 1 = 0;$$

$$\text{"a"} \text{ tugun uchun } I_3 - I_4 + I_5 = 0 \leftrightarrow 1 - 2 + 1 = 0;$$

**Ustlash (superpozitsiya) usuli.** Bu usuldan, asosan, chiziqli elektr zanjirlari (qarshiligi uzidan o'tayotgan tokka bog'liq bo'lmagan elektr zanjirlari)ni hisoblashda foydalaniladi. Ushbu usulga asosan sxemada birdan ortiq EYuK manbalari bo'lsa, elektr zanjiri har bir EYuK manbaining ta'siridan xosil bo'lgan xususiy toklar uchun alohida (bosqichma-bosqich) hisoblanadi. Har bir bosqichda sxemada bitta EYuK manbai qoldirilib, qolgan barcha manbalar vaqtincha nolga teng, deb faraz qilinadi va barcha tarmoqlarda shu EYuK ta'siridan oqayotgan toklar topiladi. Zanjirda nechta EYuK manbai bo'lsa, hisoblash ishlari shuncha marta bajariladi. Ammo zanjirdagi barcha qarshiliklar va sxemadan vaqtincha ajratilgan manbalarning ichki qarshiliklari o'zgarishsiz qoldiriladi. Agar manbalarning ichki qarshiligi berilmagan bo'lsa, u nolga teng deb qabo'l qilinadi. Agar biror murakkab elektr zanjiri  $m$  ta EYuK manбайдan va  $n$  ta tarmoqdan tashkil topgan bo'lsa, u holda  $k$ -nomerli ixtiyoriy tarmoqning  $R_k$  qarshiligidan sxemadagi har bir EYuK ta'siridan xosil bo'lgan  $I'_k, I''_k, \dots, I_k^{(m)}$  kabi turli qiymat va yo'nalishlarga ega bo'lgan xususiy toklar oqib o'tadi.

Tarmoqlardan oqib o'tayotgan toklarning haqiqiy qiymatlari ayrim manbalar ta'sirida xosil bo'lgan xususiy toklarning algebraik yigindisiga teng:

$$I_k = \sum_{n=1}^m I_n \quad 1.31$$

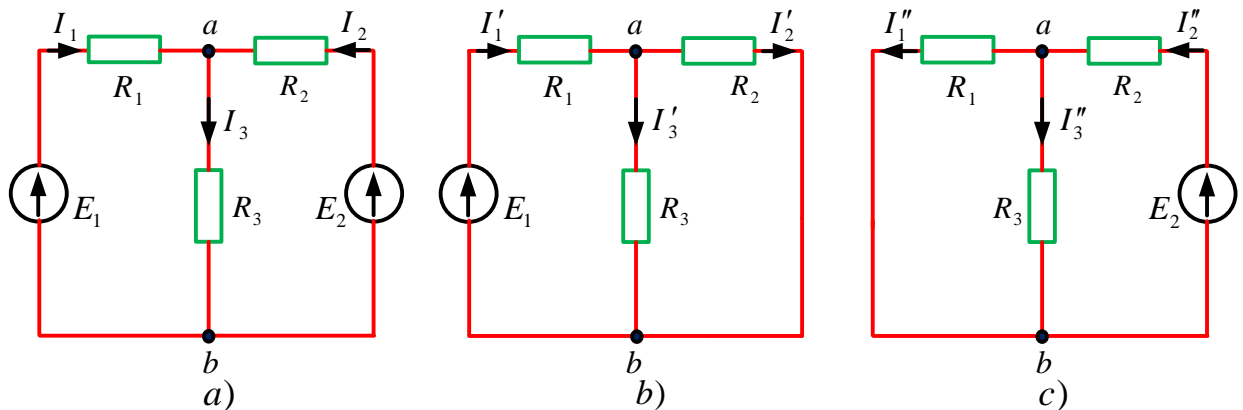
Tarmoqlardagi xususiy toklarning yo'nalishlari uzaro mos bo'lsa, haqiqiy tok musbat, qarama-qarshi bo'lsa manfiy hisoblanadi. Shuning uchun tarmoqlardagi toklarning haqiqiy yo'nalishlarini sxemadagi barcha manbalarning toklari (ularning qiymati va yo'nalishi) aniqlangandan so'ng ko'rsatish ma'qul.

**1.6- masala.** Agar 1.19 a -rasmda berilgan elektr zanjir uchun quyidagilar:

$$E_1 = 99 V, \quad E_2 = 66 V,$$

$$R_1 = 12 \text{ Om}, \quad R_2 = 6 \text{ Om}, \quad R_3 = 18 \text{ Om}$$

ekanligi ma'lum bo'lsa, zanjir tarmoqlaridagi toklar *ustlash usuli* yordamida aniqlansin.



1.19-rasm.

**Yechilishi.** Agar elektr zanjirida fakat EYuK  $E_1$  ning ta'siri mavjud desak (1.19 b -rasm), u holda zanjirning umumiy qarshiligi:

$$R_{1E} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 12 + \frac{6 \cdot 18}{6 + 18} = 12 + 4,5 = 16,5 \text{ Om}.$$

Zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok:

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_{1E}} = \frac{99}{16,5} = 6 \text{ A}.$$

Tarmoqlardagi xususiy toklar:

$$I'_2 = I'_1 \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 6 \cdot \frac{18}{6 + 18} = 4,5 \text{ A};$$

$$I'_3 = I'_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 6 \cdot \frac{6}{6 + 18} = 1,5 \text{ A}.$$

Agar zanjirda fakat EYuK  $E_2$  ning ta'siri mavjud desak, (1.19 c -rasm), u holda zanjirning umumiy qarshiligi:

$$R_{2E} = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 6 + \frac{12 \cdot 18}{12 + 18} = 6 + 7,2 = 13,2 \text{ Om.}$$

Zanjirning tarmoqlanmagan qismidagi tok:

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_{2E}} = \frac{66}{13,2} = 5 \text{ A.}$$

Tarmotslardagi xususiy toklar:

$$I_1'' = I_2'' \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} = 5 \cdot \frac{18}{12 + 18} = 3 \text{ A;}$$

$$I_3'' = I_2'' \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3} = 5 \cdot \frac{12}{12 + 18} = 2 \text{ A.}$$

Xususiy toklarning qiymatlari va yo'nalishlarini hisobga olgan holda, tarmoqlardagi toklarning haqiqiy qiymatlari va yo'nalishlarini aniqlaymiz:

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 6 - 3 = 3 \text{ A;}$$

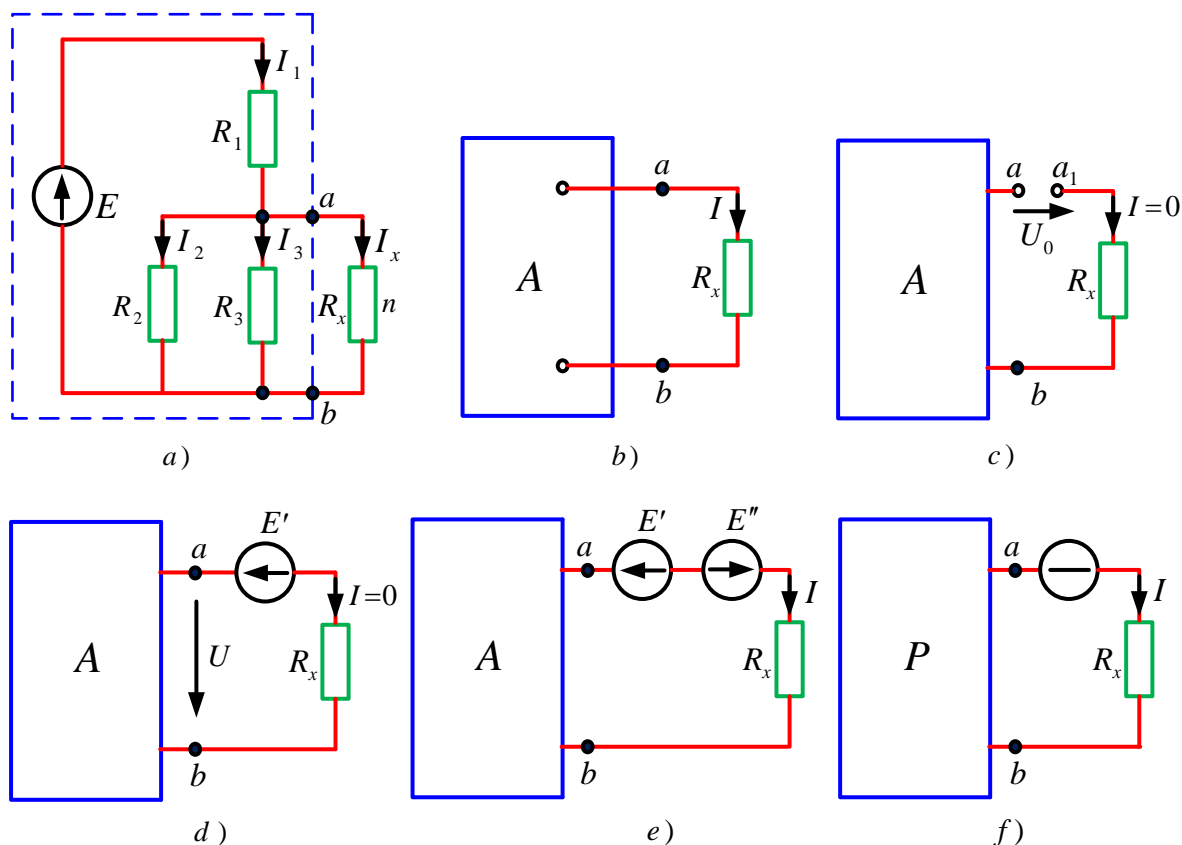
$$I_2 = I_2'' - I_2' = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ A;}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 1,5 + 2 = 3,5 \text{ A.}$$

Demak, tarmoqlardagi toklarning haqiqiy yo'nalishlari 1.19 a - rasmda ko'rsatilgan yo'nalishlarga mos keladi

**Ekvivalent generator (manba) usuli.** Murakkab elektr zanjirining ixtiyoriy bitta tarmogidagi tokning qiymatini aniqlash kerak bo'lganda ekvivalent generator usuli birmuncha qulay hisoblanadi. Masalan, 1.20 a - rasmdagi zanjir  $a n b$  tarmogining  $R_x$  qarshiligidan o'tayotgan  $I_x$  tokini aniqlash kerak bo'lsin. Albatta, bu tok zanjirning punktirga olingan qismidagi EYuK (EYuK manbalari birdan ortiq bo'lishi ham mumkin) ta'siridan xosil bo'lgan tokdir. Zanjirning punktirga olingan qismi elektrotexnikada ikki qismali yoki ikki qutbli aktiv zanjir deyiladi. Shunga ko'ra, 1.20 b - rasmda zanjirning punktirga olingan qismi ikkita qismasi bo'lgan turtburchak A tarzida ko'rsatilgan.  $a n b$  tarmogidagi tokni aniqlash oson bo'lishi uchun shu tarmoqning  $a$  nutstasidan zanjirni ajratamiz ( 1.20 c - rasm), u holda  $a n b$  tarmogidagi tok nolga teng bo'lib,  $a$  va  $a_1$  nuqtalari orasida salt ishlash kuchlanishi  $U_0$  xosil bo'ladi. Agar  $a$  va  $a_1$  qismlariga Qiymati  $U_0$  ning

qiymatiga teng, ammo yo'nalishi unga qarama-qarshi bo'lgan EYuK  $E_1$  ni ulasak (1.20 d -rasm),  $R_x$  qarshiligidagi tok nolga tengligicha qolaveradi.



1.20-rasm.

Agar  $a n b$  tarmog'iga qiymati EYuK  $E'$  ga teng, ammo yo'nalishi unga teskari bo'lgan EYuK  $E''$  ni ulasak (1.20-rasm, e),  $R_x$  qarshiligidan qiymati boshlangich zanjirdagi (1.20-rasm, a) haqiqiy tok qiymatiga teng bo'lgan tok o'ta boshlaydi. Shuning uchun bu sxema boshlangich sxemaga ekvivalent hisoblanadi. Bu holda  $a n b$  tarmogidan fakat EYuK  $E'' = U_0$  ta'sirida xosil bo'lgan tok o'ta boshlaydi, chunki boshka EYuK lar ta'siridan xosil bo'lgan toklar nolga teng bo'ladi. Shunga ko'ra,  $a n b$  tarmoqdan o'tayotgan tok quyidagicha aniqlanadi:

$$I = \frac{E''}{R_{Eich} + R_x} = \frac{U_0}{R_{Eich} + R_x}$$

Bu yerda  $R_{Eich}$  - ikki qutblilik ichki qarshiliklarining ekvivalent qiymati (uning barcha EYuK lari nolga teng deb hisoblanganda), ammo ikki qutblilikka ulanuvchi qarshilik o'zgarishsiz qoldiriladi. Bunday ikki qutblilik passiv qutblilik deyilib, shartli ravishda ichiga  $P$  harfi yozilgan turtburchak tarzida ko'rsatiladi. Qarshilik  $R_{Eich}$  ni ikki qutblilikning kirish qarshiligi  $R_{kir}$  deb ham ataladi.

**1.7 -masala.** 1.20-rasm, a da ko'rsatilgan elektr zanjiri uchun quyidagilar:  
 $E = 60 V$ ,  $R_1 = 18 \text{ Om}$ ,  $R_2 = 30 \text{ Om}$ ,  $R_3 = 20 \text{ Om}$ ,  $R_x = 12 \text{ Om}$  ma'lum bo'lsa, elektr zanjirining  $a n b$  tarmog'idan o'tayotgan tok  $I$  aniqlansin.

**Yechilishi.**  $a n b$  tarmoq zanjirning  $a$  nuqtasidan ajratilganda  $a$  va  $a_1$

Qismalardagi kuchlanish  $U_0$  ni aniqlash uchun avval zanjirning punkterga olingan qismidagi ekvivalent qarshilik  $R_E$  va tok  $I$  ni hisoblash kerak.

$$R_E = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 18 + \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 18 + 12 = 30 \text{ Om}.$$

U holda zanjirdagi tok: 
$$I = \frac{E}{R_E} = \frac{60}{30} = 2 \text{ A}.$$

$a b$  qismalardagi kuchlanish ( $U_{ab} = U_0$ ) quyidagicha aniqlaiadi:

$$U_{ab} = E - I \cdot R_1 = 60 - 2 \cdot 18 = 60 - 36 = 24 \text{ V}.$$

Noma'lum tokni aniqlash uchun quyidagi qarshiliklar aniqlanadi:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = \frac{600}{50} = 12 \text{ Om};$$

$$R_{kir} = \frac{R_1 \cdot R_{23}}{R_1 + R_{23}} = \frac{18 \cdot 12}{18 + 12} = \frac{216}{30} = 7,2 \text{ Om}.$$

Noma'lum tok

$$I_x = \frac{U_{ab}}{R_{kir} + R_x} = \frac{24}{7,2 + 12} = \frac{24}{19,2} = 1,25 \text{ A}.$$

**Tekshirish.** Zanjirning chiqish qismalaridagi kuchlanish

$$U_{ab} = I_x \cdot R_x = 1,25 \cdot 12 = 15 \text{ V}.$$

Demak, tarmoqlardagi toklar tegishli qayidagilarga teng:

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = \frac{15}{30} = 0,5 \text{ A} \text{ va } I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3} = \frac{15}{20} = 0,75 \text{ A}$$

Umumiy tok

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_x = 0,5 + 0,75 + 1,25 = 2,5 \text{ A}.$$

$R_1$  qarshilikdagi kuchlanish

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 2,5 \cdot 18 = 45 \text{ V}$$

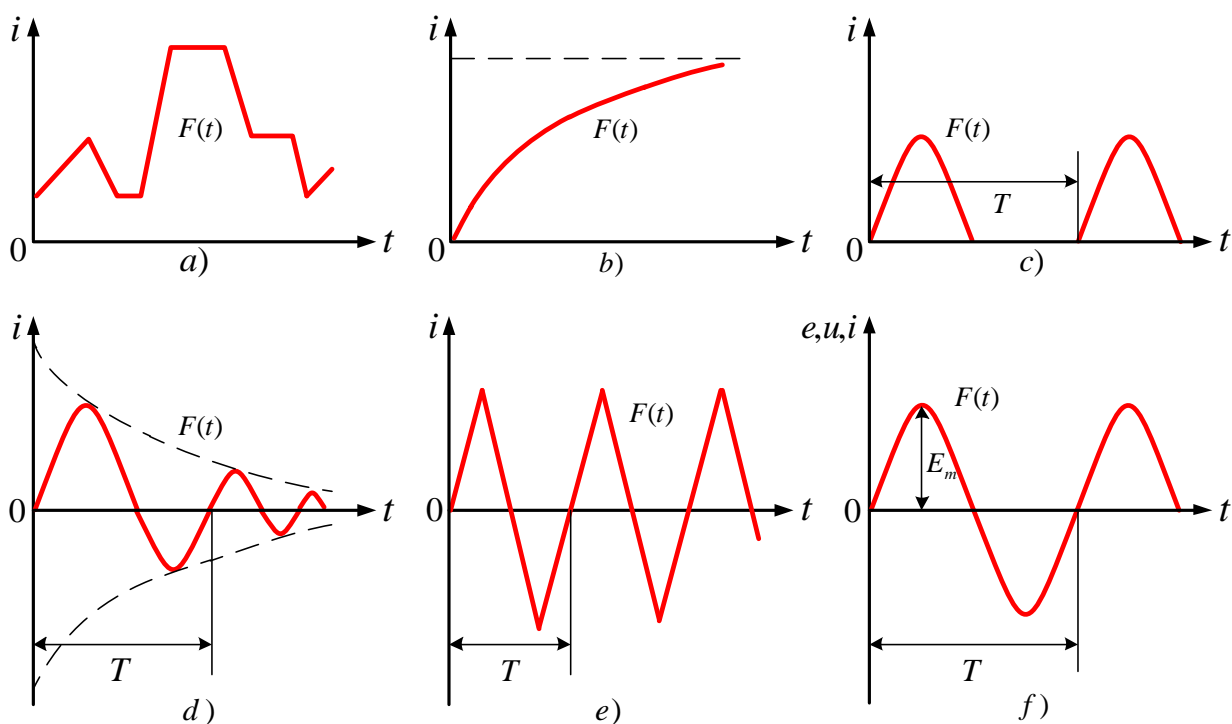
yoki

$$E = U_1 + U_{ab} = 45 + 15 = 60 \text{ V}.$$

## II BOB. BIR FAZALI O'ZGARUVCHAN TOK ELEKTR ZANJIRLARI

### 2.1. O'zgaruvchan tok turlari

Yo'nalishi va qiymati davriy ravishda o'zgarib turadigan har qanday tok *o'zgaruvchan tok* deyiladi. O'zgaruvchan tok vaqt bo'yicha ma'lum qonun asosida o'zgaradi, ya'ni tokning qiymati vaqtning funktsiyasidir. Shuningdek, elektromagnit energiyasini bir turdan boshqa turga aylantirishning barcha fizikaviy jarayonlari hozirgi zamon elektrotexnikasi barcha sohalari (elektr mashinalar, radiotexnika, aloqa, elektroavtomatika, yarim o'tkazgichlar, hisoblash texnikasi va boshqalar)ning asosini tashkil etadi. Ayrim elektr qurilmalarda esa qiymati davriy ravishda o'zgaruvchi toklar ishlatiladi. Bunday toklar pulsatsiyalanuvchi toklar deyiladi (2.1-rasm, a-c).



2.1-rasm.

Umuman o'zgaruvchan tokni shartli ravishda uchta turga bo'lish mumkin:

- 1) qiymati o'zgaruvchan, ammo yo'nalishi o'zgarmas tok (2.1 a va c -rasm);
- 2) qiymati va yo'nalishi o'zgaruvchan tok (2.1 d va f -rasm);
- 3) davriy o'zgaruvchan tok (2.1 c va f -rasm).

Sanoatda va turmushda foydalaniladigan o'zgaruvchan tok sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaruvchan tokdir (2.1 f -rasm). Bu tokni yuqori kuchlanish bilan uzoq masofalarga uzatish hamda o'zgaruvchan tokda ishlovchi mashina va apparatlar (transformatorlar, asinxron va sinxron dvigatellarni ishga tushirishda ishlatish mumkin. Sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradigan EYuK, kuchlanish va toklar ***sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklar*** hisoblanadi.

Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklar bo'lmish EYuK, kuchlanish, tok va quvvatlarning ixtiyoriy vaqt lahzasidagi qiymatlari oniy qiymatlar deyilib, ***e, u, i, p*** harflari bilan belgilanadi. Shu oniy qiymatlarning davr ichidagi eng kattasi maksimal yoki amplituda qiymatlar deyilib,  $E_m, U_m, I_m, P_m$  harflari bilan belgilanadi (2.1 f -rasm).

Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarning ta'sir etuvchi (effektiv) va o'rtacha qiymatlari (batafsil keyinroq ko'rib chiqiladi) tegishlicha  $E, U, I, P$  va  $E_{o'r}, U_{o'r}, I_{o'r}, P_{o'r}$  harflari bilan belgilanadi.

## **2.2. Sinusoidal o'zgaruvchan EYuK ni hosil qilish**

Sinusoidal o'zgaruvchan tok, asosan, elektrostantsiyalarda bug' va gidravlik turbinali generatorlar yordamida hosil qilinadi. Mazkur generatorlarning ishlashi esa elektromagnit induktsiyasi va elektromagnit kuch qonunlariga asoslangan.

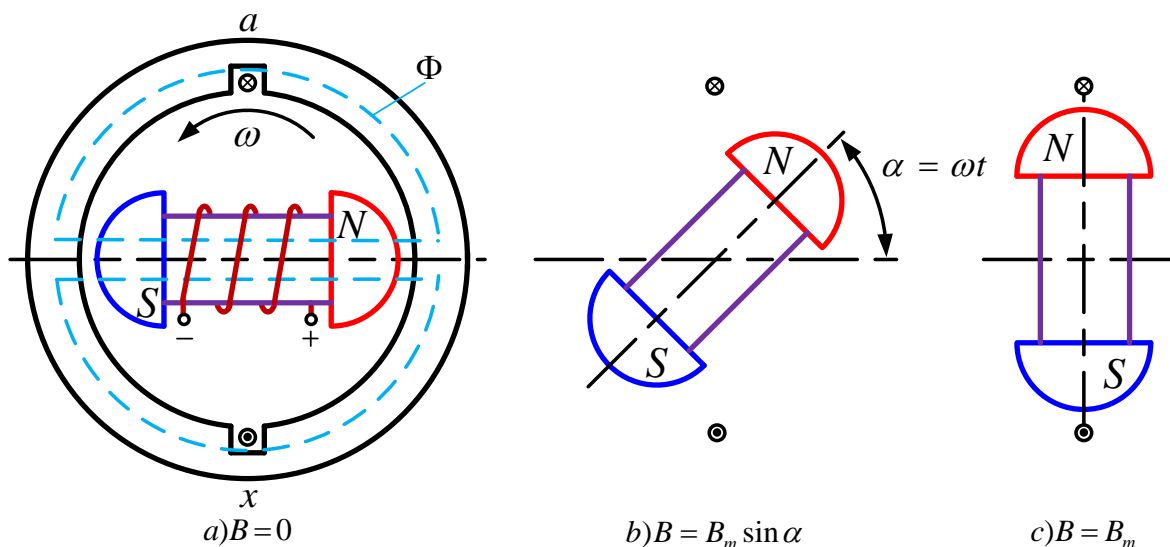
O'zgaruvchan tok generatori ikkita asosiy qismdan, ya'ni aylanuvchan rotor (elektromagnit) va qo'zg'almas statordan iborat (2.2-rasm).

Statorning pazlariga miss chulg'amlar joylashtirilgan (chulg'amning bitta  $a - x$  o'rami 2.2 a -rasmda ko'rsatilgan, bunda  $a$  - o'ramning bosh uchi,  $x$ -oxirgi uchi).

Rotor o'zgarmas magnit yoki elektromagnitning bir turi hisoblanib, generatorning asosiy magnit maydonini hosil qilish uchun xizmat qiladi. Kuchli generatorlarning rotori elektromagnit rejimida ishlaydi, bunda u hosil qilgan magnit maydonining magnit oqimini boshqarish mumkin.

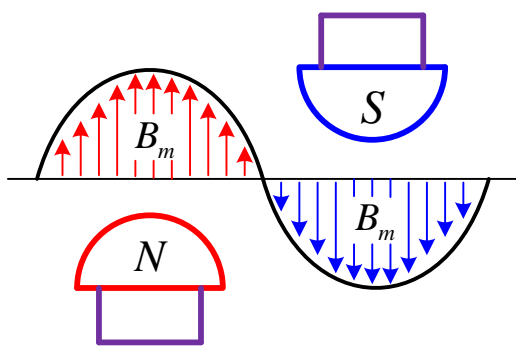
Rotor o'zgarmas  $\omega$  burchak tezlik bilan aylanganda uning magnit kuch chiziqlari har bir pazdagi o'tkazgichda qiymati  $e = BLv$  ga teng bo'lgan EYuK ni

hosil qiladi (induksiyalaydi). Bunda  $B$  – magnet induksiyasi,  $(\text{Vb/m}^2) = \text{TI}$ ;  $l$  - o'tkazgichning aktiv uzunligi,  $m$ ;  $v$ -o'tkazgichning nisbiy harakat tezligi,  $m/s$ .



2.2-rasm.

$e$  ning o'zgarish xarakteri rotorning qutbi bilan stator oralig'idagi magnet induksiyasining taqsimlanish qonuniga asoslanadi. Sinusoidal o'zgaruvchan EYuK ni hosil qilish uchun rotorning magnet qutblariga maxsus konstruktiv shakl beriladi. Bunda stator bilan qutb orasidagi havo bo'shlig'i qutbning o'rtasida minimal bo'lib, uning chekkasi tomon kattalasha boradi. Bunda havoli oraliqdagi muhitning magnet qarshiligi bir xil bo'lmasligi tufayli magnet induksiyasi qutbning o'rtasida, ya'ni havoli oraliq minimal bo'lgan joyda maksimal qiymatga ega bo'lib, uning chekkasi tomon sinusoidal qonun bo'yicha tekis kamaya boradi.



2.3-rasm.

Magnet induksiyasining bunday taqsimoti 2.3-rasmda ko'rsatilgan. Endi o'ramida induksiyalangan EYuK ning rotor holatiga bog'liqligini ko'rib chiqaylik. Agar rotorning 2.2 a -rasm da ko'rsatilgan gorizontol holatini boshlang'ich vaqt  $t = 0$  bilan belgilasak,  $\alpha - x$  o'rami joylashgan yerda magnet

induksiyasi  $B = 0$  bo'lgani uchun unda induksiyalangan EYuK nolga teng bo'ladi ( $e = 0$ ). Qandaydir  $t$  vaqtda rotor  $\alpha = \omega t$  burchakka burilganda (2.2 b -



rasm)  $a - x$  o'ramining sterjenlari (o'tkazgichlari) joylashgan yerda magnit induktsiyasi  $B=B_m \sin a$  bo'lgani uchun bitta sterjenda induktsiyalangan EYuK:

$$e' = B_m \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha.$$

U holda o'ramda induktsiyalangan EYuK:

$$e = 2e' = 2B_m lv \sin \alpha. \quad (2.1)$$

O'ng qo'l qoidasini qo'llash bilan o'ramda induktsiyalangan EYuK ning yo'nalishini aniqlash mumkin. O'ramning yuqori kesimidagi  $\otimes$  ishora unda induktsiyalangan EYuK shartli yo'nalishining boshlanishini (nayzaning dumi), pastki kesimidagi  $\oslash$  esa (nayzaning bosh uchi) oxirini bildiradi.

Rotor o'zining boshlang'ich holatiga nisbatan  $90^0$  ga burilganda (2.2v - rasm) o'ramining sterjenlari joylashgan yerda magnit induktsiyasi  $B = B_m$  bo'lib, induktsiyalangan EYuK ham o'zining maksimal qiymatiga 2.3-rasm erishadi:

$$E_m = 2B_m lv. \quad (2.2)$$

Agar ekanligi hisobga olinsa, (2.1), (2.2) formulalardan induktsiyalanayotgan EYuK ning sinusoidal qonun bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi quyidagi formula hosil qilinadi:

$$e = E_m \sin \omega t, \quad (2.3)$$

bu yerda  $\omega$  – o'zgaruvchan tokning burchak chastotasi.

2.4- rasmdagi grafikda rotorning to'liq bir marta aylanishida sinusoidal EYuK ning o'zgarishi ko'rsatilgan.

Agar  $a - x$  o'ramning qismlariga biror yuklama ulasak, zanjir bo'ylab:

$$i = I_m \sin \omega t \quad (2.4)$$

tok o'ta boshlaydi. Bu vaqtda  $a-x$  o'ramining qismlaridagi kuchlanish:

$$u = U_m \sin \omega t. \quad (2.5)$$

Sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanish va tok uchun ham 2.4-rasmdagiga o'xshash grafiklarni chizish mumkin.

### 2.3. Sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyani xarakterlovchi kattaliklar

Sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaruvchi funktsiyaning amplitudasi, davri (yoki chastotasi) va fazasi mazkur funktsiyani xarakterlovchi kattaliklar

hisoblanadi. Sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyaning amplituda qiymati deb, uning musbat va manfiy yarim davrlarda erishgan eng katta qiymatlariga aytiladi. EYuK, kuchlanish va tokning amplituda qiymatlari (2.3), (2.4), (2.5) ifodalarda tegishlicha  $E_m, U_m$  va  $I_m$  bilan belgilangan. 2.4-rasmdagi grafikda EYuK ning amplituda qiymati  $E_m$  bilan belgilangan.

2.2 a -rasmdagi generatorning  $a - x$  o'ramida induktsiyalangan EYuK ning to'liq bir marta o'zgarishi uchun ketgan vaqt  $T$  uning davri deyiladi. Davrga teskari bo'lgan kattalik  $f = \frac{1}{T} \left( \frac{1}{C} \right)$  **tokning chastotasi** deyiladi. Chastota gertsda o'lchanadi ( $1Hz = \frac{1}{C}$ ).

Elektrotexnikada o'zgaruvchan tokning standart chastotasi sifatida Hamdo'stlik va Yevropa mamlakatlarida 50 Hz, AQSh va hamda Osiyo va Afrikadagi ayrim mamlakatlarda 60 Hz qabul qilingan. Elektrotexnik qurilmalar uchun asosiy chastota sifatida 50 ÷ 60 Hz ishlatilishi quyidagilarga bog'liq. Chastotaning 50 ÷ 60 Hz dan kichik qiymatlarida elektr mashinalar va transformatorlarning tannarxi ortadi. Shuningdek, elektr lampochkalar yorug'ligining lipillashi ko'zga sezilarli bo'lib qoladi. Chastotani 50 Hz dan birmuncha orttirish elektr mashinalarda energiya isrofining ortishiga sabab bo'lib, hosil bo'ladigan o'zinduksiya EYuK va elektr sig'imi hodisalari o'zgaruvchan tok qurilmalarining ishiga salbiy ta'sir qiladi.

50 Gts chastotali o'zgaruvchan tokni hosil qilish (yoki sinusoidal o'zgaruvchan EYuK hosil qilish) uchun 2.2 a -rasmdagi ikki qutbli o'zgaruvchan tok generatorining rotorini

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ ayl/min} \quad (2.6)$$

tezlik bilan aylantirish kerak.

Bu yerda: 60-sekunddan minutga o'tish koeffitsienti;  $p$  –rotor magnit maydonining juft qutblari soni.

Rotor bug' turbinalari yordamida katta tezlik bilan aylanadigan turbogeneratorlarning magnit qutblari bir juftli bo'ladi. Rotorining aylanish tezligi

nisbatan kichik bo'lgan gidravlik turbinalarda esa ko'p qutbli generatorlardan foydalaniladi.

Sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyani xarakterlovchi kattaliklardan yana biri uning fazasidir.

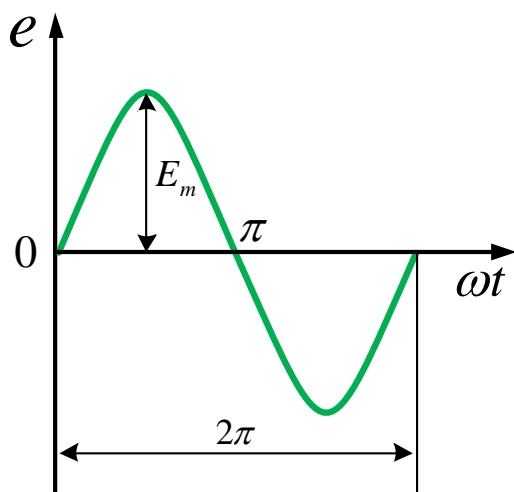
Faza – biron  $t=0$  vaqtda stator chulg'amlari o'ramlarining rotorning magnit kuch chiziqlariga nisbatan holatidir. Shuning uchun ana shu  $t=0$  paytda chulg'amlarda induktsiyalangan EYuK ning qiymatini bilish ahamiyatga ega. U holda 2.2 b -rasmdagi rotorning holatiga mos o'ramda induktsiyalangan EYuK

$$e = E_m \sin(\omega t + \Psi_e) \quad (2.7)$$

formula bilan ifodalanadi. Unga mos grafik esa 2.5-rasmda ko'rsatilgan.  $(\omega t + \Psi_e)$  burchak faza burchagi yoki faza deyiladi.  $\Psi_e$  – boshlang'ich faza hisoblanadi. Umuman, faza vaqt o'tishi bilan sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyaning qiymatini xarakterlaydi.

(2.7) ifodadagi  $\omega$  sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyaning burchak sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyaning bir sekundda necha radian o'zgarishini ko'rsatadi. Masalan,  $f = 50 \text{ Hz}$  bo'lganda

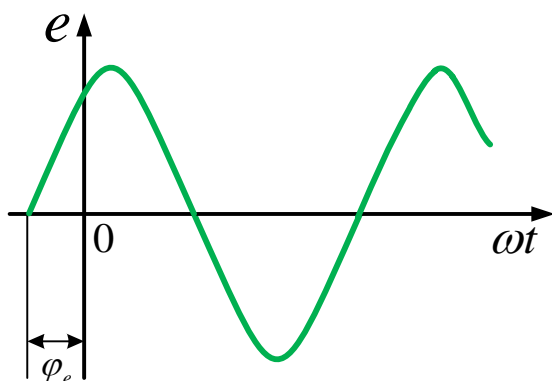
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/s} \quad (2.8)$$



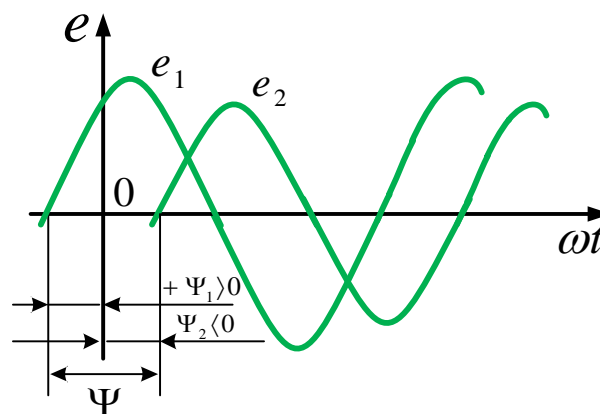
**2.4-rasm.**

Grafikda boshlang'ich faza burchagi  $\psi$  ning qiymati sinusoidalning koordinata boshidagi holati bilan aniqlanadi. Sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyaning nol qiymatlardan musbat qiymatlarga o'tish nuqtasi davrning boshlanish lahzasi hisoblanadi. Musbat boshlang'ich faza koordinata boshidan chap tomonga, manfiysi o'ng tomonga qo'yiladi. Masalan, turli boshlang'ich fazaga ega bo'lgan

ikkita sinusoidal o'zgaruvchan funktsiya  $e_1 = E_m \sin(\omega t + \Psi_1)$  va  $e_2 = E_m \sin(\omega t - \Psi_2)$ .



2.5-rasm.



2.6-rasm.

2.6-rasmda ko'rsatilgan ikki sinusoidal o'zgaruvchan kattalik  $e_1$  va  $e_2$  ning boshlang'ich fazalari orasidagi burchak  $\psi$  ga faza siljish burchagi deyiladi. Amalda tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi  $\varphi$  ( $\cos \varphi$ ) ko'proq ishlatiladi.

#### 2.4. Sinusoidal o'zgaruvchan funktsiyaning ta'sir etuvchi va o'rtacha qiymatlari.

Har qanday elektr zanjiridagi tokning qiymatini bilish, baholash yoki aniqlash muhim ahamiyatga ega.

O'zgarmas tok zanjirida tok miqdori doimo o'zgarmas bo'lgani uchun uni elektr zanjiri qonunlari yoki o'lchash asboblari yordamida o'lchash mumkin. O'zgaruvchan tok zanjirida esa tok o'z yo'nalishi va qiymatini uzluksiz o'zgartirib turadi, shuning uchun uni ixtiyoriy lahzadagi oniy qiymatlar orqali baholab bo'lmaydi. Shu boisdan o'zgaruvchan tokning ta'sir etuvchi (effektiv) yoki o'rtacha qiymatidan foydalaniladi.

Umumiy holda, o'zgaruvchan tokning ta'sir etuvchi qiymati deb, mazkur tokning  $T$  davr ichida  $R$  qarshilikdan o'tayotib, xuddi shu kattalikdagi o'zgarmas tok ta'sirida ajralib chiqadigan issiqlik miqdoriga ekvivalent bo'lgan qiymatiga aytiladi.

Ma'lumki, o'zgarmas tokning  $R$  qarshilikdan  $T$  davr ichida o'tishida ajralib chiqqan issiqlik miqdori

$$Q = I^2 RT$$

Shu davrda  $R$  qarshilikdan o'tgan sinusoidal tok  $i = I_m \sin \omega t$  ta'siridan ajralib chiqqan issiqlik miqdori esa

$$Q = \int_0^T i^2 R dt = R \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt = RI_m^2 \int_0^T \sin^2 \omega t dt$$

Quyidagi o'zgartirish natijasida:

$$\int_0^T \sin^2 \omega t dt = \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \frac{1}{2} \int_0^T dt - \frac{1}{2} \int_0^T \cos 2\omega t dt = \frac{T}{2} - \frac{1}{2\omega} \sin 2\omega t \Big|_0^T$$

chunki

$$\frac{1}{2\omega} \int_0^{2\pi} \cos 2\omega t dt = 0.$$

Demak,

$$Q_{\sim} = \frac{I_m^2}{2} RT.$$

Ikkala tok issiqlik ta'sirining ekvivalentlik sharti ga binoan

$$I^2 RT = \frac{I_m^2}{2} RT \quad \text{yoki} \quad I^2 = \frac{I_m^2}{2}$$

yoki

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2.9)$$

Demak, sinusoidal o'zgaruvchan tokning ta'sir etuvchi qiymati uning maksimal qiymatidan  $\sqrt{2}$  marta kichikdir.

Yuqoridagi o'xshash yo'l bilan sinusoidal o'zgaruvchan EYuK va kuchlanishlarning ham ta'sir etuvchi qiymatlarini yoza olamiz:

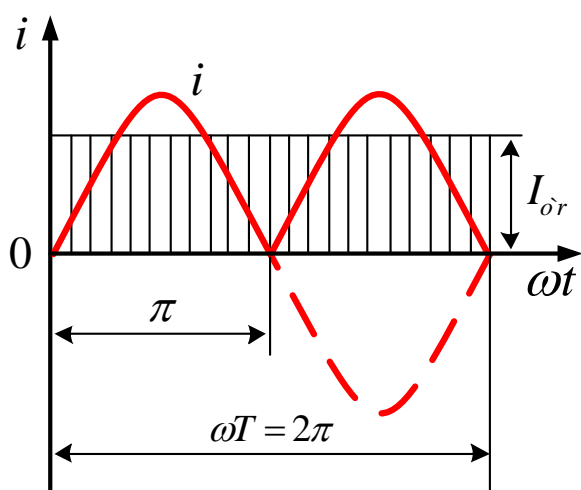
$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (2.10)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (2.11)$$

O'zgaruvchan tok zanjiridagi barcha o'lchov asboblari sinusoidal kattaliklarning ta'sir etuvchi qiymatlarini o'lchashga mo'ljallangan.

Sinusoidal kattaliklarning ta'sir etuvchi qiymatlari o'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirlari orasidagi asosiy qonuniyatlarni bog'lashda o'xshash matematik ifodalar olinishiga imkon beradi.

**Sinusoidal kattaliklarning o'rtacha qiymati.** Ba'zan elektr zanjirlarining va



**2.7-rasm.**

o'zgaruvchan tok qurilmalarining ishlashi tahlil qilinganda sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarning o'rtacha qiymatini aniqlash kerak bo'ladi. Umuman, sinusoidal kattaliklarning davr ichidagi o'rtacha qiymati nolga teng bo'lganidan uning musbat yarim davrdagi o'rtacha qiymati inobatga olinadi (2.7-rasm). U holda tok

$i = I_m \sin \omega t$  ning o'rtacha qiymati:

$$I_{or} = \frac{1}{0.5T} \int_0^{0.5T} i dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t dt = \frac{I_m}{\pi} |\cos \omega t| = \frac{2I_m}{\pi} = 0,636 I_m. \quad (2.12)$$

Demak, sinusoidal tokning o'rtacha qiymati musbat yarim davrdagi oniy toklar yig'indisining o'rtacha arifmetik qiymatiga teng.

Yuqoridagi o'xshash yo'l bilan EYuK va kuchlanishning ham o'rtacha qiymatlarini topish mumkin:

$$E_{or} = \frac{2E_m}{\pi} = 0,636 E_m; \quad (2.13)$$

$$U_{or} = \frac{U_m}{\pi} = 0,636 U_m. \quad (2.14)$$

O'zgaruvchan tok ta'sir etuvchi qiymatining uning o'rtacha qiymatiga nisbati ( $I/I_{or}$ ) sinusoida shaklining koeffitsienti  $K_f$  ni ifodalaydi:

$$K_f = \frac{I}{I_{or}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11. \quad (2.15)$$

Olingan nisbat sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarning o'rtacha qiymatlari ma'lum bo'lsa, ularning ta'sir etuvchi qiymatlarini aniqlash va aksincha, ta'sir etuvchi qiymatlari ma'lum bo'lsa, o'rtacha qiymatlarini aniqlashga imkon beradi:

$$I = 1,11 I_{or}; \quad E = 1,11 E_{or}; \quad U = 1,11 U_{or}.$$

## 2.5. Sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarni aylanuvchan vektorlar yordamida ifodalash.

Vektor diagrammalar. O'zgaruvchan tok zanjirlari nazariyasini o'rganishda va zanjirdagi jarayonlarni tekshirishda, ba'zan, turli amplituda va boshlang'ich fazaga ega bo'lgan bir xil chastotali sinusoidal miqdorlarni qo'shish va ayirish kerak bo'ladi. Bu masalani analitik va grafikaviy usullarda, shuningdek aylanuvchan vektorlar yordamida hal etish mumkin. Masalan, ikkita sinusoidal kattalik

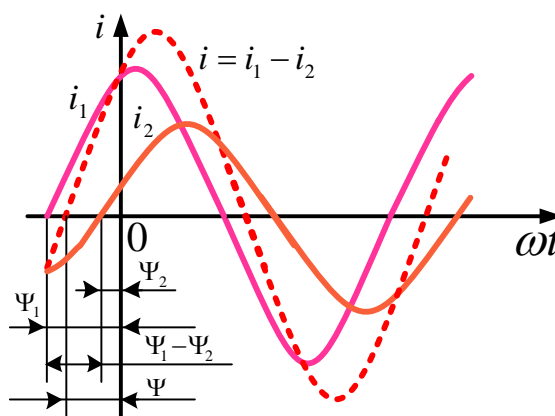
$$i_1 = I_{m_1} \sin(\omega t + \Psi_1) \text{ va } i_2 = I_{m_2} \sin(\omega t + \Psi_2)$$

Berilgan bo'lsa, ularning yig'indisi analitik usul asosida quyidagi trigonometrik o'zgartirishlar natijasida aniqlanadi:

$$i = i_1 + i_2 = I_{m_1} \sin(\omega t + \Psi_1) + I_{m_2} \sin(\omega t + \Psi_2) = I_m \sin(\omega t + \Psi).$$

Ko'rinib turibdiki, teng ta'sir etuvchi tok  $i$  ham o'sha chastotada sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaryapti. Qo'shiluvchilar soni orta borgan sari teng ta'sir etuvchi tokni trigonometrik almashtirishlar yo'li bilan aniqlash tobora murakkablashadi. Shuning uchun, bu usulni amaliy hisoblashlar uchun qo'llab bo'lmaydi. Bu toklarning teng ta'sir etuvchisini to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida grafik tarzda aniqlash uchun ularning koordinatlarini qo'shib chiqish kerak (2.8-rasm), bu usul ham ko'p mehnat talab qilib, aniq natija bermaydi.

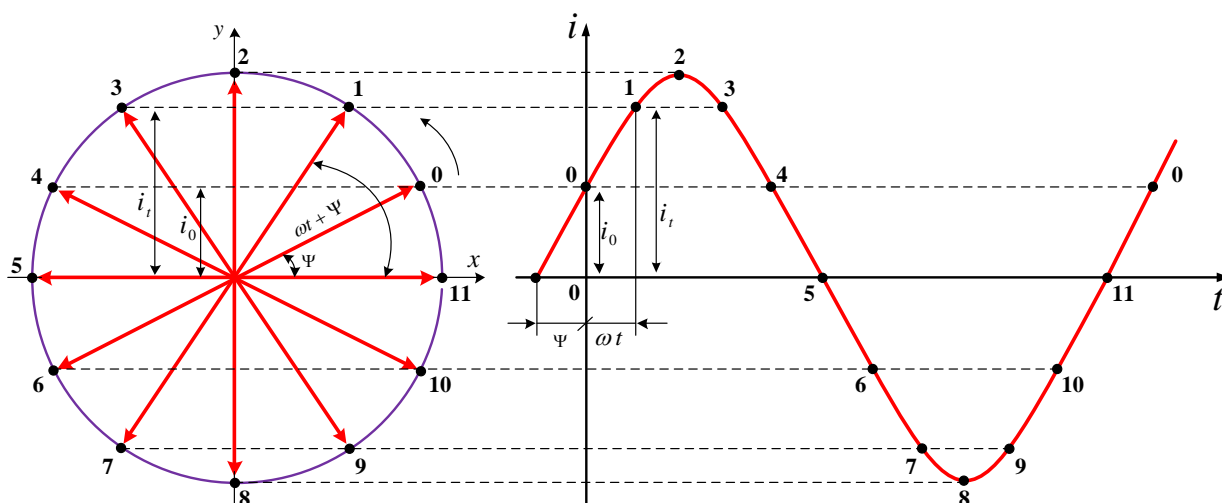
Berilgan sinusoidal kattaliklarning sonidan qat'iy nazar ularning yig'indisi yoki ayirmasini aylanuvchi vektorlar yordamida aniqlash amaliy jihatdan qulay hisoblanadi. Bunda burchak chastotasiga ega bo'lgan sinusoidal EYuK kuchlanish va toklar to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida



**2.8-rasm.**

burchak tezlikka teng bo'lgan aylanuvchan vektorlar tarzida ifodalanadi.

Aylanuvchan radius-vektorning uzunligi sinusoidal kattaliklarning amplituda (yoki effektiv) qiymatiga teng qilib olinadi, Masalan, tok  $i = I_m \sin(\omega t + \Psi)$  ni aylanuvchan vektor tarzida ifodalash kerak bo'lsin.



2.9-rasm.

Buning uchun to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasini olib (2.9-rasm), koordinata boshidan  $\Psi$  burchak ostida soat milining harakatiga teskari yo'nalishda (boshlang'ich fazasi musbat bo'lgani uchun) tanlangan masshtab bo'yicha, uzunligi tokning maksimal qiymatiga teng bo'lgan vektor  $\bar{I}_m$  ni o'tkazamiz. Agar vektor  $\bar{I}_m$  rasm ko'rsatilgan yo'nalish bo'yicha  $\omega$  burchak tezlik bilan harakatlanayotgan bo'lsa, uning ordinata o'qiga proektsiyasi vaqt bo'yicha sinusoidal qonunga ko'ra o'zgaradi. Faraz qilaylik,  $t$  vaqt davomida mazkur vektor  $\omega t$  burchakka burilgan bo'lsin. U holda vektorning ordinata o'qiga proektsiyasi sinusoidal kattalikning oniy qiymati ( $ob = i = I_m \sin(\omega t + \Psi)$ )ni ifodalaydi. Vektor  $\bar{I}_m$  ni boshlang'ich holatiga nisbatan turli burchaklarga burish bilan uning tegishli oniy qiymatlarini aniqlash mumkin. Radius-vektor  $\bar{I}_m$  ning bir marta to'liq aylanishlar chastotasi (soni) sinusoidal tokning chastotasiga teng demakdir.

Vektor diagrammalarni tuzishda va unga o'tishda quyidagilarga rioya qilinishi kerak:

1. Vektorlarga faqat bir xil  $\omega$  chastotali sinusoidal kattaliklar bo'lgandagina o'tish mumkin.



2. Vektorli ifodaga vaqt  $t = 0$  da o'tiladi, barcha tegishli hisoblashlarni  $\omega$  chastotani hisobga olmasdan bajarish mumkin, chunki vektorlar aylanganda ularning o'zaro joylashishi o'zgarmaydi.

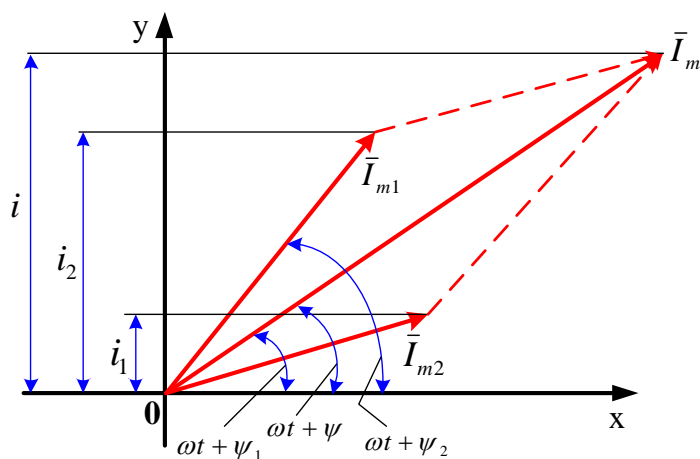
3. Sinusoidal kattaliklar soni birdan ortiq bo'lganda ulardan qaysi birini boshlang'ich vektor (yoki faza) uchun qabul qilish ixtiyoriy, ammo qolgan vektorlar boshlang'ich vektorga nisbatan fazalar farqiga ko'ra joylashish kerak.

4. Sinusoidal kattaliklar vektorlari yo'nalishlarining o'zgarishi nazariy mexanikadagi kabi fazoviy bo'lmasdan, vaqtga qarab o'zgaradi. Ammo ularni qo'shish va ayirish oddiy vektorlar kabi bajariladi. Ularning modullari tegishli amplituda qiymatlarni ifodalasa, yo'nalishlari orasidagi burchaklar esa berilgan sinusoidal kattaliklarning (vaqt bo'yicha) faza siljishini ifodalaydi.

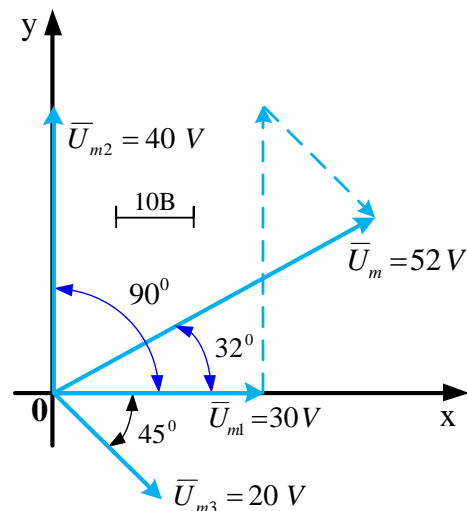
5. Boshlang'ich fazasi musbat bo'lgan vektor koordinata boshida soat mili harakatiga teskari yo'nalishda, manfiysi esa soat milining harakati yo'nalishida qo'yilishi kerak.

Yuqoridagi shartlarni hisobga olgan holda ikki sinusoidal kattalik

$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \Psi_1)$  va  $i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \Psi_2)$  ning yig'indisi  $i = i_1 + i_2 = I_m \sin(\omega t + \Psi)$  ni aylanuvchi vektorlar yordamida aniqlashning tasviri 2.10-rasmda ko'rsatilgan.



2.10 - rasm



2.11 - rasm

Ko'pincha vektor diagrammalarda aylanuvchan vektorlarning uzunligi sinusoidal miqdorlarning amplitudaviy qiymatiga teng bo'lmasdan, balki uning

ta'sir etuvchi qiymatini ifodalaydi. Bunda vektor diagramma qurish masshtabi  $\sqrt{2}$  marta o'zgaradi.

Umuman, vektor diagramma, deb to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasida bir-birlariga nisbatan to'g'ri orientatsiyalarda qurilgan, turli amplituda va boshlang'ich fazaga ega bo'lgan bir xil chastotadagi sinusoidal miqdorlarni xarakterlovchi vektorlar yig'indisiga aytiladi.

**2.1-masala.** Sinusoidal bo'lgan  $u_1 = 30 \sin \omega t$ ,  $u_2 = 40 \sin(\omega t + 90^\circ)$  va  $u_3 = 20 \sin(\omega t - 45^\circ)$  kuchlanishlarnitng berilgan qiymatlari bo'yicha vektor diagrammasini tuzib, zanjirdagi umumiy kuchlanishning o'zgarish qonuniyati aniqlansin.

**Yechilishi:**  $u_1 = 30 \sin \omega t$  ning boshlang'ich fazasi  $\Psi_1 = 0$  bo'lgani uchun uning yo'nalishi absissalar o'qining musbat yo'nalishiga mos bo'lib, vektor diagrammada  $U_{m_1}$  bilan ifodalangan (2.11-rasm).

Kuchlanish  $u_2 = 40 \sin(\omega t + 90^\circ)$  ning boshlang'ich fazasi  $\Psi_2 = 90^\circ$  bo'lgani uchun u kuchlanish  $u_1$  dan faza bo'yicha  $90^\circ$  ilgari keladi. Shuning uchun vector  $U_{m_2}$  vektor  $U_{m_1}$  ga nisbatan soat milining harakatiga teskari yo'nalishda  $90^\circ$  ga burilgan bo'ladi.  $u_3 = 20 \sin(\omega t - 45^\circ)$  ning boshlang'ich fazasi  $\Psi_3 = -45^\circ$  bo'lgani uchun u  $u_1$  dan faza bo'yicha  $45^\circ$  kechikadi. Shuning uchun vector  $U_{m_3}$  vektor  $U_{m_1}$  ga nisbatan soat milining harakat yo'nalishi bo'yicha  $45^\circ$  ga burilgan bo'ladi.

Endi uchala vektorni o'zaro qo'shib umumiy kuchlanishning amplituda qiymati  $U_m = U_{m_1} + U_{m_2} + U_{m_3}$  ni aniqlaymiz.

$U_m$  ning vektor diagrammadagi uzunligini tanlangan masshtab ( $m_U = 1B/mm$ ) ga ko'p aytirish orqali uning qiymatini aniqlaymiz:

$$U_m = l_{U_m} \cdot m_U = 52mm \cdot 1B/mm = 52B.$$

Endi transportir yordamida  $U_m$  abtsissalar o'qi orasidagi burchakni o'lchaymiz. Mazkur burchak zanjirdagi umumiy kuchlanishning faza siljishi burchagi bo'lib,  $\Psi+32^\circ$  ga teng. U holda zanjirda umumiy kuchlanishning o'zgarish qonuniyati quyidagicha ifodalanadi:  $u = 52 \sin(\omega t + 32^\circ)B$ .

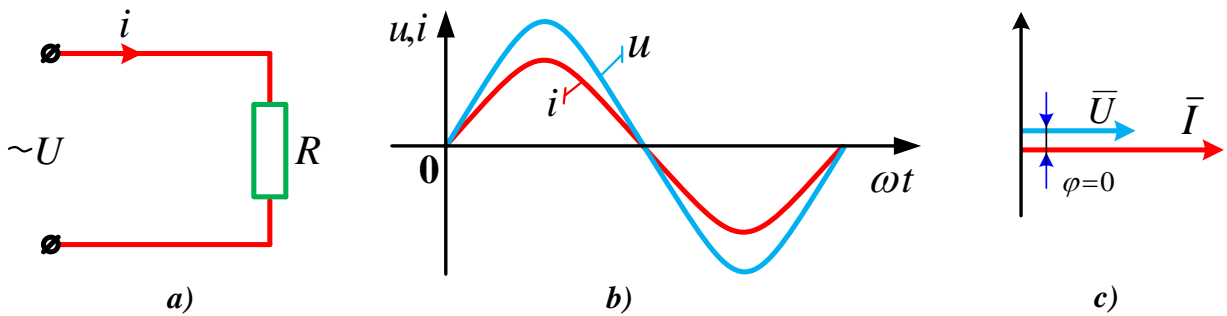
## 2.6. Aktiv qarshilik, induktiv g'altak va kondensator ulangan o'zgaruvchan tok zanjirlari

**Umumiy tushunchalar.** Har qanday elektrotexnik qurilmalar ma'lum darajada qarshilik  $R$ , induktivlik  $L$  va sig'im  $C$  elementlariga ega. Bu elementlar o'zgaruvchan tok zanjirining asosiy parametrlari hisoblanib, zanjirdagi o'zgaruvchan tokning miqdoriga va boshlang'ich fazasiga doimo ta'sir ko'rsatadi. Umuman olganda, o'zgaruvchan tok zanjirining elektr sxemasi ana shu elementlardan turlicha kombinatsiyada tashkil topgan bo'ladi.

Elektr manбайдan iste'mol qilinayotgan energiya issiqlik energiyasiga aylanadigan zanjir elementi aktiv element, uning qarshiligi aktiv qarshilik ( $R$ ), undagi quvvat esa aktiv quvvat ( $P$ ) deyiladi. Zanjirning induktivlik va sig'im elementlarida esa iste'mol qilinayotgan elektr energiyasi davriy ravishda goh magnit, goh elektr maydonlari energiyasiga aylanib, so'ngra elektr energiyasining manbaiga qaytadi. Manba bilan iste'molchi orasida energiya almashinish jarayoni sodir bo'lgani uchun mazkur elementlar reaktiv elementlar, ularning qarshiligi reaktiv qarshiliklar (induktiv- $X_L$ , sig'imi- $X_C$ ), ulardagi quvvatlar esa reaktiv quvvatlar (induktiv- $Q_L$ , sig'imi- $Q_C$ ) deyiladi.

$R$ ,  $L$ ,  $C$  parametrlarning har biri o'zgaruvchan tok zanjiriga yakka holda qanday ta'sir etishini ko'rib chiqamiz.

***Aktiv qarshilik ulangan o'zgaruvchan tok zanjiri.*** Bu xildagi yuklamaga (iste'molchiga) elektr energiyasini issiqlik energiyasiga aylantirib beradigan iste'molchilar (cho'g'lanma lampalar, barcha texnika va maishiy elektr isitish asboblari, reostat va boshqalar) kiradi.



2.12 – rasm.

Faraz qilaylik, aktiv qarshilikli elektr zanjiri sinusoidal kuchlanish

( $u = U_m \sin \omega t$ ) manbaiga ulangan bo'lsin (2.12a -rasm). U holda Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan zanjirning elektr muvozanat tenglamasi  $u = i \cdot R$  bo'ladi. U holda, Om qonuniga binoan zanjirdagi tok:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t, \quad (2.16)$$

bu yerda

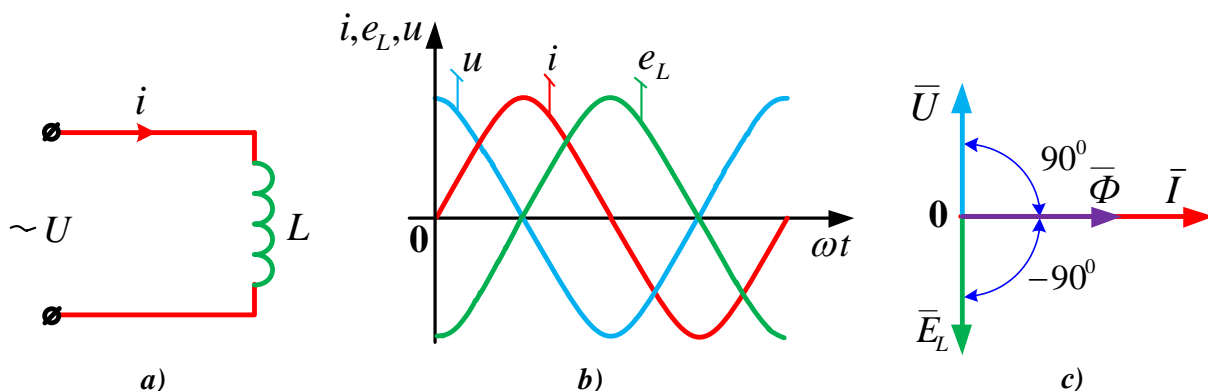
$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (2.17)$$

Shunday qilib, ifodalardan ko'rinib turibdiki, aktiv qarshilikli zanjirda kuchlanish bilan tokning o'zgarishi sinusoidal bo'lib, ularning fazalari o'zaro mosdir. Binobarin, kuchlanish bilan tok grafiklari va vektorlari orasidagi faza siljish burchagi  $\varphi = 0$  (2.12 b, c -rasm).

Agar (2.17) ifodaning ikkala qismini  $\sqrt{2}$  ga bo'lsak, ko'rilayotgan zanjir uchun Om qonunining kuchlanish va tokning ta'sir etuvchi qiymatlari orqali ifodalangan formulasini hosil qilamiz:

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.18)$$

**Induktiv g'altak ulangan o'zgaruvchan tok zanjiri.** Aksariyat elektrotexnik qurilmalarning asosiy qismini induktiv g'altaklar (asinxron dvigatellar, transformatorlar va b.) tashkil qiladi. Real induktiv g'altak o'zining induktivligidan tashqari, aktiv  $R_L$  va sig'im  $C_L$  qarshiliklarga ham ega. Ammo zanjirdagi fizikaviy jarayonlarni aniq tasavvur qilish uchun berilgan induktiv g'altak (ideal induktiv g'altak) induktivlikdangina iborat, ya'ni  $R_L = 0$ ,  $C_L = 0$  deb faraz qilinadi.



2.13 – rasm.

Agar berilgan induktiv g'altakdan sinusoidal o'zgaruvchan tok  $i = I_m \sin \omega t$  oqib o'tayotgan bo'lsa (2.13a -rasm), u holda tok hosil qilgan o'zgaruvchan magnit oqimi  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$  ning ta'siridan g'altakda doimo induksiya EYuK ( $e_L$ ) mavjud bo'ladi.

$e_L$  g'altakning induktivligi va tokning o'zgarish tezligiga bog'liq, ya'ni

$$e_L = -L \frac{di}{dt} \quad (2.19)$$

(2.19) tenglamaning o'ng tomoni oldidagi minus ishora Lents printsiptiga binoan yozilgan.

Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan zanjirning elektr muvozanat tenglamasi

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt}. \quad (2.20)$$

Demak zanjirga berilgan kuchlanish istalgan lahzada  $e_L$  ga qiymat jihatdan teng, ammo yo'nalishi qarama-qarshi.

(2.20) formulaga tokning qiymatini kiritsak, induktiv g'altakli zanjirdagi kuchlanishning o'zgarishini ifodalovchi tenglikni hosil qilamiz:

$$u = u_L = -e_L = L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ) = U_m \sin(\omega t + 90^\circ). \quad (2.21)$$

Demak, induktiv g'altakli zanjirdagi kuchlanish bilan tok (grafiklari va vektorlari) orasidagi faza siljish burchagi  $\Psi = +90^\circ$  ya'ni kuchlanish tokdan faza

bo'yicha  $90^\circ$  oldinda kelyapti (2.13 b, c -rasm). Bu quyidagilar bilan tushuntiriladi:

1. g'altakdagi o'zinduksiya EYuK  $e_L$  istalgan lahzada tokning o'zgarish tezligi ( $di/dt$ ) ga proporsional;

2. shuning uchun tok nol qiymatlardan o'tayotganda uning o'zgarish tezligi eng katta bo'lib,  $e_L$  o'zining amplituda qiymatiga erishadi, ya'ni  $e_L = E_m$ . (2.21) ifodadagi  $\omega LI_m = U_m$  zanjirdagi kuchlanishning amplituda qiymatidir.

Bundan zanjirdagi tokning ta'sir etuvchi qiymati (yoki zanjir uchun Om qonuni) ni aniqlaymiz:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}\omega L} = \frac{U}{\omega L}. \quad (2.22)$$

$\omega L$  ko'paytma induktiv g'altakning reaktiv qarshiligi yoki induktiv qarshilik deb atalib,  $X_L$  bilan belgilanadi. O'lchov birligi Om (kOm, MOm):

$$X_L = \omega L = 2\pi fL. \quad (2.23)$$

Demak, g'altakning induktiv qarshiligi uning induktivligiga va o'zgaruvchan tokning chastotasiga to'g'ri proporsionaldir.

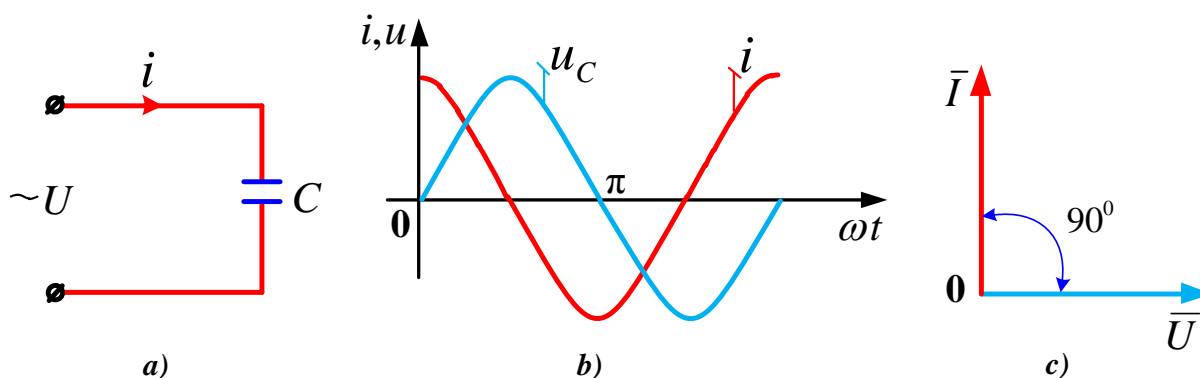
**Kondensator ulangan o'zgaruvchan tok zanjiri.** O'zgarmas tok zanjiriga ulangan kondensatordan juda qisqa vaqt ichida (sekundning ulushlari davomida), ya'ni kondensatorning zaryadlanish jarayoni tugab, sig'im kuchlanish  $u_C$  zanjirga tashqaridan berilgan kuchlanish  $u$  ga tenglashgunga qadar tok o'tadi. Agar kondensatorni sinusoidal kuchlanish ( $u = U_m \sin \omega t$ ) manbaiga ulasak, uning qoplamalari orasidagi zaryad  $q$  ham o'zgaruvchan bo'ladi (2.12 a -rasm). Zaryad  $q$  ning o'zgarishi elektr zaryadlarining siljishiga, ya'ni manbadan o'tuvchi tokka bog'liq. Bunda zanjirning elektr muvozanati holati kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan quyidagicha ifodalanadi:

$$u = u_C = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{q}{C}. \quad (2.24)$$

Agar  $q = C \cdot u$  ekanligini va (2.24) formulani hisobga olsak, kondensator ulangan zanjirdagi tokning o'zgarishini ifodalovchi tenglikni hosil qilamiz:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = \omega C U_m \cos \omega t = \omega C U_m \sin(\omega t + 90^\circ). \quad (2.25)$$

Demak, kondensator ulangan zanjirdagi tok kuchlanishdan faza bo'yicha  $90^\circ$  yoki  $T/4$  davr ilgari keladi (2.14 b, c -rasm).



2.14 - rasm

Sinusoidal kuchlanish nol qiymatlardan o'tayotgan lahzalarda (2.14-rasm, b) dielektrikning qutblanish tezligi va shu bilan zanjirdagi siljish toki ham maksimal bo'ladi.

(2.25) dagi  $\omega C U_m = I_m$  ifoda kondensator ulangan zanjirdagi tokning amplituda qiymati hisoblanadi. Bundan zanjirdagi tokning ta'sir etuvchi qiymati (yoki zanjir uchun Om qonunining ifodasi) topiladi:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \omega C \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U}{1/(\omega C)} \quad (2.26)$$

$1/\omega C$  ifoda zanjirning sig'im (reaktiv) qarshiligi deyilib,  $X_C$  orqali belgilanadi. Uning o'lchov birligi Om (kOm, Mom).

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}. \quad (2.27)$$

Demak sig'im qarshiligi tokning chastotasi va kondensatorning sig'imiga teskari proporsionaldir.

### 2.7. Aktiv va reaktiv qarshiliklari o'zaro ketma-ket ulangan zanjir

Elementlari  $(R, L, C)$  o'zaro ketma-ket ulangan zanjirga (2.15 a -rasm) berilgan kuchlanish uchta tashkil etuvchidan iborat: 1) aktiv qarshilikdagi kuchlanishning pasayishi  $u_R = iR$  2) induktiv g'altakdagi o'zinduksiya EYuK ni muvozanatlovchi kuchlanish  $u_L = -e_L$ ; 3) kondensatorning qoplamalaridagi kuchlanish  $u_C$ .

Mazkur zanjirning elektr muvozanat tenglamasi Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan quyidagicha ifodalanadi:

$$u = u_R + u_L + u_C. \quad (2.28)$$

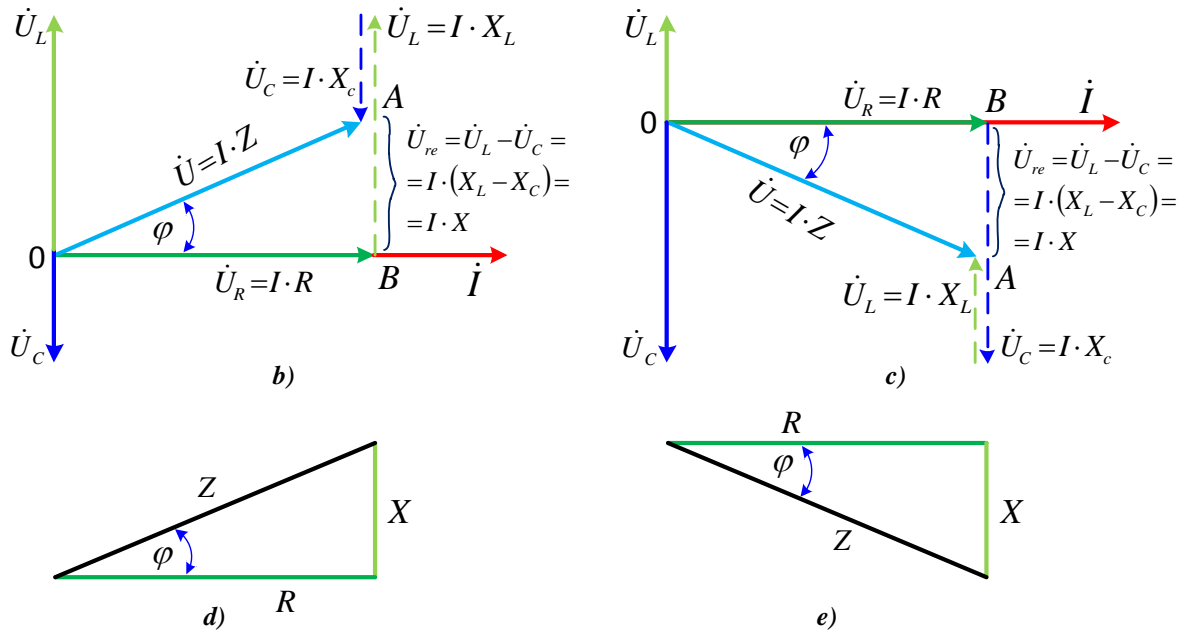
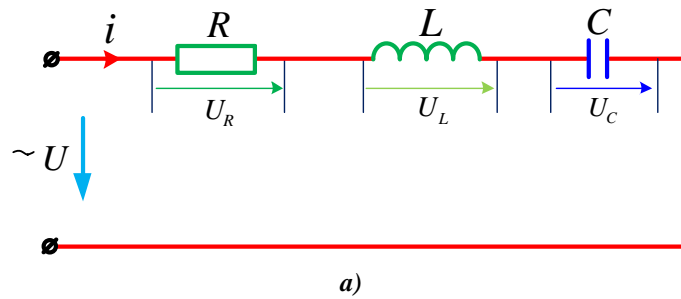
(2.28) ifodaga binoan zanjirdagi kuchlanishning o'zgarishi:

$$\begin{aligned} u &= U_{R_m} \sin \omega t + U_{L_m} \sin(\omega t + 90^\circ) + U_{C_m} \sin(\omega t - 90^\circ) = \\ &= U_m \sin(\omega t \pm \varphi). \end{aligned} \quad (2.29)$$

Bunda faza siljish burchagi  $\varphi$  ning ishorasi zanjirdagi reaktiv qarshiliklardan qaysi birining kattaligiga bog'liq.

Aktiv va reaktiv qarshiliklari o'zaro ketma-ket ulangan zanjirning vektor diagrammasi 2.15-rasm, b va g da ko'rsatilgan. Tok zanjirning barcha elementlari uchun bir xil qiymatga ega bo'lgani uchun u bosh vektor tarzida olingan. Aktiv qarshilikdagi kuchlanish vektori  $\bar{U}_R = \bar{I} \cdot R$  tok ( $\bar{I}$ ) vektori bilan fazalar bo'yicha mos tushadi; induktiv g'altakdagi kuchlanish vektori ( $\bar{U}_L$ ) tok vektori ( $\bar{I}$ ) dan  $90^\circ$  oldinda keladi; kondensatordagi kuchlanish vektori ( $\bar{U}_C$ ) tok vektori ( $\bar{I}$ ) dan  $90^\circ$  orqada qoladi. Demak, reaktiv kuchlanish vektorlari  $\bar{U}_L$  va  $\bar{U}_C$  o'zaro qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, ular orasidagi burchak  $180^\circ$  ni tashkil etadi.





2.15 – rasm.

Mazkur vektorlar diagrammasidan ko'rinadiki, zanjirga berilgan kuchlanishning qiymati uning ayrim qismlaridagi kuchlanishlarning geometrik yig'indisiga teng, ya'ni

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L + \bar{U}_C. \quad (2.20)$$

Vektor diagramma qurish natijasida hosil bo'lgan kuchlanishlar uchburchagi OAB dan esa kuchlanishlarning absolyut qiymatlarini aniqlanish mumkin:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \quad (2.31)$$

Shunday qilib, berilgan zanjir uchun Om qonunining ifodasi:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{Z} \quad (2.32)$$

Bu yerda Z - zanjirning to'la qarshiligi, Om, X - zanjirning reaktiv qarshiligi, Om.

Kuchlanishlar uchburchagining uchala tomonini tok I ga bo'lib, qarshiliklar uchburchagini hosil qilamiz (2.15-rasm, v, b). Bu uchburchakdan foydalanib, quyidagi nisbatlarni yozish mumkin:

$$R = Z \cdot \cos \varphi, X = Z \cdot \sin \varphi, \tan \varphi = \frac{X}{R}, \varphi = \arctg \frac{X}{R}.$$

R, L, C elementlari o'zaro ketma-ket ulangan zanjirni tahlil qilish natijasida quyidagi xulosaga kelish mumkin:

1. Agar  $X_L > X_C$  (ya'ni  $U_L > U_C$ ) bo'lsa (2.15-rasm, b) zanjirga berilgan kuchlanish tokdan faza bo'yicha  $\varphi_u$  burchakka oldinda keladi:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u), \varphi_u > 0.$$

2. Agar  $X_L < X_C$  (ya'ni  $U_L < U_C$ ) bo'lsa (2.15-rasm, g), zanjirga berilgan kuchlanish tokdan faza bo'yicha burchakka kechikadi:

$$u = U_m \sin(\omega t - \varphi_u), \varphi_u < 0$$

Birinchi holda zanjir aktiv-induktiv, ikkinchi holda esa aktiv-sig'im xarakterga ega hisoblanadi. Agar  $X_L = X_C$  bo'lsa  $U_L = U_C$  bo'lib, zanjirda kuchlanishlar rezonansi hodisasi ro'y beradi.

## 2.8. Aktiv va reaktiv qarshiliklari o'zaro parallel ulangan zanjirlar

Tarmoqlangan (parallel) o'zgaruvchan tok zanjirlarini tahlil qilish va hisoblash uchun o'tkazuvchanlikdan foydalanish qulaydir. Tarmoqlangan o'zgaruvchan tok zanjirida (2.16 a -rasm) o'tkazuvchanlik uch turga bo'linadi: aktiv o'tkazuvchanlik  $g = \frac{1}{R}$ ; reaktiv o'tkazuvchanlik  $b = b_L - b_C$  (bu yerda  $b_L = \frac{1}{\omega L}$  induktiv,  $b_C = \omega C$  sig'im o'tkazuvchanligi); to'la o'tkazuvchanlik  $Y = \sqrt{b^2 + g^2}$ . Barcha o'tkazuvchanliklar simensda o'lchanadi va qisqacha Cm deb belgilanadi.

Berilgan zanjir (2.16a -rasm) sinusoidal kuchlanish  $u = U_m \sin \omega t$  manbaiga parallel ulangan. Kirxgofning birinchi qonuniga binoan zanjirdagi tok (yoki umumiy tok):

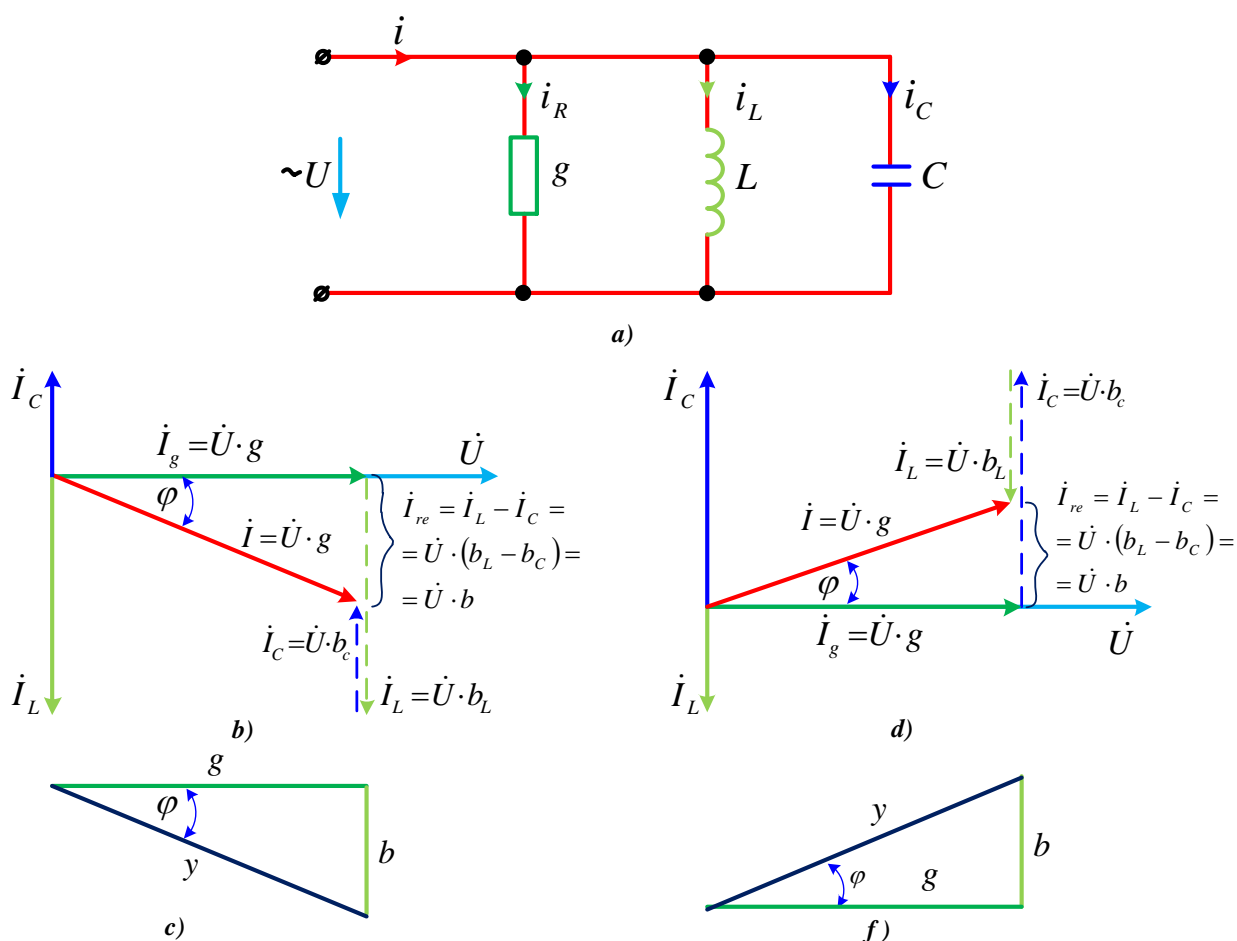
$$i = i_g + i_L + i_C. \quad (2.33)$$

U holda elementlari parallel ulangan zanjirdagi umumiy tokning o'zgarishi:

$$\begin{aligned}
 i &= i_g + i_L + i_C = gu + \frac{1}{L} \int u dt + C \frac{du}{dt} = \\
 &= gU_m \sin \omega t - \frac{U_m}{\omega L} \cos \omega t + \omega C U_m \cos \omega t = I_{gm} \sin \omega t - \\
 &- I_{Lm} \sin(\omega t - 90^\circ) + I_{Cm} \sin(\omega t + 90^\circ) = I_m \sin(\omega t - \varphi), \quad (2.34)
 \end{aligned}$$

bu yerda  $\Psi_i = \Psi_u - \varphi = -\varphi$  - umumiy tokning boshlang'ich fazasi.

Bunda faza siljish burchagi  $\varphi$  ning ishorasi zanjirdagi reaktiv o'tkazuvchanliklardan qaysi birining kattaligiga bog'liq.



2.16 – rasm.

Aktiv va reaktiv qarshiliklari o'zaro parallel ulangan zanjirning vektor diagrammasi 2.16 b va d -rasmida ko'rsatilgan. Kuchlanish zanjirning barcha elementlarida bir xil qiymatga ega bo'lgani uchun kuchlanish vektori bosh vektor tarzida olingan. Aktiv o'tkazuvchanlikdagi tok vektori  $\bar{I}_g = g \cdot \bar{U}$  kuchlanish vektori  $\bar{U}$  bilan fazalar bo'yicha mos tushadi, induktiv g'altakdagi tok vektori  $\bar{I}_L$  kuchlanish vektori dan  $90^\circ$  ga orqada qoladi va nihoyat kondensatordagi tok

vektori  $\bar{I}_C$  kuchlanish vektori  $\bar{U}$  dan  $90^\circ$  oldinda keladi. Qarama-qarshi fazada bo'lgan toklar ( $\bar{I}_L$  va  $\bar{I}_C$ ) vaning vektorlari orasidagi burchak  $180^\circ$  ga teng.

Mazkur vektorlar diagrammasidan ko'rinadiki, zanjirdagi umumiy tok parallel shoxobchalardagi toklarning geometrik yig'indisiga teng:

$$\bar{I} = \bar{I}_g + \bar{I}_L + \bar{I}_C. \quad (2.35)$$

Vektor diagrammani qurish natijasida hosil bo'lgan toklar uchburchagi OND dan

$$I = \sqrt{I_g^2 + (I_L - I_C)^2} = U\sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}. \quad (2.36)$$

Berilgan zanjir uchun Om qonunining ifodasi:

$$I = U\sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = U\sqrt{g^2 + b^2} = U \cdot Y. \quad (2.37)$$

Toklar uchburchagining uchala tomonini kuchlanishi  $U$  ga bo'lib, o'tkazuvchanliklar uchburchagini hosil qilamiz (2.16c va f-rasm). O'tkazuvchanliklar uchburchagidan quyidagi nisbatlarni yozish mumkin:

$$g = Y \cdot \cos \varphi; \quad b = Y \cdot \sin \varphi; \quad \tan \varphi = \frac{b}{g_n}$$

$R, L, C$  elementlari o'zaro parallel ulangan zanjirlarni tahlil qilish natijasida quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1. Agar  $b_L > b_C$  bo'lsa  $I_L > I_C$  bo'lib, zanjirdagi umumiy tok  $I$  kuchlanish  $U$  dan faza bo'yicha  $\varphi$  burchakka orqada qoladi (2.16 b -rasm):

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi), \quad \varphi > 0$$

2. Agar  $b_L < b_C$  bo'lsa  $I_L < I_C$  bo'lib, zanjirdagi umumiy tok  $\bar{I}$  kuchlanish  $\bar{U}$  dan faza bo'yicha burchakka  $\varphi$  oldinda keladi (2.16-rasm, g). Buning uchun  $\varphi < 0$  bo'lishi shart, ya'ni

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad \varphi < 0.$$

Birinchi holda zanjir aktiv-induktiv (2.16 b -rasm), ikkinchi holda esa aktiv-sig'im (2.16 d -rasm) xarakteriga ega hisoblanadi. Agar  $b_L = b_C$  bo'lsa,  $I_L < I_C$  bo'lib, zanjirda toklar rezonansi hodisasi ro'y beradi.

## 2.9. O'zgaruvchan tok zanjiridagi energetik jarayonlar

**Aktiv qarshilik ulangan zanjirdagi oniy quvvat.** Umuman, o'zgaruvchan tok zanjirining ixtiyoriy vaqt lahzasidagi quvvati uning oniy quvvati deyiladi. 2.12-rasmdagi zanjirda oniy quvvat kuchlanish va tok oniy qiymatlarining ko'p aytmasiga teng:

$$P = u_k \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t, \quad (2.38)$$

Bu yerda  $U_k = u = U_m \sin \omega t$  – zanjirga berilgan kuchlanish

Oniy quvvat grafigidan (2.17a -rasm) ko'rinadiki, aktiv qarshilikli zanjirdagi quvvat  $O$  dan  $P_m$  gacha davriy ravishda o'zgaradi, bunda uning ishorasi musbat bo'ladi. Bu manbadan iste'mol qilayotgan energiyaning qarshilik  $R$  da butunlay issiqlik energiyasiga aylanib, zanjirda qaytarilmas jarayon sodir bo'layotganini ko'rsatadi.

Odatda, o'zgaruvchan tok zanjirining quvvati uning davr ichidagi o'rtacha quvvati bilan baholanadi:

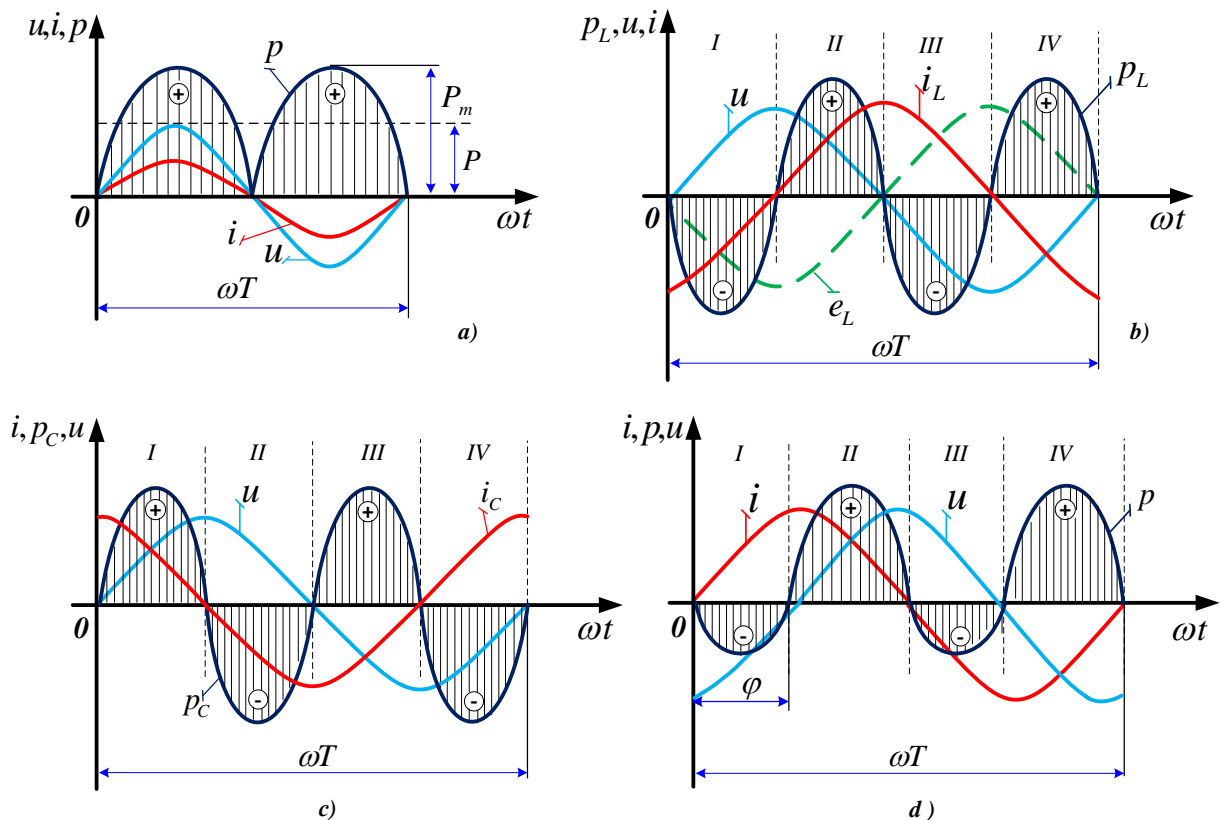
$$\begin{aligned} P_{or} &= \frac{1}{T} \int_0^T P dt = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt = \frac{U_m \cdot I_m}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \\ &= \frac{U_m I_m}{T} \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \frac{U_m I_m}{2} = U \cdot I. \end{aligned} \quad (2.39)$$

Agar  $U = I \cdot R$  ekanligini hisobga olsak,

$$P_{or} = P = U \cdot I = I^2 \cdot R. \quad (2.40)$$

Demak, o'rtacha quvvat aktiv qarshilikda issiqlikka aylanayotgan elektr quvvati bo'lib, o'zgaruvchan tok zanjirining aktiv (yoki foydali) quvvati deyiladi va  $P$  harfi bilan belgilanadi. Quvvatning oniy qiymati tokka nisbatan ikki marta ortiq chastota bilan o'zgaradi.

Aktiv quvvat miqdor jihatidan elektr energiyasining davr ichida boshqa tur (issiqlik, mexanik, kimyoviy) energiyaga, ya'ni foydali ishga aylanish jadalligini ko'rsatadi. Uning o'lchov birligi  $Vt$  (kVt, MVt).



2.17 – rasm.

**Induktiv g'altak ulangan zanjirdagi oniy quvvat (2.13-rasm).**

$$\begin{aligned}
 P_L &= u_L \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -\frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = - \\
 &= -U \cdot I \sin 2\omega t,
 \end{aligned}
 \tag{2.41}$$

bu yerda  $u_L = u = U_m \sin \omega t$  -zanjirga berilgan kuchlanish.

Demak, induktiv g'altak ulangan zanjirdagi oniy quvvat tokning chastotasiga nisbatan ikki marta ortiq chastota bilan sinus qonuni bo'yicha o'zgaradi (2.17 b - rasm). Grafikdan ko'rinadiki, davrning ikkinchi va to'rtinchi choraklarida kuchlanish  $u$  va tok  $i$  ning yo'nalishlari mos, oniy quvvat ishorasi musbat. Shuningdek, davrning mazkur choraklarida tok  $0$  dan  $I_m$  gacha ortadi. Bu esa manbadan iste'mol qilinayotgan elektr energiyasi induktiv g'altakda magnit maydon energiyasi ( $W_m = Li^2/2$ ) tarzida to'planayotganligini bildiradi (musbat yarim to'lqin).

Davrning birinchi va uchinchi choraklarida kuchlanish va tokning yo'nalishlari qarama-qarshi, oniy quvvat ishorasi manfiy. Bunda davrning II va IV choraklarida to'plangan magnit maydoni energiyasi manbaga elektr energiyasi

tarzida qaytariladi (manfiy yarim to'liqin). Bu esa o'zinduksiya EYuK ( $e_L$ ) ning  $O$  dan  $E_m$  gacha ortish bilan namoyon bo'ladi.

**Kondensator ulangan zanjirdagi oniy quvvat** (2.14-rasm).

$$P_C = u_C \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t + \pi/2) = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = U \cdot I \sin 2\omega t, \quad (2.42)$$

bu yerda  $u_C = u = U_m \sin \omega t$  – zanjirga berilgan kuchlanish.

Demak, kondensator ulangan zanjirdagi oniy quvvat tokning chastotasiga qaraganda ikki marta ortiq chastota bilan o'zgaradi (2.17 c -rasm). Ammo bu o'zgarishlar induktiv g'altak ulangan zanjirdagi jarayonlarga qarama-qarshi fazada bo'ladi. Bu grafikdan ko'rinadiki, davrning kuchlanish  $u$  va tok  $i$  larning yo'nalishlari mos bo'lgan choraklarida oniy quvvat ishorasi musbat, mos bo'lmagan choraklarida esa manfiy bo'ladi. Binobarin davrning I va III choraklarida kondensatorning qoplamalaridagi kuchlanish  $O$  dan  $T_m$  gacha ortadi, bunda manbadan iste'mol qilinayotgan energiya kondensatorida elektr maydon energiyasi  $W_3 = C u^2/2$  tarzida to'planadi (musbat yarim to'liqin). Kondensator qoplamalaridagi kuchlanish  $U_m$  dan  $O$  gacha o'zgarayotgan II va IV choraklarida esa avval to'plangan elektr maydon energiyasi endilikda manbaga elektr energiyasi tarzida qaytariladi (manfiy yarim to'liqin).

Demak, reaktiv elementli zanjirlarda elektr energiyasi manba bilan iste'molchi o'rtasida doimo almashinib turadi.

Shunday qilib, davrning bir choragida manbadan energiya iste'mol qilib, uni davrning ikkinchi choragida manbaga qaytarib beradigan yuklama reaktiv yuklama deb ataladi. U induktiv yoki sig'im xarakteriga ega bo'lishi mumkin.

Manba bilan iste'molchi o'rtasida energiya almashinish jadalligini son jihatidan baholash uchun reaktiv quvvat tushunchasi kiritiladi. Ular  $Q_L$  va  $Q_C$  harflari bilan belgilanadi.

Induktiv quvvat  $Q_L = U \cdot I = I^2 \cdot X_L$ , kondensatoridagi reaktiv quvvat esa  $Q_C = U \cdot I = I^2 \cdot X_C$  bo'lib,  $L$  va  $C$  zanjirlardagi oniy quvvatlarning maksimal qiymatlariga teng.

Zanjirdagi quvvatlar hisoblanganda induktiv xarakterdagi reaktiv quvvat musbat, sig'im xarakterdagi reaktiv quvvat esa manfiy ishora bilan olinadi.

2.17 b va c -rasmdagi grafiklardan quvvat o'rtacha qiymatining (aktiv quvvat) nolga tengligi ko'rinib turibdi:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = 0.$$

2.17d -rasmda aktiv-sig'im xarakterdagi zanjir uchun oniy quvvatning o'zgarish grafigi ko'rsatilgan. Bunda manbadan kelayotgan energiyaning bir qismi unga qaytarib o'tadi. Qaytarilayotgan energiya qismi (quvvat) son jihatdan faza siljish burchagi  $\varphi$  ning qiymatiga bog'liq. Siljish burchagi qancha katta bo'lsa, bu energiya shuncha katta bo'ladi va aksincha. Bu oniy quvvat ifodasidan ham ko'rinib turibdi:

$$\begin{aligned} P &= U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = 2UI(\cos \varphi \cdot \sin 2\omega t - \\ &- \sin \varphi \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t) = UI \cos \varphi - UI \cos 2\omega t - UI \sin \varphi \sin 2\omega t = \\ &= P(1 - \cos 2\omega t) - Q \sin 2\omega t = P_{ak} + P_{re} \end{aligned} \quad (2.43)$$

Demak, bunday zanjirdagi oniy quvvat aktiv ( $P_{ak}$ ) va reaktiv ( $P_{re}$ ) tashkil etuvchilardan iborat ekan.

## 2.10. O'zgaruvchan tok zanjirining quvvati va quvvat koeffitsienti

2.15 b va d -rasmdagi kuchlanishlar uchburchagi  $OAB$  ning uchala tomonini tok  $I$  ga ko'p aytirish bilan quvvatlar uchburchagini hosil qilamiz (2.18 a va b - rasm). Mazkur uchburchakning tomonlari esa quyidagilarni bildiradi:

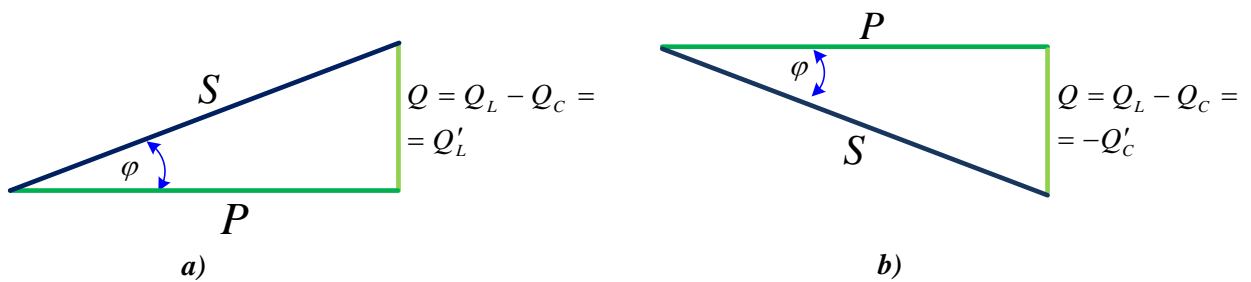
$$P = U_k \cdot I = I^2 \cdot R - \text{zanjirning aktiv quvvati};$$

$$Q = U_x \cdot I = I^2 \cdot X - \text{zanjirning reaktiv quvvati};$$

$$S = U \cdot I = I^2 \cdot Z - \text{zanjirning to'la quvvati};$$

$$\cos \varphi = P/S - \text{zanjirning quvvat koeffitsienti}.$$





2.18 – rasm.

Shuningdek, quvvatlar uchburchagidan foydalanib, va ular o'rtasidagi bog'lanishlarni aniqlash mumkin:

$$P = S \cdot \cos \varphi = UI \cos \varphi ; \quad (2.44)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi = UI \sin \varphi ; \quad (2.45)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U \cdot I. \quad (2.46)$$

SJ sistemasida aktiv quvvat vatt ( $W$ ) yoki kilovatt ( $kW$ ), reaktiv quvvat vol't-ampere reaktiv ( $VAr$ ) yoki kilovol't-ampere reaktiv ( $kVAr$ ), to'la quvvat vol't-ampere ( $VA$ ) yoki kilovol't-ampere ( $kVA$ ) birliklarda ulanadi.

To'la quvvat  $S = U \cdot I$  energetik qurilmalar (elektr mashinalar, transformatorlar, uzatish liniyalari va xokazolar) ning ishlatilishi mobaynida nominal kuchlanish  $U_{nom}$  va nominal tok  $I_{nom}$  bo'yicha bera oladigan eng katta elektr quvvati hisoblanadi.

Aktiv quvvat  $P = UI \cos \varphi$  iste'mol qilinayotgan elektr energiyasining boshqa tur energiyaga (foydali ishga) aylanish jadalligini ko'rsatadi.

$\cos \varphi$  – quvvat koeffitsienti to'la quvvatning qanday qismi foydali ishga (ya'ni aktiv quvvatga) sarf bo'lganini ko'rsatuvchi mezondir. Tok bilan kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi qanchalik kichik bo'lsa, bu miqdor shunchalik katta bo'ladi. Ammo o'zgaruvchan tok zanjiri energiya to'plovchi reaktiv  $L$  va  $C$  elementlarga ega bo'lganligi uchun hamma vaqt  $\cos \varphi < 1$  (yoki  $P < UI$ ) bo'ladi.  $\cos \varphi = 1$  bo'lganda to'la quvvat butunlay foydali ish bajarish uchun sarf bo'ladi. Aksincha,  $\cos \varphi$  birdan qancha kichik bo'lsa, avvalgiday foydali ish bajarish uchun  $S$  ning qiymatini shuncha oshirish kerak bo'ladi. Masalan,

$U = 400\text{V}$  kuchlanishda  $P=6\text{ kVt}$  aktiv quvvatni ta'minlash uchun tarmoqdan iste'mol qilinadigan tok va to'la quvvat:

$$\cos \varphi = 1 \text{ bo'lganda } I = 15 \text{ A}, S = 6 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi = 0,8 \text{ bo'lganda } I = 18 \text{ A}, S = 7,5 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi = 0,6 \text{ bo'lganda } I = 25 \text{ A}, S = 10 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi = 0,4 \text{ bo'lganda } I = 37,5 \text{ A}, S = 15 \text{ kVA}.$$

Shunday qilib, zanjirdagi foydali ishni tokning aktiv tashkil etuvchisi

$I_a = I \cdot \cos \varphi$  bajaradi. Tokning reaktiv tashkil etuvchisi  $I_r = I \cdot \sin \varphi$  esa elektr va magnit maydoni hosil qilish uchun sarf bo'lib, ularning energiyasi  $L$  va  $C$  elementlarda davriy ravishda yig'ilib, manbaga yana qaytadi yoki  $I_L = I_C$  (ya'ni  $b_L = b_C$ ) bo'lganda shu elementlar orasida tebranib turadi.

Doimo musbat bo'lgan  $P$  va  $S$  lardan farqli o'laroq reaktiv quvvat  $\varphi > 0$  bo'lganda musbat (induktiv rejim  $Q_L$ ),  $\varphi < 0$  bo'lganda esa manfiy (sig'im rejim  $Q_C$ ) bo'ladi.

## 2.11. Kuchlanishlar rezonansi

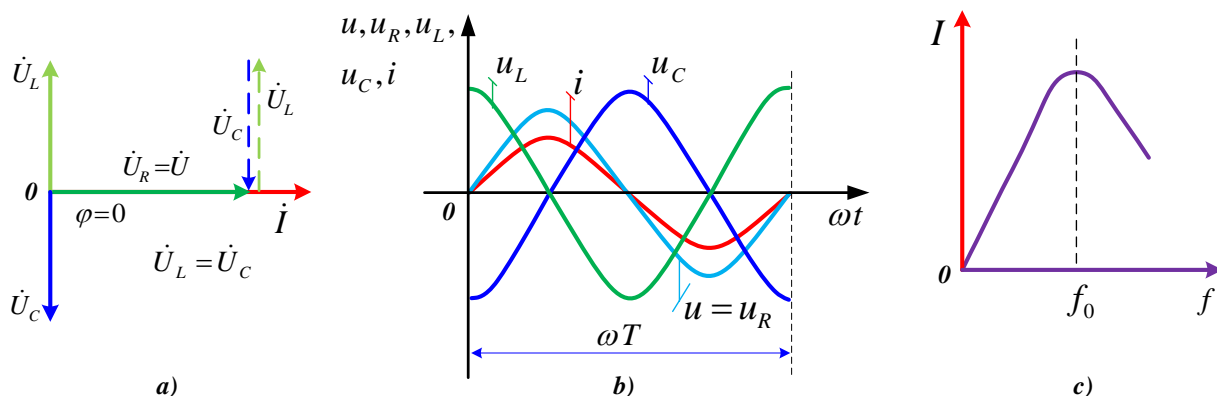
Kuchlanishlar rezonansi xodisasi  $R, L, C$  elementlari o'zaro ketma-ket ulangan o'zgaruvchan tok zanjirida hosil bo'lishi mumkin (2.15- rasm, a). Bunda reaktiv elementlar qarshiliklarining o'zaro teng ( $X_L = X_C$ ) bo'lishi rezonans sharti hisoblanadi. U holda bunday zanjirdagi tok:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{R} \quad (2.47)$$

Demak, rezonans paytida zanjirdagi tok aktiv qarshilik bilan cheklanib, o'zining maksimal qiymatiga erishadi. Bunda umumiy kuchlanish  $U$  bilan tok  $I$  faza bo'yicha mos tushib, zanjirning quvvat koeffitsienti  $\cos \varphi = 1$  bo'ladi.

Zanjirning rezonans holatiga mos vektor diagramma va grafik 2.19-rasm, a va b da ko'rsatilgan. Ulardan ko'rinadiki, rezonans paytida qarama-qarshi fazada bo'lgan reaktiv (rezonans) kuchlanishlar  $U_L$  va  $U_C$  o'zaro teng bo'lib, bir-birlarini to'la kompensatsiyalaydi. Xaqiqatan ham  $\bar{I} \cdot X_L = \bar{I} \cdot X_C$ , u holda  $\bar{U}_L = \bar{U}_C$  hisoblanadi. Bunday paytda  $U = U_R$  bo'ladi.

Reaktiv kuchlanishlar ( $U_L$  va  $U_C$ ) zanjirga berilgan kuchlanish  $U$  dan birmuncha katta bo'lishi mumkin.



2.19 – rasm.

Kuchlanishlar rezonansining kattaligi reaktiv elementlar qarshiliklarining aktiv qarshilikdan necha marta katta bo'lishiga bog'liq. Bu quyidagi ifodalardan ham ko'rinib turibdi:

$$U_L = I \cdot X_L = \frac{U}{R} \cdot X_L = U \cdot \frac{X_L}{R} \quad (2.48)$$

$$U_C = I \cdot X_C = \frac{U}{R} \cdot X_C = U \cdot \frac{X_C}{R} \quad (2.49)$$

Demak, kuchlanishlar rezonansi aktiv qarshiligi uncha katta bo'lmagan zanjirlarda yaqqol bilinib turadi. Kuchlanishlar rezonansi avvaldan hisobga olinmasa, rezonans paytida yuzaga kelgan kuchlanishlar elektr qurilmalarining izolyatsiyasi va ularning yaroqliligiga putur etkazadi.

Rezonans paytida zanjirning reaktiv quvvati nolga teng, ya'ni  $Q = Q_L - Q_C = U_L \cdot I - U_C \cdot I = 0$  bo'ladi, chunki  $U_L = U_C$ .

Bunday zanjirning to'la quvvati uning aktiv quvvatiga tenglashadi, ya'ni  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P$ . Demak, rezonans paytida sig'imdagi elektr maydoni energiyasi induktivlikdagi magnit maydoni energiyasiga davriy ravishda o'tib turadi va aksincha, aktiv qarshilikdagi energiya iste'moli esa manbadan to'ldirib turiladi.

Rezonans hodisasini manba kuchlanishining chastotasini, induktivlikni yoki kondensatorning sig'imini o'zgartirish bilan yuzaga keltirish mumkin.

Kuchlanishlar rezonansi hodisasidan radiotexnikada keng foydalanilgani uchun, bunday elektr zanjiri **ketma-ket tebranish kontura** deyiladi. Chunki ikkala reaktiv qarshilik chastotaga bog'lik:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad va \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.50)$$

Agar **L** va **C** parametrlardan biri o'zgaruvchan qilib olinsa, u holda konturni istalgan chastotada rezonansga sozlash mumkin. Bu chastota **rezonans chastotasi** deyiladi va  $f_0$  bilan belgilanadi.  $X_L = X_C$  shartidan  $2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$ , u holda rezonans chastotasi  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

**L** va **C** li konturni kuchlanish chastotasi rezonans chastotasiga teng bo'lgan konturga ulanganda konturdagi tok aktiv qarshilik bilan chegaralanib, o'zining boshqa chastotalarga nisbatan yuqori qiymatiga erishadi (2.19 c -rasm).

## 2.12. Toklar rezonansi

Toklar rezonansi hodisasi **R** (**g**), **L**, **C** elementlari o'zaro parallel ulangan o'zgaruvchan tok zanjirida yuzaga keladi (2.17 a - rasm). Buning uchun reaktiv elementlarning o'tkazuvchanliklari o'zaro teng ( $b_L = b_C$ ) bo'lishi kerak.

U holda zanjirdagi tok Om qonuniga binoan

$$I = U \cdot \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = U \cdot g. \quad (2.51)$$

Demak, rezonans paytida zanjirdagi tok aktiv o'tkazuvchanlik bilan cheklanib, o'zining minimal qiymatiga erishadi va kuchlanish bilan faza bo'yicha mos tushadi ( $\varphi = 0$ ).

Zanjirning rezonans holatiga mos vektor diagramma va grafiklar 2.20 a va b -rasmlarda ko'rsatilgan. Ulardan ko'rinadiki, rezonans paytida qarama-qarshi fazada bo'lgan reaktiv (rezonans) toklar  $I_L$  va  $I_C$  o'zaro teng bo'lib, bir-birlarini to'la kompensatsiyalaydi. Rezonans sharti ( $b_L = b_C$ ) ga ko'ra  $\bar{U} \cdot b_L = \bar{U} \cdot b_C$ , demak  $\bar{I}_L = \bar{I}_C$ .

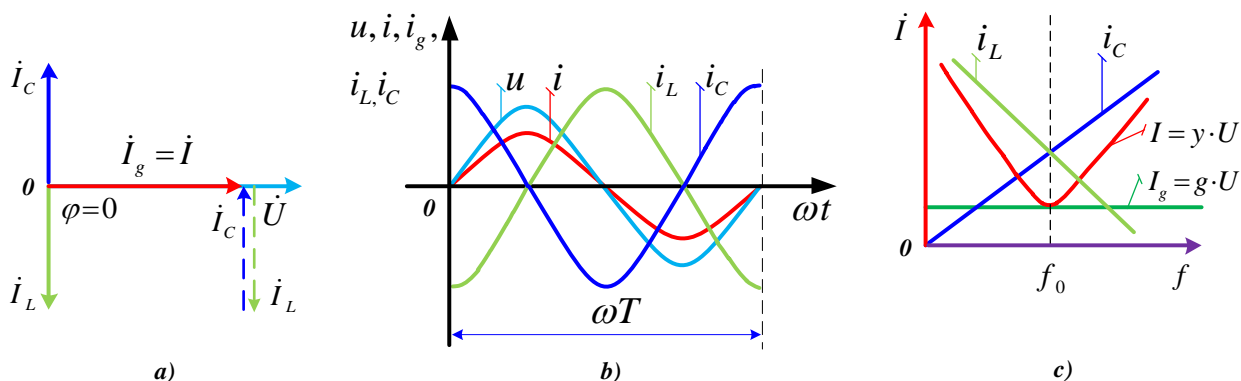
Reaktiv toklar o'zaro kompensatsiyalashgani tufayli zanjir aktiv xarakterga ega bo'lib, uning quvvat koeffitsienti  $\cos \varphi = 1$  bo'ladi.

Rezonans paytida reaktiv toklar  $I_L$  va  $I_C$  zanjirdagi umumiy tok  $I$  dan ( $\bar{I} = \bar{I}_g + \bar{I}_L + \bar{I}_C$ ) bir qancha katta bo'lishi mumkin. Shuning uchun ham bu hodisa toklar rezonansi deb ataladi. Mazkur reaktiv toklarning kattaligi reaktiv elementlar o'tkazuvchanliklari  $b_L = b_C$  ning aktiv o'tkazuvchanlik  $g$  dan necha marta kattaligiga bog'liq. Bu quyidagi nisbatlardan ham ko'rinib turibdi:

$$\frac{U \cdot b_L}{U \cdot g} = \frac{U \cdot b_C}{U \cdot g} \text{ yoki } \frac{b_L}{g} = \frac{b_C}{g}$$

Demak, toklar rezonansi aktiv o'tkazuvchanligi uncha katta bo'lmagan zanjirlarda sodir bo'lishi mumkin. Toklar rezonansi ham kuchlanishlar rezonansi kabi uchta usul bilan yuzaga kelgirilishi mumkin.

Toklar rezonansiga moslangan konturdagi tok ( $I = I_g$ ) rezonans chastotada boshqa chastotalarga nisbatan minimal qiymatga erishadi (2.20 c -rasm).



2.20 – rasm.

Toklar rezonansida manbadan kelayotgan energiya zanjirda sarf bo'layotgan aktiv energiyasigina qoplab, zanjirni ulash lahzasi  $L$  va  $C$  elementlarida erishilgan toklar bilan rezonans tebranishlarni ushlab turish uchun xizmat qiladi.

Sanoatdagi asosiy iste'molchilar aktiv-induktiv xarakterga ega bo'lgani uchun induktiv reaktiv quvvatni kamaytirib, tarmotsning quvvat koefitsientini oshirish maqsadida iste'molchiga kondensatorlar batareyasi ulanadi. Kondensatorlar batareyasining reaktiv sig'im quvvati, qurilmaning reaktiv induktiv quvvatini qisman kompensatsiyalab, iste'molchidan tarmoqqa qaytariladigan

umumiy reaktiv quvvatning miqdorini va ta'sirini kamaytirishga yordam beradi, ya'ni

$$Q = Q_L - Q_C \quad (2.52)$$

Natijada qurilmaning (shuningdek tsex va korxonaning) quvvat koeffitsietsti oshib, uzatish simlaridagi tok va liniyadagi quvvat isrofi hamda manba to'la quvvatining kamaytirilishiga imkon bo'ladi.

### **2.13. O'zgaruvchan (sinusoidal) tok zanjirlarini kompleks usulida hisoblash**

Murakkab sinusoidal o'zgaruvchan tok zanjirlarini oddiy matematik usul bilan hisoblash noqulay va ko'p mehnat talab qiladi hamda undan ama-liy hisoblashda foydalanish qiyin. Bunday hisoblashdagi asosiy noqulaylik har bir sinusoidal miqdor (e.yu.k., kuchlanish va tok) o'zining amplitudasi va boshlang'ich fazasi bilan aniqlanishidan kelib chiqadi. O'zgaruvchan miqdorlarni geometrik usulda aylanuvchi vektorlar tarzida ifodalash ham o'z navbatida murakkab zanjirlar uchun bajarish qiyin bo'lgan murakkab vektor diagrammalar tuzishni talab etadi.

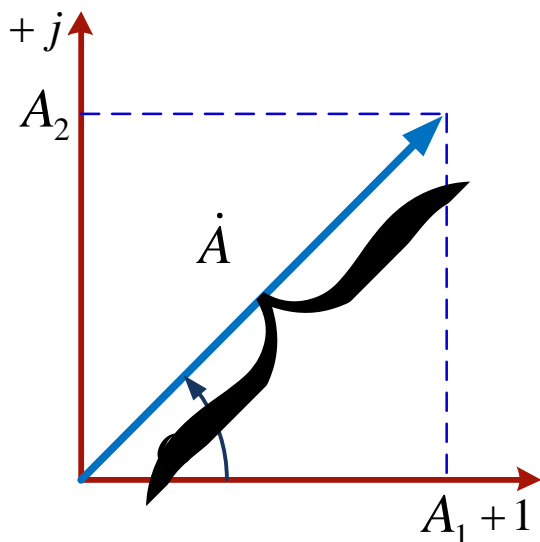
Sinusoidal tok zanjirlarini kompleks usulda hisoblashni amerikalik olim I.Shteynmets 1894 yilda ishlab chiqqan. Bu usul bilan hisoblashning asosida sinusoidal tok zanjiri uchun tuzilgan differensial tenglamalarni algebraik tenglamalar bilan almashlash yotadi. Bunda tok va kuchlanishlarning oniy qiymatlari ularning kompleks tasvirlari bilan almashtiriladi, ya'ni vaqt funksiyasidagi integro-differensial tenglamalardan kompleks shaklda yozilgan va vaqt kattaligi istisno qilingan algebraik tenglamalar hosil qilinadi. Bu esa, tabiiyki zanjirlarni hisoblashni ancha soddalashtiradi.

#### **Sinusoidal kattaliklarni kompleks tekislikda vektorlar bilan tasvirlash.**

1-ta'rif. Kvadrati  $-1$  ga teng ifodani mavhum birlik deb ataladi va u  $j$  orqali belgilanadi. Shunday qilib,  $j^2 = -1$  yoki  $j = \sqrt{-1}$ .

2-ta'rif.  $z$  kompleks son deb  $z = r + jx$  ko'rinishdagi ifodaga aytiladi, bunda  $r$  va  $jx$  ni  $z$  kompleks sonning mos ravishda haqiqiy va mavhum qismlari deyiladi va  $R_{ez} = r, J_{mz} = x$  kabi belgilanadi. ( $j$ -mavhum birlik)

Ma'lumki har qanday kompleks son haqiqiy va mavhum qismlardan iborat. 2.21-rasmda kompleks tekislik keltirilgan. Absissa ( $ox$ ) o'qi haqiqiy sonlar o'qi, ordinate ( $oy$ ) o'qi esa mavhum sonlar o'qi hisoblanadi.



2.21 – rasm.

Kompleks tekislikda haqiqiy sonlar o'qi +1 belgi bilan, mavhum sonlar o'qi esa +j bilan belgilanadi. Agar kompleks tekislikda absissa o'qiga kompleks sonning haqiqiy qismini, ordinata o'qiga esa mavhum qismini joylashtirsak, u holda kompleks son tekislikda bir nuqtani ifodalaydi. Kompleks sonlar uchun Eyler formulasiga asosan quyidagi ifodalarni quyidagicha yozish mumkin:

Bu vektorlar 3 xil ko'rinishda berilishi mumkin:

1. Algebraik shaklida:  $Z = R + jX$
2. Ko'rsatkichli shaklda:  $Z = Ae^{j\varphi}$
3. Trigonometrik shaklida:  $Z = A(\cos\varphi + j\sin\varphi)$

Algebraik shaklidan ko'rsatkichli va trigonometrik shakliga o'tadigan bo'lsak quyidagicha hisoblaymiz.  $A = \sqrt{R^2 + X^2}$ ,  $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$ .

Demak sinusoidal o'zgaruvchan  $I = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$  tokka kompleks tekislikda  $I_m$  amplituda va  $\varphi_i$ -argument bilan aniqlanadigan quyidagi vektor mos keladi:

$$I_m = I_m e^{j\varphi_i} \quad (2.53)$$

Xaqiqiy hisoblashlarda toklar, e.yu.k. va kuchlanishlarning effektiv qiymatlari beriladi, u xolda tegishli komplekslar quyidagicha ko'rinishda yozish mumkin:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\varphi_i}, \dot{U}_m = U_m e^{j\varphi_u}, \dot{E}_m = E_m e^{j\varphi_E}. \quad (2.54)$$

**Om va Kirxgof qonunlarining kompleks shakli.** Berilgan biror

passiv zanjir  $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$  kuchlanish manbaiga ulangan, deb faraz qilaylik. Zanjir elementlarining ulanish usullaridan qat'i nazar, butun zanjirning

tokini  $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$  desak, kuchlanish va tok effektiv qiymatlarining komplekslari:

$$\underline{U} = U e^{j\varphi_u}, \underline{I} = I e^{j\varphi_i} \quad (2.55)$$

Om qonuniga binoan, bu zanjirning tula qarshiligi kompleks shaklda quyidagicha yoziladi:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{U e^{j\varphi_u}}{I e^{j\varphi_i}} = Z e^{j\varphi} = R + jX = R + j\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right) = R + j(X_L - X_C), \quad (2.56)$$

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi} = \sqrt{R^2 + X^2} e^{j\varphi} = Z(\cos\varphi + j\sin\varphi). \quad (2.57)$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} \quad (2.58)$$

2.58 ifoda Om qonunining **kompleks shakli** deb ataladi.

2.58 ifoda zanjirning **kompleks qarshiligi** deb ataladi.

Zanjirning kompleks utkazuvchanligi ham shunday aniqlanadi: To'la kompleks qarshilikka teskari bo'lgan kattalik to'la **kompleks o'tkazuvchanlik** deb ataladi:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{Z e^{j\varphi}} = y e^{-j\varphi} = y \cos\varphi - j y \sin\varphi = g - jb, \quad (2.59)$$

bunda,  $y = \sqrt{g^2 + b^2}$ ,  $\varphi = \arctg \frac{b}{g}$  mos ravishda to'la kompleks o'tkazuvchanlikning moduli va argumenti.

*Sinusoidal tok zanjirlari uchun Kirxgof qonunlari kompleks tok va kuchlanishlar orqali quyidagicha ifodalanadi:*

*Zanjirning istalgan tugunidagi kompleks toklarning algebraik yig'indisi nolga teng (Kirxgofning 1-qonuni):*

$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0$$

ya'ni zanjir tuguni uchun kompleks toklarning algebraik yig'indisi nolga teng.

*Zanjirning istalgan berk konturida kompleks EYuK larning algebraik yig'indisi shu kontur kompleks qarshiliklaridagi kompleks kuchlanishlar pasayishlarining algebraik yig'indisiga teng (Kirxgofning 2-qonuni):*



$$\sum_{k=1}^n \dot{E}_k = \sum_{k=1}^m \dot{I}_k Z_k$$

ya'ni konturga kiruvchi barcha e.yu.k. larning kompleks yig'indisi shu konturning ketma-ket qismlaridagi kuchlanishlar pasayishining komplekslari yig'indisiga teng.

## 2.14. Quvvat kompleksi va sinusoidal tok zanjirlarida quvvatlar balansi

**Quvvat kompleksi.** To'la quvvatni kompleks ko'rinishda yozish uchun kompleks kuchlanishni qo'shma kompleks tokka ko'paytiramiz:

Agar  $S = UI$  ko'paytmaning komplekslari ( $\dot{U}$  yoki  $\dot{I}$ ) dan birortasining argumenti teskari ishorali kilib olinsa, ko'paytma vektorining argumenti  $\pm\varphi$  ga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\dot{S} = \dot{I}\dot{U} = UIe^{\pm j\varphi} = UI\cos\varphi \pm jUI\sin\varphi = P \pm jQ$$

bu yerda  $\dot{I}$ -qo'shma kompleks tok.

Masalan, agar  $\dot{I} = I_m e^{+j\varphi}$  bo'lsa, u holda bu tokning qo'shmasi  $\dot{I} = I_m e^{-j\varphi}$  ga teng bo'ladi.

$\bar{S}$ -kompleks to'la quvvat deb ataladi.

**Sinusoidal tok zanjirlarida quvvatlar balansi.** Energiya saqlanish qonunidan ma'lumki, har qanday zanjirda aktiv quvvatlar balansi saqlanadi: manbalar uzatayotgan aktiv quvvatlar yig'indisi iste'molchilar qabul qilayotgan aktiv quvvatlar yig'indisiga teng:

$$\sum_{k=1}^n P_{kn} = \sum_{k=1}^m I_k^2 r_k,$$

bu yerda,

n-manbalar soni, m-iste'molchilar soni.

Zanjirdagi manbalar uzatayotgan reaktiv quvvatlar yig'indisi sxemadagi induktiv g'altak va kondensatorlar iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatlarning algebraik yig'indisiga teng:

$$\sum_{k=1}^n Q_{kn} = \sum_{k=1}^m I_k^2 x_k.$$

Kompleks quvvatlar balansi:

$$\sum_{k=1}^n \bar{S}_{kn} = \sum_{k=1}^m \bar{S}_k$$

To'la quvvatni hisoblash uchun tok  $I$  va kuchlanish  $U$  ni ampermetr va voltmeter yordamida o'lchangan qiymatlari ko'paytiriladi:  $S = UI$ .

**2.2-Masala:** Iste'molchidagi tok va kuchlanishlarning kompleks qiymatlari  $\dot{I}=16+j12$  va  $\dot{U}=j100$  ga teng bo'lsa, aktiv va reaktiv qarshiliklarni hamda aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni xisoblang.

**Yechilishi:**

(Eslatma:  $i^2 = -1$ ,  $Z = R + jX$ ,  $\dot{I}$ -qo'shma kompleks tok.)

To'la qarshilikni xisoblaymiz:

$$\text{a) } \dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{j100}{16+j12} = \frac{j100 \cdot (16-j12)}{(16+j12) \cdot (16-j12)} = \frac{1200+j1600}{256+144} = \frac{1200+j1600}{400} = 3 + j4 \text{ (}\Omega\text{)}$$

a usulda hisoblaganimizda kasir surat va mahrajini berilgan ifodaning qo'shmasiga ko'paytiramiz.

$$\begin{aligned} \text{b) } \dot{Z} &= \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{j100}{16+j12} = \frac{\sqrt{100^2} e^{j \arctg \frac{100}{0}}}{\sqrt{16^2+12^2} e^{j \arctg \frac{12}{16}}} = \frac{100 e^{j90^\circ}}{20 e^{j36,87^\circ}} = 5 e^{j53,13^\circ} = \\ &= 5 \cos 53,13^\circ + j \sin 53,13^\circ = 3 + j4 \text{ (}\Omega\text{)} \end{aligned}$$

b usulda hisoblaganimizda kasir surat va mahrajini ko'rsatkichli ko'rinishga keltiramiz.

Kompleks to'la qarshilikni haqiqiy qismi aktiv qarshilikka, mavxum qismi esa reaktiv qarshilikka teng bo'lganligi uchun:

$$Z = R + jX \text{ bundan } R=3 \text{ (}\Omega\text{)}, X=4 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$\text{To'la qarshilk: } Z = Z \cdot e^{j\varphi^0} = 5 \cdot e^{j53,13^\circ} \text{ bundan } Z = 5 \text{ (}\Omega\text{)}.$$

Kompleks quvvatni topish uchun tok kuchini mavhum qismidagi ishorasini qarama-qarshisiga o'zgartirib kompleks kuchlanishga ko'paytiramiz:

$$\dot{S} = \dot{U} \cdot \underline{\dot{I}} = j100 \cdot (16 - j12) = 2000 e^{j53,13^\circ} = 1200 + j1600 \text{ (VA)}.$$

Bunda aktiv, reaktiv va tula kuvvatlarni qiymatlari:

$$\dot{S} = P + jQ, \dot{S} = S \cdot e^{j\varphi^0}$$

$P = 1200 \text{ W}$ ,  $Q = 1600 \text{ VAR}$ ,  $S = 2000 \text{ VA}$  ga teng bo'ladi.

**2.3-Masala:** Agar tok va kuchlanishning oniy qiymat ifodalari mos ravishda,  $i = 12,6 \sin(314t - 30^0) \text{ (A)}$ ,  $u = 120 \sin(314t + 45^0) \text{ (V)}$  ko'rinishida berilgan bo'lsa, aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar aniqlansin.

**Yechilishi:**

Tok va kuchlanishning kompleks ta'sir etuvchi qiymatlarini hisoblaymiz.

$$\dot{U} = \frac{120}{\sqrt{2}} e^{j45^0} = 84,9 \cdot e^{j45^0} \text{ (V)}$$

$$\dot{I} = \frac{12,6}{\sqrt{2}} e^{-j30^0} = 8,9 \cdot e^{-j30^0} \text{ (A)}$$

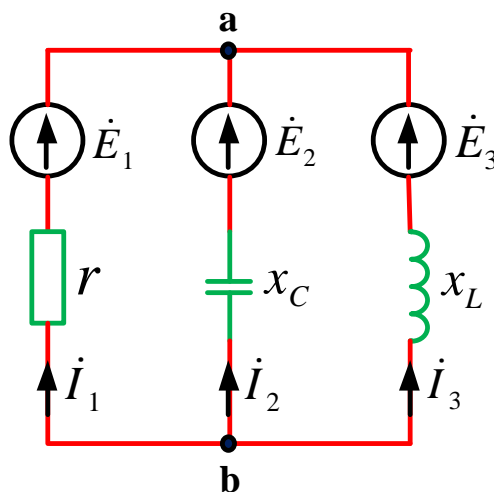
Kompleks to'la quvvat:

$$\begin{aligned} \dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I} &= 84,9 \cdot e^{j45^0} \cdot 8,9 \cdot e^{j30^0} = 755,61 \cdot e^{j75^0} \\ &= 755,61 \cos 75^0 + j755,61 \sin 75^0 = 195,57 + j729,86 \end{aligned}$$

yani aktiv, reaktiv va to'la quvvatlar,

$P = 195,57 \text{ W}$ ,  $Q = 729,86 \text{ VAR}$ ,  $S = 755,61 \text{ VA}$  ga teng bo'ladi.

**2.4-Masala:** Agar elektr zanjirda (2.22-rasm)  $\dot{E}_1 = 120 \text{ V}$ ,  $\dot{E}_2 = 120e^{-j120^0} \text{ V}$ ,  $\dot{E}_3 = 120e^{-j240^0} \text{ V}$ ,  $r = x_L = x_C = 10 \Omega$  bo'lsa, shoxobchalardagi (tarmoq) toklar aniqlansin.



2.22 – rasm.

**Yechilishi:**

Ushbu zanjirni ikki tugun usuli yordamida hisoblash osonroq. Buning uchun shoxobchalarning kompleks o'tkazuvchanliklarini aniqlaymiz:

$$\underline{Y}_1 = \frac{1}{r} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ (sm)}$$

$$\underline{Y}_2 = -\frac{1}{jx_c} = \frac{1}{j10} = j0,1 \text{ (sm)}$$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{jx_L} = \frac{1}{j10} = -j0,1 \text{ (sm)}$$

Om va Kirxgof qonunlariga asosan tuzilgan tenglamalarni yechish bilan tugunlardagi potentsiallar qiymatini aniqlaymiz.

Om qonuni bo'yicha shaxobchalardagi toklar:

$$i_1 = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{ab})\underline{Y}_1$$

$$i_2 = (\dot{U}_{ab} - \dot{E}_2)\underline{Y}_2$$

$$i_3 = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{ab})\underline{Y}_3$$

Kirxgofning I qonunini a tugunga nisbatan tuzadigan bo'lsak.

$$i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

Yuqoridagi toklarni olib kelib qoysak  $\dot{U}_{ab}$  ikki tugun orasidagi kompleks kuchlanishni topamiz:

$$(\dot{E}_1 - \dot{U}_{ab})\underline{Y}_1 - (\dot{U}_{ab} - \dot{E}_2)\underline{Y}_2 + (\dot{E}_3 - \dot{U}_{ab})\underline{Y}_3 = 0$$

$$\dot{E}_1\underline{Y}_1 - \dot{U}_{ab}\underline{Y}_1 - \dot{U}_{ab}\underline{Y}_2 + \dot{E}_2\underline{Y}_2 + \dot{E}_3\underline{Y}_3 - \dot{U}_{ab}\underline{Y}_3 = 0$$

$$\underline{Y}_1\dot{U}_{ab} + \underline{Y}_2\dot{U}_{ab} + \underline{Y}_3\dot{U}_{ab} = \underline{Y}_1\dot{E}_1 + \underline{Y}_2\dot{E}_2 + \underline{Y}_3\dot{E}_3$$

$$(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3)\dot{U}_{ab} = \underline{Y}_1\dot{E}_1 + \underline{Y}_2\dot{E}_2 + \underline{Y}_3\dot{E}_3$$

$$\dot{U}_{ab} = \frac{\dot{E}_1\underline{Y}_1 + \dot{E}_2\underline{Y}_2 + \dot{E}_3\underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3}$$

$$\dot{U}_{ab} = \frac{120 \cdot 0,1 + 120e^{-j120^\circ} \cdot j0,1 + 120e^{-j240^\circ}(-j0,1)}{0,1 + j0,1 - j0,1} =$$

$$= \frac{12 + j \cdot (12\cos(-120^\circ) + j12\sin(-120^\circ)) - j \cdot (12\cos(-240^\circ) + j12\sin(-240^\circ))}{0,1}$$

=

$$= \frac{12 + j \cdot (-6 - j10,39) - j \cdot (-6 + j10,39)}{0,1} = \frac{12 - j6 + 10,39 + j6 + 10,39}{0,1}$$

$$= 328 \text{ (V)}$$

Har bir shaxobchalardagi (tarmoq) toklar:

$$\dot{I}_1 = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{ab})\underline{Y}_1 = (120 - 328) \cdot 0,1 = -20,8 \text{ (A)}$$

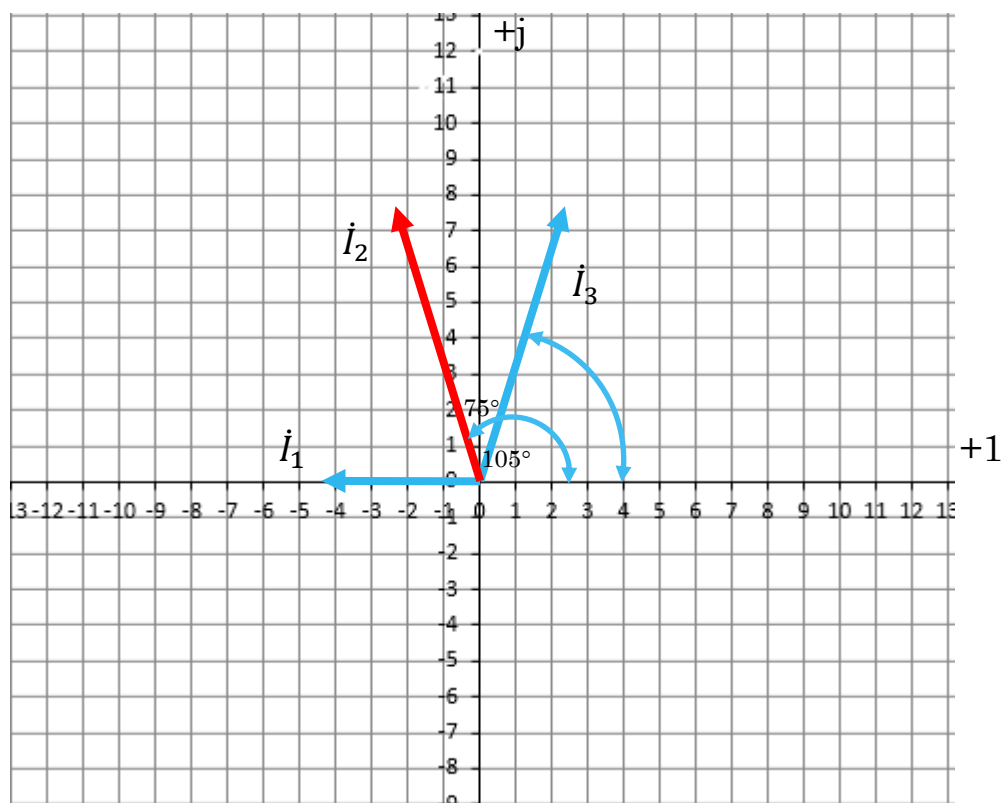
$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= (\dot{U}_{ab} - \dot{E}_2)\underline{Y}_2 = (328 - 120e^{-j120^\circ}) \cdot j0,1 = (328 + 60 + j103,9) \cdot j0,1 = \\ &= -10,39 + j38,8 \end{aligned}$$

$$\dot{I}_2 = -10,39 + j38,8 = \sqrt{(-10,39)^2 + (38,8)^2} e^{j \arctg\left(-\frac{38,8}{10,39}\right)} = 40e^{-j75^\circ}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_3 &= (\dot{E}_3 - \dot{U}_{ab})\underline{Y}_3 = (120e^{-j240^\circ} - 328) \cdot (-j0,1) = \\ &= (-60 + j103,9 - 328) \cdot (-j0,1) = 10,39 + j38,8 \end{aligned}$$

$$\dot{I}_3 = 10,39 + j38,8 = \sqrt{(10,39)^2 + (38,8)^2} e^{j \arctg\left(\frac{38,8}{10,39}\right)} = 40e^{j75^\circ}$$

Xisoblash natijalari asosida vector diagramma quramiz:



2.23-rasm.

### **III BOB. UCH FAZALI O'ZGARUVCHAN TOK ELEKTR ZANJIRLARI**

---

---

#### **3.1. Umumiy tushunchalar**

Bir fazali tok o'zgaruvchan tokning barcha afzalliklariga ega bo'lishiga qaramay, Xalq xo'jaligida keng qo'llanilishiga uning ayrim kamchiliklari to'sqinlik qiladi. Masalan, bir fazali tok yordamida aylanuvchi magnit maydonini hosil qilib bo'lmaydi. Bunday maydon esa o'zgaruvchan tokda ishlovchi barcha dvigatellarning "yuragi" hisoblanadi. Texnologik qurilmalarni harakatga keltirish uchun ishlatishga qulay va ishonchli bo'lgan katta quvvatli o'zgaruvchan tok dvigatellarini yaratish esa faqat ko'p fazali tok orqali amalga oshiriladi.

1891 yilda rus injeneri M. O. Dolivo-Dobrovolskiy uch fazali tok sistemasini ishlab chiqib, uni mazkur dvigatellarni ishlatishga tadbiiq etdi. Bu sistema hozirgi vaqtda elektrlashtirish sohasida butun dunyoga tarqalgan sistemaga aylandi. U fazali tokning keng ko'lamda ishlatilishi quyidagi sabablar bilan bog'liq:

1. Elektr energiyasini uch fazali tok sistemasi yordamida uzoq masofalarga uzatish uni fazalar soni boshqacha bo'lgan o'zgaruvchan tok bilan uzatishga qaraganda iqtisodiy jihatdan birmuncha tejamli hisoblanadi. Chunki elektr energiyasi uch fazali tok sistemasi bilan uzatilganda uzatish liniyalariga sarf qilinadigan rangli metall uni bir fazali tok sistemasi bilan uzatishdagiga qaraganda 25% kam sarf bo'ladi.

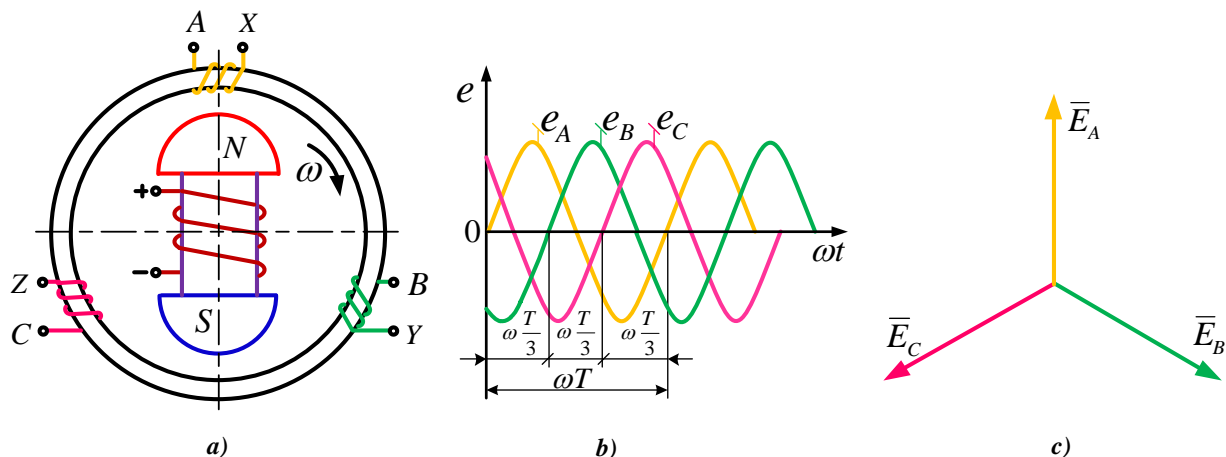
2. Uch fazali tok sistemasining asosiy elementlari hisoblangan uch fazali asinxron dvigatel va transformatorlarning tuzilishi oddiy, ishlatishga qulay bo'lib, ishonchliligi hamda tejamlilikligi nisbatan yuqoridir.

3. Bir yo'la ikkita ishchi kuchlanish, ya'ni faza kuchlanishi UF va liniya kuchlanishi UL ning borligi, turli nominal kuchlanishdagi iste'molchilarni ulash imkoniyati faqat ko'p fazali (shu jumladan, uch fazali) sistemaga xosdir.

4. Agar uch fazali EYuK (yoki kuchlanish) sistemasiga simmetrik yuklama ulangan bo'lsa, uning oniy quvvati har qanday vaqt uchun o'zgarmas bo'ladi.

### 3.2. Uch fazali EYuK, kuchlanish va tok sistemasini hosil qilish

Uch fazali EYuK uch fazali sinxron generatorda hosil qilinadi. Ushbu generator (3.1 a -rasm) qo'zg'almas stator va uning ichida aylanuvchi rotordan iborat.



3.1-rasm.

Statorning pazlariga (ariqchalariga) o'ramlar soni o'zaro teng bo'lgan va bir-biridan faza bo'yicha  $120^\circ$  ga siljigan (yoki  $T/3$  davr farq qilgan) uchta

A – X; B – Y; C – Z chulg'amlar joylashtirilgan. Chulg'amlarning bosh uchlari A, B, C va oxirgi uchlari X, Y, Z harflari bilan belgilangan. Har bir chulg'am uch fazali generatorning alohida fazasi hisoblanadi. Bu chulg'amlarda (fazalarda) induktsiyalangan EYuK larning ta'sir etuvchi qiymatlari  $E_A, E_B, va E_C$  harflari bilan belgilanadi.

Rotor o'zgarmas magnit (elektromagnit) dan yasalgan bo'lib, mashinaning asosiy magnit maydonini hosil qilish uchun xizmat qiladi. Unga o'ralgan "uyg'otish chulg'ami" dan o'tadigan tok yordamida rotorning magnit maydonini boshqarish mumkin.

Rotor o'zgarmas burchak tezligi bilan aylanganda uning magnit kuch chiziqlari statorning har bir chulg'amida (fazasida) elektromagnit induktsiyasi qonuniga ko'ra, amplituda va chastotalari bir xil bo'lgan, ammo bir-birlaridan faza bo'yicha  $2\pi$  ga (yoki  $T/3$  davrga) farqlanuvchi quyidagi sinusoidal o'zgaruvchan EYuK larni induktsiyalaydi:

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ e_C &= E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

bu ifodalarga mos grafiklar 3.1 b -rasmida ko'rsatilgan.

(3.1) ifodadan uch fazali EYuK lar sistemasining simmetrikligi ko'rinib turibdi.

Yuqoridagiga o'xshash yo'l bilan uch fazali kuchlanish va tok sistemasi uchun ham quyidagi ifodalarni yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} u_A &= U_m \sin \omega t \\ u_B &= U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ u_C &= U_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} i_A &= I_m \sin \omega t \\ i_B &= I_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ i_C &= I_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned} \right\}$$

Demak, uch fazali EYuK, kuchlanish va toklarning o'zgarish qonuniyatlari bir xil ekan.

Chastota va amplitudalari bir xil bo'lib, faza jihatdan  $2\pi/3$  ga farq qilgan uchta EYuK lar (yoki toklar) yig'indisi uch fazali EYuK larning (yoki toklarning) simmetrik sistemasi deyiladi. EYuK larning simmetrik sistemasida uchala faza EYuK lari oniy qiymatlarining yig'indisi istalgan vaqt lahzasida nolga teng. Masalan, grafikdan (3.1 b -rasm) foydalanib,  $t_1$  vaqt uchun quyidagini yozish mumkin:

$$e_A + e_B + e_C = E_m - \frac{1}{2}E_m - \frac{1}{2}E_m = 0.$$

Shuningdek, grafikdan ko'rinadiki har bir faza EYuK lari o'zlarining maksimumlariga  $T/3$  davr o'tib erishadi. Shunga ko'ra, EYuK vektorlari larning geometrik yig'indisi quyidagicha (3.1 c -rasm)

$$\bar{E}_A + \bar{E}_B + \bar{E}_C = 0$$

bo'lib, qirrali simmetrik yulduz shaklini tashkil etadi, 3.1 b va c -rasmdagi grafik haqidagi vektorlar diagrammasi generator rotorining soat mili harakati yo'nalishida aylanishiga mos keladi. Bunda hosil bo'lgan fazalarning ketma-ketligi (almashinuvi) fazalarning to'g'ri ketma-ketligi deyiladi. 3.1 c -rasmida ko'rsatilgan



vektor diagrammada esa EYuK vektorlari o'zlarining effektiv qiymatlarida ifoda qilingan.

### 3.3. Manba va iste'molchilarni to'rt simli yulduz usulida ulash

Generator va iste'molchi fazalarining oxirgi uchlarini tegishlicha  $O$  va  $O'$  nuqtalarga ulash "yulduz" usulida ulash deyiladi (3.2-rasm). Bunday ulash usuli "λ" belgisi bilan belgilanadi.  $O$  va  $O'$  nuqtalar generator va iste'molchining nolinci (yoki neytral) nuqtalari deyiladi. Ana shu nuqtalarni birlashtiruvchi sim nolinci (yoki neytral) sim deyiladi.

Manba va iste'molchi bir nomli fazalarining bosh uchlarini birlashtiruvchi  $A - A', B - B'$  va  $C - C'$  simlar liniya simlari deyiladi. Ana shu simlardan o'tadigan  $I_A, I_B, I_C$  toklar liniya toklari deyiladi va ular  $I_L$  deb belgilanadi.

Manba va iste'molchining bir nomli fazalaridan o'tadigan  $I_A, I_B, I_C$  toklar faza toklari deyiladi va ular  $I_F$  deb belgilanadi. Yulduz usuli bilan ulashda manba va iste'molchining bir nomli fazalari ketma-ket ulangani uchun liniya va faza toklari o'zaro teng bo'ladi:

$$I_L = I_F \quad (3.2)$$

Ixtiyoriy liniya simi (manba yoki iste'molchining bosh uchi) bilan nolinci sim (nolinci nuqta) orasidagi kuchlanish faza kuchlanishi deyiladi va ular tegishlicha  $U_A, U_B, U_C$  (yoki  $U_F$ ) tarzda belgilanadi.

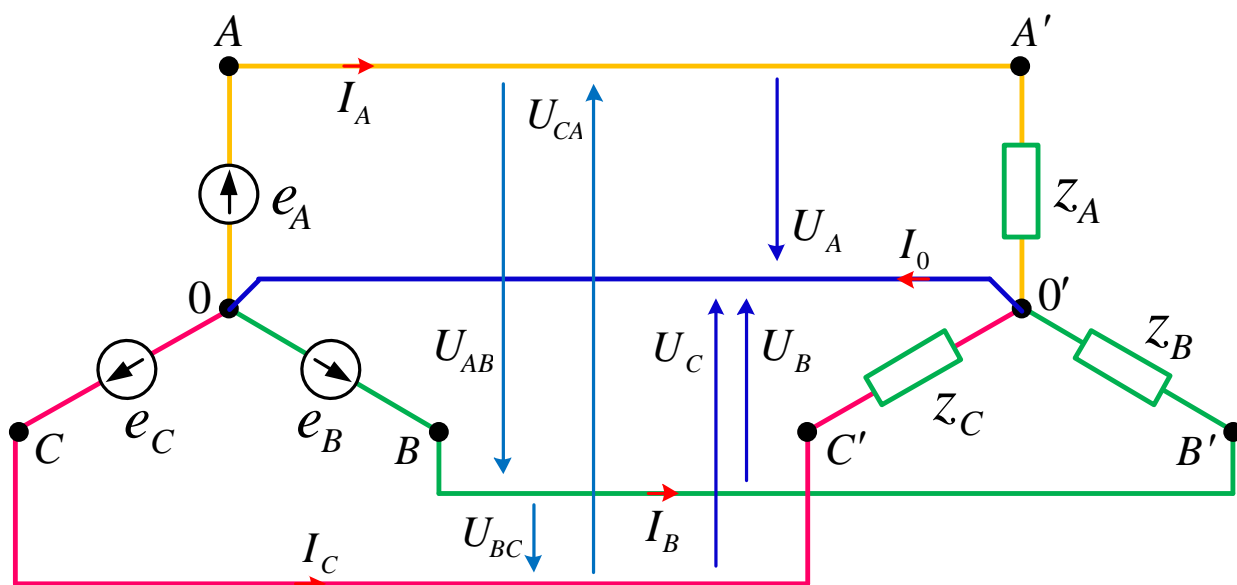
Istalgan ikkita liniya simi (yoki manba bilan iste'molchining istalgan ikkita bosh uchlari) orasidagi kuchlanish liniya kuchlanishi deyiladi. Ularni  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  (yoki  $U_L$ ) tarzda yozish qabul qilingan.

Iste'molchining faza qarshiliklari  $Z_A, Z_B, Z_C$  uch fazali manbaning (yoki tarmoqning) faza kuchlanishiga ulansa, u holda iste'molchining har bir fazasidagi tok va quvvat koeffitsienti quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}; \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B}; \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C} \quad \text{yoki} \quad I_F = \frac{U_F}{Z_F}$$

$$\cos \varphi_A = \frac{R_A}{Z_A}; \quad \cos \varphi_B = \frac{R_B}{Z_B}; \quad \cos \varphi_C = \frac{R_C}{Z_C}; \quad \text{yoki} \quad \cos \varphi_F = \frac{R_F}{Z_F}$$

$$\sin \varphi_A = \frac{X_A}{Z_A}; \quad \sin \varphi_B = \frac{X_B}{Z_B}; \quad \sin \varphi_C = \frac{X_C}{Z_C} \quad \text{yoki} \quad \sin \varphi_F = \frac{X_F}{Z_F}$$



**3.2-rasm.**

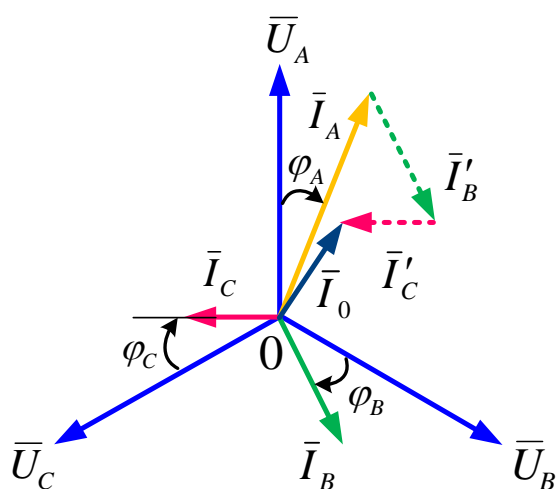
Uch fazali EYuK, kuchlanish va toklarning shartli musbat yo'nalishi 3.2-rasmdagi sxemada ko'rsatilgandek qabul qilinadi. Ushbu rasmda tokning musbat yo'nalishi qilib generatordan iste'molchiga tomon yo'nalishi, generator EYuK ning musbat yo'nalishi esa generator chulg'amlarining oxirgi  $X, Y, Z$  uchlaridan uning bosh uchlari  $A, B, C$  tomon yo'nalishi olingan. Iste'molchilarda kuchlanish va tokning musbat yo'nalishi qilib ularning bosh uchlari oxirgi uchlariga tomon yo'nalish qabul qilingan.

Nolinchi simdan o'tadigan tok  $I_0$  tarzda belgilanadi. Kirxgofning birinchi qonuniga muvofiq nolinchidagi tok liniya (yoki faza) toklarining geometrik yig'indisiga teng, ya'ni

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C \quad (3.3)$$

3.2-rasmdagi sxema uch fazali zanjirning to'rt simli sistemasi (yoki nol simli yulduz usulida ulash sxemasi) deyiladi. Bunday sistema yuklama nosimmetrik ya'ni  $I_A \neq I_B \neq I_C$  bo'lganda qo'llanadi. 3.3-rasmda aktiv-induktiv xarakterdagi nosimmetrik yuklama uchun qurilgan faza kuchlanishlari va toklarining vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Uni qurishda avval ixtiyoriy  $O$

nuqtadan  $U_A, U_B, U_C$ , faza kuchlanishlarining vektorlari  $120^\circ$  farq bilan chiziladi. So'ngra  $I_A, I_B, I_C$  faza toklari kuchlanishlarga nisbatan  $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$  kechikuvchi burchaklar ostida chizilib, tok  $I_0$  ning qiymati (3.3) ifodaga binoan aniqlanadi.



3.3-rasm.

To'rt simli sistemada uch fazali zanjirning har bir fazasi mustaqil zanjir hisoblanadi. Faza qarshiliklarining qiymatidan qat'iy nazar uchala faza kuchlanishi o'zaro teng, ya'ni  $U_A = U_B = U_C = U_F$ . Biron fazadagi qarshilikning o'zgarishi shu fazada va nolinch simdagi tokning o'zgarishiga sabab bo'ladi. Agar nosimmetrik yuklamada nolinch sim uzilsa, yuklamasi

kichikroq fazaning kuchlanishi nominaldan ortib ketib, shu fazadagi qarshilik qiziydi yoki kuyib ketadi. Yuklamasi kattaroq fazaning kuchlanishi esa nominaldan kamayib, tarmoqdan kamroq quvvat oladi. Shuning uchun nosimmetrik yuklamada faza kuchlanishlarining simmetriyasini saqlash maqsadida nolinch simga saqlagich qo'yilmaydi. Uch fazali notekis yuklamaga, asosan, elektr yoritish asboblari va maishiy iste'molchilar kiradi.

**Faza va liniya kuchlanishlari orasidagi nisbat.** Agar 3.2-rasmdagi sxemada zanjir konturlarining aylanib chiqish yunalishini  $A'$  dan  $B'$  ga,  $B'$  dan  $C'$  ga va  $C'$  dan  $A'$  ga qarab olinsa, u holda liniya kuchlanishlari faza kuchlanishlarining geometrik ayirmasiga teng bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_{AB} &= \bar{U}_A - \bar{U}_B \\ \bar{U}_{BC} &= \bar{U}_B - \bar{U}_C \\ \bar{U}_{CA} &= \bar{U}_C - \bar{U}_A \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Ushbu tengliklardan foydalanib, faza va liniya kuchlanishlari orasidagi nisbatni aniqlash mumkin. Buning uchun ixtiyoriy  $O$  nuqtadan faza kuchlanishlarining  $\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$  vektorlari o'zaro  $120^\circ$  farq bilan chiziladi. So'ngra faza kuchlanishlarining ma'lum qiymatlariga ko'ra (3.4) ifodaga binoan liniya

kuchlanishlarining vektor diagrammasini qurib, uning qiymatini aniqlaymiz (3.4-rasm).

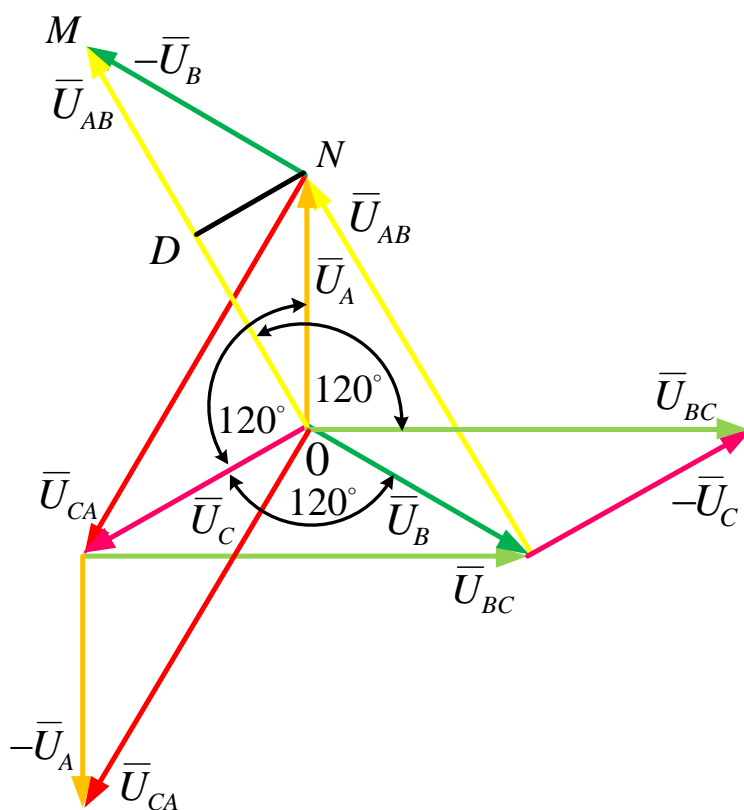
Ushbu vektorlar diagrammasidan ko'rinadiki, uchala liniya kuchlanishlari o'zaro teng va faza jihatdan bir-birlariga nisbatan  $120^\circ$  ga siljigan. Teng yonli  $OMN$  uchburchakdan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$OM = 2OD = 2ON \cos 30^\circ = \sqrt{3}ON.$$

Agar  $OM = U_{AB} = U_L$  va  $ON = U_A = U_F$  bo'lsa,

u holda

$$U_L = \sqrt{3}U_F \quad (3.5)$$



3.4-rasm.

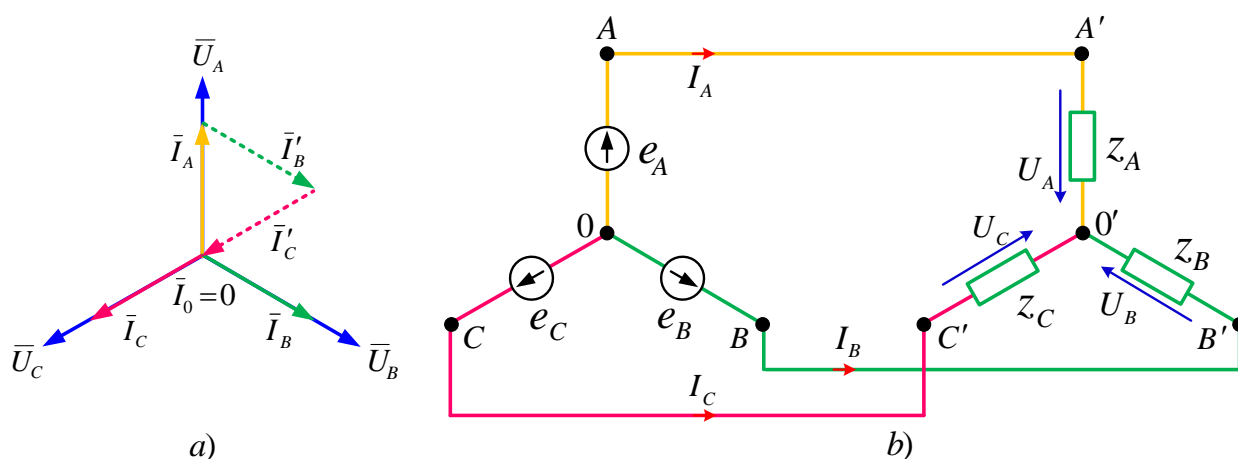
Demak, elektr iste'molchilari yulduz usulida ulanganda liniya kuchlanishi faza kuchlanishidan  $\sqrt{3}$  marta katta bo'lar ekan.

### 3.4. Manba va iste'molchilarni uch simli yulduz usulida ulash

Generatorning (yoki uch fazali tarmoqning) fazalariga ulanadigan qarshiliklar o'zaro teng ( $Z_A = Z_B = Z_C$ ) va bir xil xarakterga, ya'ni bir xil sig'im va induktivlikka ega bo'lsa, bunday yuklama simmetrik hisoblanadi. Simmetrik yuklamada liniya toklarining geometrik yig'indisi nolga teng, ya'ni

$$\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0 \quad (3.6)$$

(3.6) ifodaga mos vektor diagramma 3.5 a -rasmida ko'rsatilgan. Ushbu vektorlar diagrammasidan ko'rinadiki, simmetrik yuklamada nolinci simdan tok o'tmaydi. U holda nolinci simga ehtiyoj qolmay, manba va iste'molchini uch simli yulduz usulida ulash mumkin bo'ladi (3.5 b -rasm).



3.5-rasm.

Uch fazali simmetrik iste'molchilarga uch fazali sinxron dvigatellar, uch fazali induksion pechlar, shuningdek uch fazali simmetrik yuklama hosil qiluvchi barcha iste'molchilar misol bo'la oladi.

Simmetrik yuklamada faza va liniya kuchlanishlari o'zaro teng bo'ladi. Uch simli yulduz usulida ulashda  $U_L = \sqrt{3}U_F$  ifoda yuklama simmetrik bo'lgandagina kuchga ega.

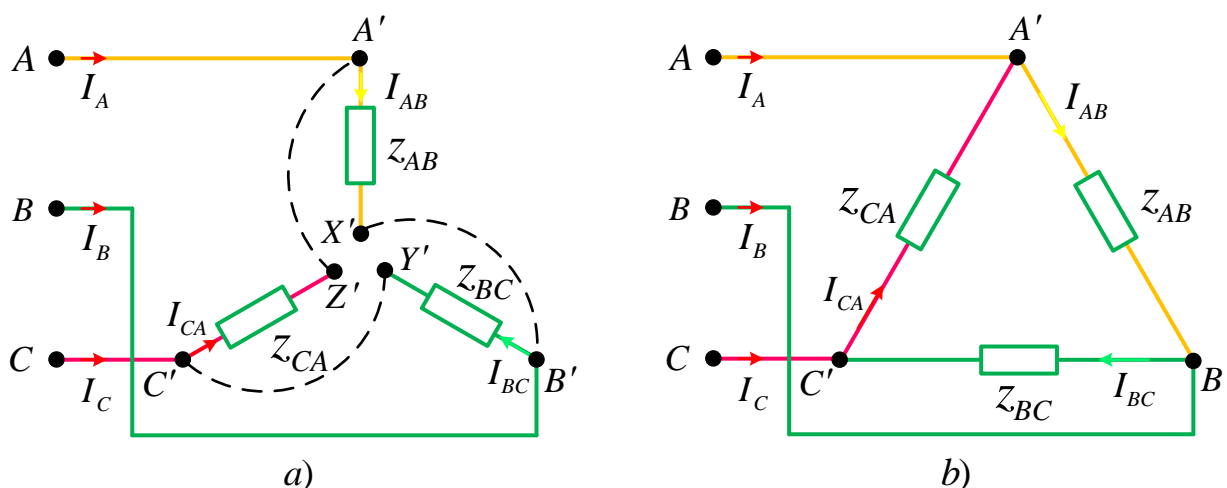
### 3.5. Iste'molchilarni uchburchak usulida ulash

Uch fazali tok iste'molchilarini *uchburchak usulida* ulash deb, birinchi fazaning oxirgi uchi  $X'$  ni ikkinchi fazaning bosh uchi  $B'$  bilan, ikkinchi fazaning oxirgi uchi  $Y'$  ni uchinchi fazaning bosh uchi  $C'$  bilan va uchinchi fazaning oxirgi

uchi  $Z'$  ni birinchi fazaning bosh uchi  $A'$  bilan ulashga aytiladi (3.6-rasm, a). Bunday ulash usuli “ $\Delta$ ” belgisi bilan ko'rsatiladi. Odatda, generatorning chulg'amlari yulduz usulida ulanadi. Ammo uch fazali transformatorlarning ikkilamchi chulg'amli yulduz yoki uchburchak usulida ulanishi mumkin.

3.6-rasmdagi sxemalardan ko'rinadiki, iste'molchining faza qarshiliklari  $Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$  har juft liniya simlari  $A' - B', B' - C', C' - A'$  ga ulangan. Demak, iste'molchi uchburchak usulida ulanganda uning har bir fazasi manbaning (yoki tarmoqning) liniya kuchlanishiga ulanar ekan. Bunday ulash sxemasida liniya va faza kuchlanishlari o'zaro teng bo'ladi:

$$U_L = U_F.$$



3.6-rasm.

Iste'molchining faza qarshiliklaridan o'tayotgan  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  toklarga faza toklari deyiladi. Liniya simlaridan o'tayotgan toklar  $I_A, I_B, I_C$  esa liniya toklari deyiladi. Faza va liniya toklarining shartli musbat yo'nalishlari 3.6 a va b -rasmda ko'rsatilgan.

Faza kuchlanishlari va qarshiliklarining ma'lum qiymatlarida har bir faza tokini va quvvat koeffitsientini hisoblab topish mumkin:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}; \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}}; \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}$$

$$\cos \varphi_{AB} = \frac{R_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \cos \varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}}; \quad \cos \varphi_{CA} = \frac{R_{CA}}{Z_{CA}}$$

yoki umumiy holda

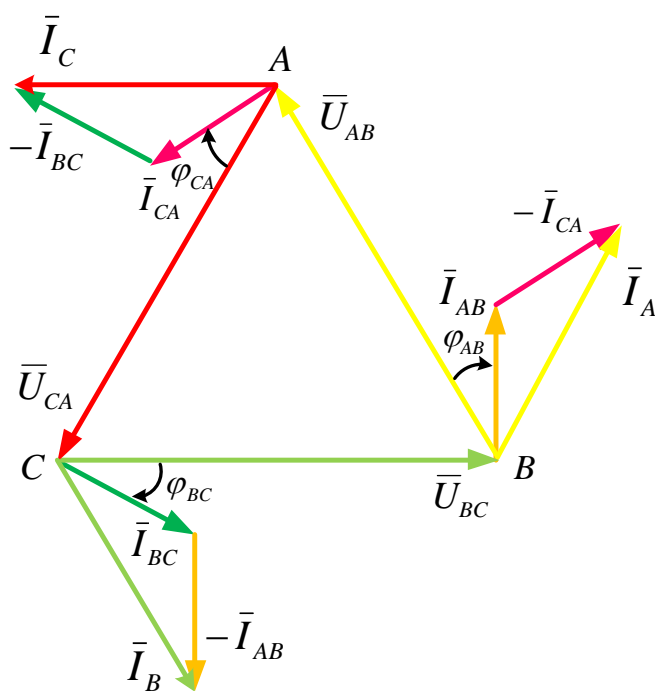
$$\sin \varphi_{AB} = \frac{X_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \sin \varphi_{BC} = \frac{X_{BC}}{Z_{BC}}; \quad \sin \varphi_{CA} = \frac{X_{CA}}{Z_{CA}} \quad \text{yoki}$$

$$I_F = \frac{U_F}{Z_F}; \quad \cos \varphi_F = \frac{R_F}{Z_F}; \quad \sin \varphi_F = \frac{X_F}{Z_F}.$$

Iste'molchining faza qarshiliklarini yulduz yoki uchburchak usulida ulash liniya kuchlanishining qiymatiga va iste'molchining qanday nominal kuchlanishga mo'ljallanganiga bog'liq. Masalan, pasportida " $\lambda/\Delta - 380/220$ " yozuvi bo'lgan uch fazali asinxron motorni liniya kuchlanishi  $U_L = 380 V$  li tarmoqqa yulduz usulida, liniya kuchlanishi  $U_L = 220 V$  li tarmoqqa esa uchburchak usulida ulash mumkin. Agar  $U_L = 380 V$  li tarmoqqa uchburchak usulida ulanilsa,  $U_{nom} = U_L = 380 V$  bo'lib, stator chulg'amlari kuyib ketadi. Agar  $U_L = 220 V$  li tarmoqqa yulduz usulida ulanilsa,  $U_{nom} = U_F = 127 V$  bo'lib, motor to'la quvvat bilan ishlamaydi.

**Faza va liniya toklari orasidagi nisbat.** Uchburchak usulida ulashda faza va liniya toklarining teng emasligi 3.6-rasmdagi sxemalardan ham ko'rinib turibdi. Bu toklar orasidagi nisbatni aniqlash uchun Kirxgofning I-qonuniga asosan A, B, C tugunlar uchun quyidagi tenglamalarni yozamiz:

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}; \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}; \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}. \quad (3.7)$$



3.7-rasm.

Demak, liniya toklari faza toklarining geometrik ayirmasiga teng ekan.

3.7-rasmda aktiv-induktiv xarakterdagi simmetrik yuklama uchun liniya va faza kuchlanishlari hamda toklarining vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Dastlab liniya (faza) kuchlanishlari vektorlarining uchburchagi quriladi, so'ngra  $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$  faza toklarini liniya

kuchlanishlariga nisbatan  $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA}$  kechikuvchi burchaklar ostida chizamiz. Keyin (3.7) ifodaga binoan liniya toklarining vektorlarini topib, ularning qiymatini aniqlaymiz. Ushbu vektorlar diagrammasidan ko'rinadiki, uchala liniya toklari  $I_A, I_B, I_C$  o'zaro teng va faza toklaridan faza bo'yicha  $30^\circ$  ga kechikadi.

Teng yonli uchburchak BND dan (3.5) formulani topgandagi kabi usul bilan

$$I_L = \sqrt{3I_F} \quad (3.8)$$

ekanligini aniqlaymiz.

Demak, iste'molchilarni uchburchak usulida ulaganda liniya toklari faza toklaridan  $\sqrt{3}$  marta katta bo'lar ekan. (3.8) ifoda yuklama simmetrik bo'lgandagina kuchga ega. Yuklama nosimmetrik bo'lganda har bir liniya toki alohida o'lchanadi yoki ma'lum faza toklari bo'yicha (3.7) ifodaga binoan tok va kuchlanishlarning vektor diagrammasini tegishli masshtabda ko'rib aniqlanadi.

### 3.6. Uch fazali zanjirlarning quvvati

Bir fazali tok zanjirida ko'rilgan aktiv, reaktiv va to'la quvvat tushunchalari uch fazali tok zanjirida ham o'z ma'nosini to'la saqlaydi. Yuklama simmetrik va nosimmetrik bo'lganda yulduz va uchburchak usulida ulangan iste'molchilarning aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarini hisoblash (aniqlash) formulalari bilan tanishib chiqamiz.

1. Yuklama nosimmetrik bo'lganda har bir fazaning quvvati alohida hisoblab topiladi.

Yulduz  $\lambda$  usulida ulaganda

$$I_A \neq I_B \neq I_C$$

Uchburchak  $\Delta$  usulida ulaganda

$$I_{AB} \neq I_{BC} \neq I_{CA}$$

Aktiv quvvat

$$P_A = U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A$$

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos \varphi_{AB}$$

$$P_B = U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_B$$

$$P_{BC} = U_{BC} \cdot I_{BC} \cdot \cos \varphi_{BC}$$

$$P_C = U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_C$$

$$P_{CA} = U_{CA} \cdot I_{CA} \cdot \cos \varphi_{CA}$$

Uch fazali zanjirning aktiv quvvati alohida fazalar aktiv quvvatlarining yig'indisiga teng, ya'ni



$$P_{\lambda} = P_A + P_B + P_C$$

$$P_{\Delta} = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$$

Reaktiv quvvat

$$Q_A = U_A \cdot I_A \cdot \sin \varphi_A$$

$$Q_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \sin \varphi_{AB}$$

$$Q_B = U_B \cdot I_B \cdot \sin \varphi_B$$

$$Q_{BC} = U_{BC} \cdot I_{BC} \cdot \sin \varphi_{BC}$$

$$Q_C = U_C \cdot I_C \cdot \sin \varphi_C$$

$$Q_{CA} = U_{CA} \cdot I_{CA} \cdot \sin \varphi_{CA}$$

Uch fazali zanjirning reaktiv quvvati alohida fazalar reaktiv quvvatlarining yig'indisiga teng, ya'ni

$$Q_{\lambda} = Q_A + Q_B + Q_C$$

$$Q_{\Delta} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}$$

To'la quvvat

$$S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2}$$

$$S_{AB} = \sqrt{P_{AB}^2 + Q_{AB}^2}$$

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2}$$

$$S_{BC} = \sqrt{P_{BC}^2 + Q_{BC}^2}$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2}$$

$$S_{CA} = \sqrt{P_{CA}^2 + Q_{CA}^2}$$

Uch fazali zanjirning to'la quvvati

$$S_{\lambda} = \sqrt{P_{\lambda}^2 + Q_{\lambda}^2}$$

$$S_{\Delta} = \sqrt{P_{\Delta}^2 + Q_{\Delta}^2}$$

2. Yuklama simmetrik bo'lganda

$$I_A = I_B = I_C = I_F$$

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_F$$

$$\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_F$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi_F$$

Aktiv quvvat

$$P_A = P_B = P_C = P_F$$

$$P_{AB} = P_{BC} = P_{CA} = P_F$$

$$P_F = U_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi_F$$

$$P_F = U_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi_F$$

$$P_{\lambda} = 3U_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi_F = 3P_F$$

$$P_{\Delta} = 3U_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi_F = 3P_F$$

Reaktiv quvvat

$$Q_A = Q_B = Q_C = Q_F$$

$$Q_{AB} = Q_{BC} = Q_{CA} = Q_F$$

$$Q_F = U_F \cdot I_F \cdot \sin \varphi_F$$

$$Q_F = U_F \cdot I_F \cdot \sin \varphi_F$$

$$Q_{\lambda} = 3U_F \cdot I_F \cdot \sin \varphi_F = 3Q_F$$

$$Q_{\Delta} = 3U_F \cdot I_F \cdot \sin \varphi_F = 3Q_F$$

To'la quvvat

$$S_A = S_B = S_C = S_F$$

$$S_{AB} = S_{BC} = S_{CA} = S_F$$

$$S_F = U_F \cdot I_F$$

$$S_F = U_F \cdot I_F$$

$$S_{\lambda} = 3U_F \cdot I_F = 3S_F$$

$$S_{\Delta} = 3U_F \cdot I_F = 3S_F$$

Iste'molchi yulduz usulida  $I_L = I_F$  va  $U_L = \sqrt{3}U_F$  uchburchak usulida ulanganda esa  $I_L = \sqrt{3}I_F$  va  $U_L = U_F$  ekanligini hisobga olib, aktiv, reaktiv va to'la quvvatlarni aniqlashning quyidagi umumlashgan formulalarini yozish mumkin:

$$P = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi_F;$$

$$Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi_F;$$

$$S = \sqrt{3}U_L I_L.$$

Yuklama qarshiliklarini yulduz usulidan uchburchak usuliga va aksincha o'tkazib ulash amalda uchrab turadi. Masalan uch fazali elektr pechining temperaturasini rostlash maqsadida  $\Delta$  dan  $\lambda$  ga o'tkazib ulanadi. Ammo bunda pechning quvvati 3 marta kamayadi. Agarda  $\lambda$  dan  $\Delta$  ga o'tkazib ulansa pechning quvvati 3 marta ortadi. Haqiqatan ham, yulduz usulida ulanganda:

$$I_{F\lambda} = \frac{U_{F\lambda}}{R_F}; \quad P_\lambda = 3U_{F\lambda} \cdot I_{F\lambda} = 3 \cdot \frac{U_{F\lambda}^2}{R_F}.$$

Uchburchak usulida ulanganda esa

$$U_{F\Delta} = \sqrt{3}U_{F\lambda}; \quad I_{F\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_{F\lambda}}{R_F}; \quad P_\Delta = 3U_{F\Delta} \cdot I_{F\Delta} = 9 \cdot \frac{U_{F\lambda}^2}{R_F}.$$

$$\frac{P_\Delta}{P_\lambda} = 3.$$

## IV BOB. TRANSFORMATORLAR

---

---

### 4.1. Umumiy tushunchalar

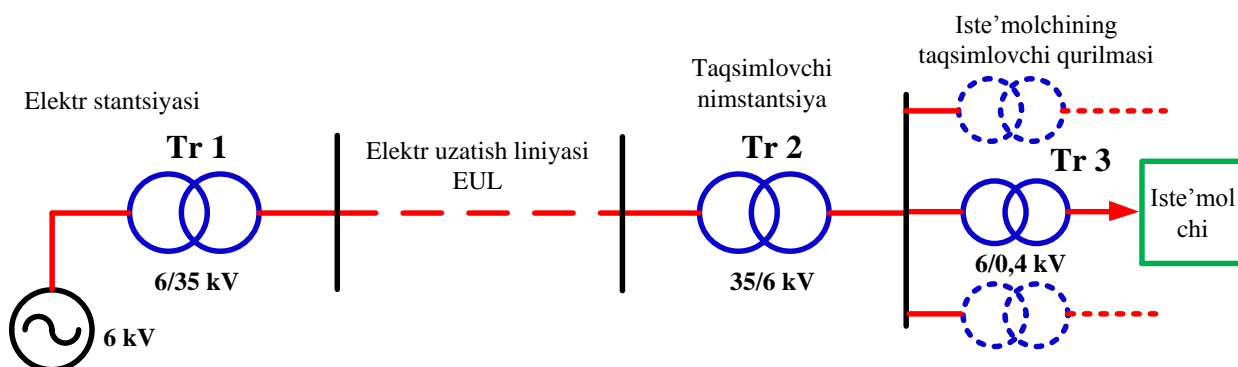
Elektrotexnikaning asosiy vazifalaridan biri elektr energiyasini bir joydan ikkinchi joyga uzatishdir. Chunki elektr energiyasining iste'molchilari aksariyat hollarda yoqilg'i va gidroresurslar tabiiy joylashgan rayonlarga qurilgan elektr stantsiyalaridan bir necha o'nlab va yuzlab kilometr masofalarda joylashadi. Elektr energiyasini uzatish liniyalarida esa quvvatning issiqlikka sarf bo'ladigan isrofi  $\Delta P = J^2 \cdot R_l$  va kuchlanishning pasayuvi  $\Delta U = I^2 \cdot R_l$  doimo mavjuddir. Liniyaning uzunligi ortgan sari bu ko'rsatkichlar ham ortadi. Elektr tokining to'la quvvati ( $S = U \cdot I$ ) ni o'zgartirmagan holda uni turli kuchlanish va tok bilan uzatish mumkin. Quvvat formulasidan ko'rinib turibdiki, uzatishda kuchlanish qanchalik yuqori bo'lsa tok kuchi shunchalik kichik bo'lib, u bilan bog'liq isroflar ham shunchalik kam bo'ladi. Tok kuchini kamaytirish uzatish simining ko'ndalang kesimini kichik olishga va rangli metallarni tejashga imkon beradi.

Hozirgi vaqtda o'zgaruvchan tokning 35, 110, 220, 500, 750 va 1150 kV kuchlanishli uzatish liniyalari mavjud. Ammo o'ta yuqori kuchlanishlarni bevosita generatorlardan olib bo'lmaydi. Odatda, elektr stantsiyalaridagi generatorlarning nominal kuchlanishi ko'pi bilan 21 kV dan oshmaydi. Elektr energiyasining iste'molchilari esa 380/220; 220/127 V nominal kuchlanishlarga mo'ljallangan. Shuning uchun generatorlar ishlab chiqaradigan elektr energiyasining nisbatan past kuchlanishli, ammo katta tok kuchiga ega bo'lgan quvvatini (hozirgi vaqtda 150, 300, 500, 800 va 1200 ming kVt li generatorlar ishlab chiqariladi) yuqori kuchlanishli va nisbatan kichik tok kuchiga ega bo'lgan quvvatga o'zgartirish kerak. Bu vazifa transformatorlar yordamida oddiygina hal etiladi.

Transformatorning ixtirochisi P.N. Yablochkov hisoblanadi. U 1876 yilda elektr yoy lampasi uchun manba sifatida ilk bor transformatoridan foydalangan.

Transformatorlardan foydalanish 1891 yili uch fazali transformatorning konstruktsiyasi ishlab chiqilib, elektr energiyasini uch fazali tok sistemasi

yordamida uzatish amalga oshirilgandan so'ng yanada kengaydi. Bu elektrlashtirishning jadal rivojlanishiga sabab bo'ldi.



4.1-rasm.

4.1-rasmda elektr energiyasini transformatorlar yordamida uzatish sxemasi ko'rsatilgan. Sxemadan ko'rinib turibdiki, elektrostantsiyada generator ishlab chiqarayotgan elektr energiyasi transformator Tr1 yordamida 6 kV kuchlanishdan 35 kV gacha orttirilib, elektr uzatish liniyasi orqali taqsimlovchi podstantsiyaga berilmoqda. U yerda pasaytiruvchi transformator Tr2 yordamida kuchlanish 35 kV dan 6 kV gacha pasaytirilib, iste'molchining transformatori Tr3 ga uzatilmoqda. Bunday transformatorlardan bir nechta bo'lishi mumkin. Transformator Tr3 yordamida kuchlanish 6 kV dan iste'molchi uchun zarur bo'lgan 380/220, 220/127 V kuchlanishlarga aylantiriladi. Ko'rinib turibdiki, elektr energiyasi elektrostantsiyadan iste'molchiga yetib kelguncha uch marta transformatsiyalanmoqda. Real hollarda transformatsiyalanish soni bundan ham ko'p bo'lishi mumkin.

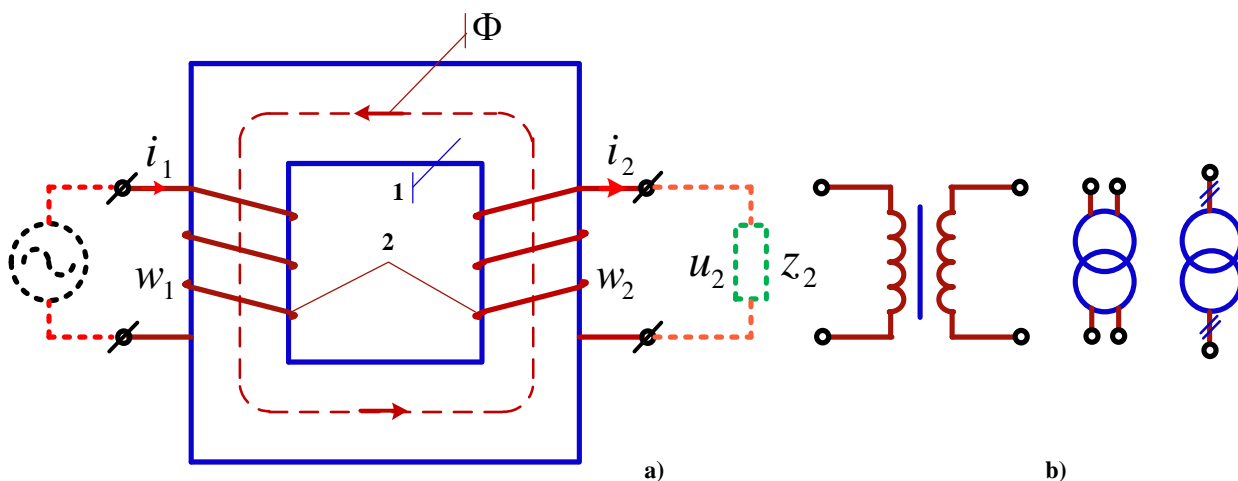
Elektr energiyasining bir pog'onada bo'lgan kuchlanish va toki  $u_1$  va  $i_1$  ni boshqa pog'onadagi kuchlanish va tok  $u_2$  va  $i_2$  ga aylantirib beradigan **statik (harakatlanuvchi qismlari bo'lmagan) elektromagnit apparati transformator deyiladi**. Transformatorlar energetik sistemalarda qo'llanilishidan tashqari, kuchsiz toklarda ishlovchi hisoblash mashinalari, avtomatika, telemexanika, aloqa, radiotexnika va televidenie qurilmalari zanjirlarida va umuman, elektr kuchlanishini o'zgartirib berish kerak bo'lgan barcha joylarda ishlatiladi.

Transformatorlar bajaradigan vazifasiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi:

- ❖ elektr energiyasini uzatish va taqsimlash uchun mo'ljallangan katta quvvatli (uch fazali) transformatorlar;
- ❖ kerakli joylarda kuchlanishni keng doirada o'zgartirib berish va dvigatellarni ishga tushirish uchun mo'ljallangan avtotransformatorlar;
- ❖ taqsimlash tarmoqlaridagi kuchlanishni rostlab turish uchun mo'ljallangan induksion rostlagichlar;
- ❖ o'lchov asboblari va himoya vositalarini sxemalarga ulash uchun mo'ljallangan o'lchov transformatorlari;
- ❖ payvandlash, qizdirish pechlari sinov, to'g'rilash va hokazolar uchun mo'ljallangan maxsus transformatorlar.

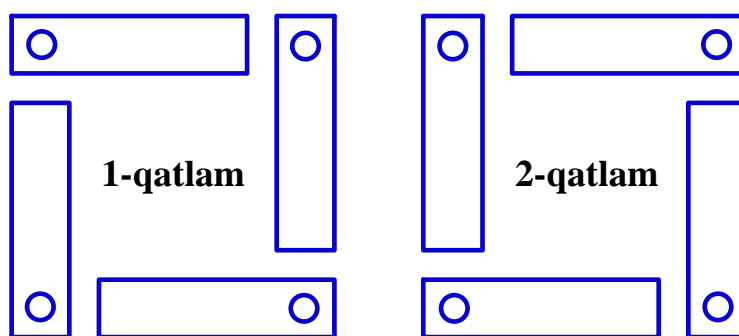
#### 4.2. Transformatorning tuzilishi va ishlash prinsipi

Transformator turlarining ko'p bo'lishiga qaramay, ularda bo'ladigan elektromagnit jarayonlar umumiy o'xshashlikka ega bo'lib, ularning ishlash prinsipi bir xildir. 4.2-rasmda bir fazali ikki chulg'amli transformatorning sxemasi va shartli belgilanishi ko'rsatilgan. Transformator po'lat o'zak (magnit o'tkazgich) 1 dan va ikkita mis chulg'amlar 2 dan iborat.



4.2-rasm.

Po'lat o'zakning induksion toklar hisobiga qizib ketishini kamaytirish maqsadida u qalinligi  $0,35 \div 0,5$  mm bo'lgan elektrotexnika po'lat plastinalardan yig'iladi. Plastinalarning ikki tomoniga izolyatsion lok surtiladi yoki ular tegishlicha qizdiriladi. Po'lat o'zak plastinalarni yig'ish tartibi 4.3-rasmda ko'rsatilgan. Qatlam plastinalarining choklari ustma-ust tushmasligi kerak.



4.3-rasm.

Po'lat o'zak magnit zanjirini hosil qilish uchun xizmat qiladi va shu tufayli asosiy magnit oqimi  $F$  po'lat o'zak bo'ylab harakatlanadi. Po'lat o'zakning mis chulg'amlar o'ralgan qismi *sterjen* deyiladi. Shuning uchun birlamchi chulg'amga (zanjirga) oid kattaliklar 1 indeksiga ega, masalan, birlamchi chulg'amning o'ramlar soni  $w_1$  qismlaridagi kuchlanish  $u_1$  zanjirdagi tok  $i_1$  va h.k. shuningdek, ikkilamchi chulg'amga oid kattaliklar 2 indeksiga ega, masalan,  $w_2$ ,  $u_2$ ,  $i_2$  va h.k.

Transformatorning birlamchi chulg'amiga berilgan sinusoidal kuchlanish ( $u_1 = U_m \sin \omega t$ ) ta'sirida chulg'amdan o'zgaruvchan tok oqib o'tadi. Bu tok transformatorning po'lat o'zagida o'zgaruvchan magnit oqimi ( $\Phi$ ) ni hosil qiladi. Chulg'amlarning o'ramlarini kesib o'tayotgan bu asosiy magnit oqimi birlamchi chulg'amda o'zinduksiya, ikkilamchi chulg'amda esa o'zaro induksiya hodisasiga binoan tegishli  $e_1$  va  $e_2$  elektr yurituvchi kuchlarni induksiyalaydi. Mazkur EYuK larning ta'sir etuvchi qiymatlari:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot F, \quad (4.1)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot F. \quad (4.2)$$

Bu yerda  $f$  - o'zgaruvchan tokning chastotasi, Gts;  $w_1$  va  $w_2$  - birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning o'ramlari soni;  $\Phi$  - asosiy magnit oqimi, Vb.

Demak, (4.1) va (4.2) ifodalardan ko'rinadiki, chastota  $f$  va magnit oqimi  $\Phi$  o'zgarmas bo'lganda chulg'amlarda induksiyalangan EYuK  $E_1$  va  $E_2$  lar ularning o'ramlari soniga proporsional ekan, ya'ni;

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Bu nisbat transformatorning *transformatsiya koeffitsienti* hisoblanadi, ya'ni

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}. \quad (4.3)$$

Mazkur koeffitsient transformatorga berilgan kuchlanishning necha marta o'zgarishini ko'rsatadi. Agar  $k > 1$  bo'lsa, transformator kuchlanishini pasaytirib beruvchi, agar  $k < 1$  bo'lsa, kuchlanishni orttirib beruvchi hisoblanadi.

Agar 4.2-rasm, a da ko'rsatilgan transformatorning ikkilamchi chulg'amiga yuklama  $Z_2$  ulasak, EYuK  $E_2$  ta'sirida undan tok  $i_2$  o'ta boshlaydi. Shunday qilib, kuchlanishi  $u_1$ , tok kuchi  $i_1$  bo'lgan manbaning elektr energiyasi transformator yordamida kuchlanishi  $u_2$  va tok kuchi  $i_2$  bo'lgan elektr energiyasiga aylantirib, iste'molchiga uzatiladi.

Transformatorning manbadan (tarmoqdan) olayotgan birlamchi quvvati  $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$  bo'lsa, uning iste'molchiga berayotgan ikkilamchi quvvati  $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$ . Agar transformatoridagi quvvat isrofi hisobga olinmasa,  $P_1 \approx P_2$  bo'ladi.

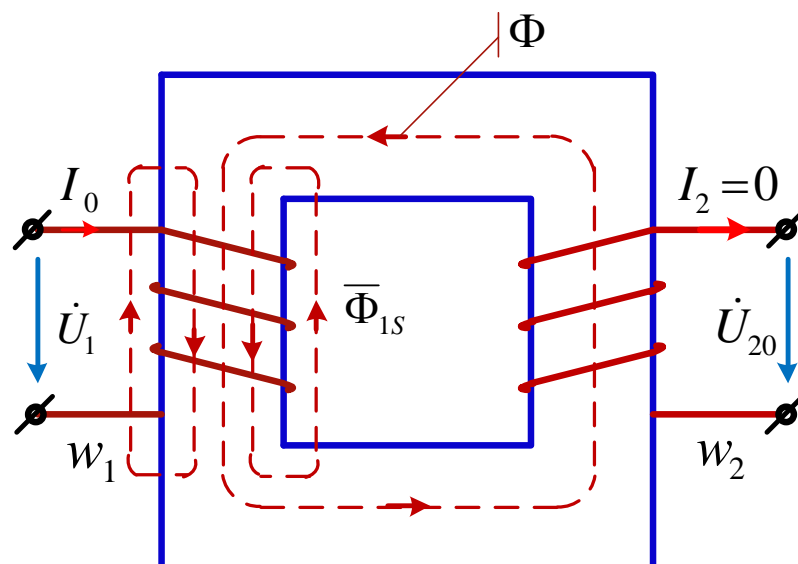
Birlamchi va ikkilamchi zanjirlardagi faza siljish burchaklarini taxminan bir xil desak,  $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$  deyish mumkin. Agar kuchlanishlar bir-birlari bilan xuddi EYuK lar kabi nisbatda bo'ladi desak, transformatsiya koeffitsientini quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

Demak, transformator chulg'amlaridagi toklar kuchlanishlarga teskari proporsional.

### 4.3. Transformatorning ish rejimlari

**Salt ishlash rejimi.** Transformatorlarni ishlatish jarayonida ko'pgina vaqt ularning birlamchi chulg'ami manbaga ulanib, ikkilamchi uchlari bo'sh qoladi. Bunday rejim transformatorning **salt (yuklamasiz) ishlash rejimi** deyiladi. Salt ishlash rejimida  $U_1 = U_{1nom}$  va  $I_2 = 0$  bo'ladi. Bunga mos sxema 4.4-rasmda ko'rsatilgan. Transformatorning birlamchi chulg'amiga berilgan sinusoidal kuchlanish  $U_1$  ta'sirida chulg'amdan salt ishlash toki  $I_0$  oqib o'tadi.



4.4-rasm.

Bu tokning magnitlovchi kuchi  $I_0 w_1$  po'lat o'zak bo'ylab tutashuvchi asosiy magnit oqimi  $F = F_m \sin \omega t$  ni va qisman havo hamda po'lat o'zak orqali tutashib tarqalgan magnit oqimi  $\Phi_{1s}$  ni hosil qiladi. Bu o'zgaruvchan magnit oqimlari o'zining chulg'amlarda induktsiyalangan EYuK lari bilan quyidagi bog'lanishga ega:

$$\begin{aligned}
 e_1 &= -w_1 \frac{dF}{dt} = \omega w_1 F_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\
 e_2 &= -w_2 \frac{df}{dt} = \omega w_2 F_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\
 e_{1s} &= -w_1 \frac{df}{dt} = \omega w_1 F_{1s} \sin(\omega t - 90^\circ).
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Demak, EYuK lar ularni induktsiyalangan magnit oqimlaridan faza bo'yicha  $90^\circ$  ga kechikadi. Bu EYuK larning ta'sir etuvchi qiymatlari:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega w_1}{\sqrt{2}} \Phi_m = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} w_1 \Phi_m$$

Yoki

$$\begin{aligned}
 E_1 &= 4,44 f_1 w_1 \Phi_m, \\
 E_2 &= 4,44 f w_2 \Phi_m, \\
 E_{1s} &= 4,44 f w_1 \Phi_{1s}.
 \end{aligned}$$



Birlamchi chulg'amga berilgan kuchlanish  $\bar{U}_1$  EYuK ( $\bar{E}_1$  va  $\bar{E}_{1S}$ ) larni, shuningdek, chulg'amning aktiv qarshiligi  $R_1$  kuchlanishning pasayishini kompensatsiya qiladi. U holda Kirxgofning II qonuniga binoan birlamchi chulg'am zanjirining elektr muvozanat holati:

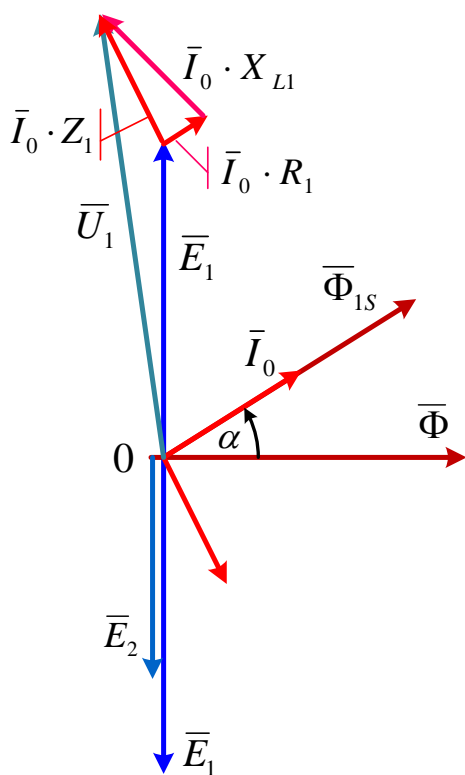
$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{E}_{1S} + \bar{I}_0 R_1 \quad (4.5)$$

Agar EYuK  $\bar{E}_{1S}$  ni chulg'amdagi kuchlanishning induktiv pasayuvi  $I_0 \cdot X_L$  bilan kompensatsiya qilinadi desak va  $\bar{I}_0 R_1 = \bar{U}_{R1}$  bo'lsa:

yoki

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_1 &= -\bar{E}_1 + \bar{U}_{R1} + \bar{U}_{L1} \\ \bar{U}_1 &= -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 R_1 + \bar{I}_0 X_{L1} \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

(4.6) tenglama yordamida transformator salt ishlash rejimining vektor diagrammasini quramiz (4.5-rasm).



**4.5-rasm.**

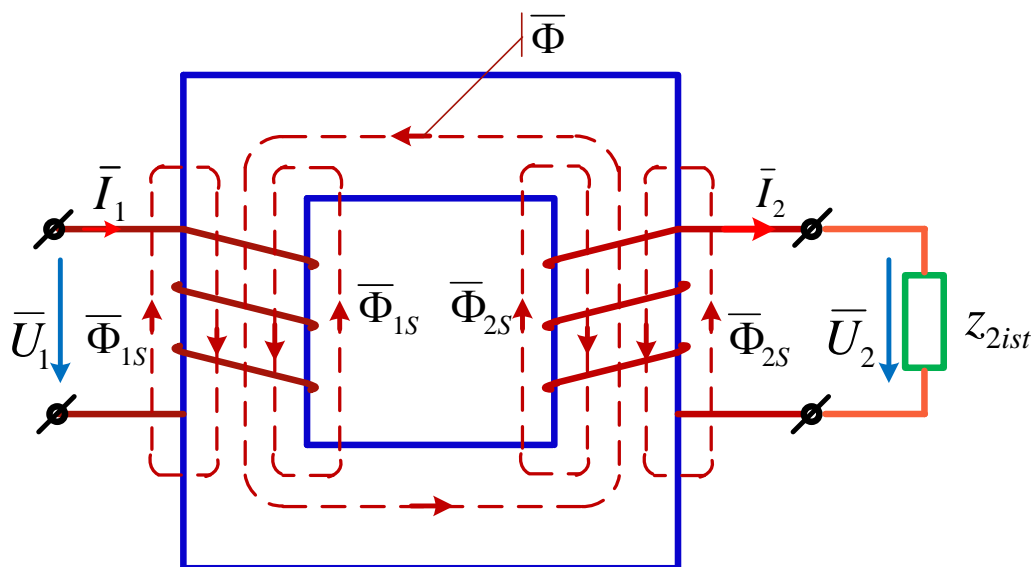
Bosh vektor sifatida ixtiyoriy O nuqtadan asosiy magnit oqimining vektori  $\bar{\Phi}$  ni gorizontaal yo'nalishda chizamiz. Undan faza bo'yicha  $90^\circ$  ga kechikuvchi burchak ostida  $\bar{E}_1$  va  $\bar{E}_2$  lar chiziladi. Tok  $\bar{I}_0$  po'lat o'zakdagi quvvat (magnit) isroflari tufayli magnit oqimi  $\bar{\Phi}$  dan  $\alpha$  burchakka ilgarilab keladi. Magnit oqimi  $\bar{\Phi}_{1S}$  tok  $\bar{I}_0$  bilan bir xil yo'nalishda bo'ladi. EYuK  $\bar{E}_{1S}$  oqim  $\bar{\Phi}_{1S}$  dan  $90^\circ$  ga kechikadi. Kuchlanish  $\bar{U}_1$  vektorini (4.6) tenglamadagi  $E_1$  manfiy ishorali bo'lgani uchun qarama-qarshi tomonga yo'naltiramiz. Vektor  $\bar{E}_1$  ning davomiga vektor  $\bar{I}_0 R_1$  ni tok  $\bar{I}_0$  yo'nalishida chizamiz. So'ngra vektor  $\bar{I}_0 R_1$

ga nisbatan  $90^\circ$  ga ilgarilovchi burchak ostida vektor  $\bar{I}_0 \cdot X_L$  ni chizamiz. Vektor  $\bar{I}_0 \cdot X_L$  ning oxirgi uchini 0 nuqta bilan tutashtirib, kuchlanish vektori  $\bar{U}_1$  ni hosil

qilamiz. Vektor  $\bar{I}_0 R_1$  ning bosh uchini vektor  $\bar{I}_0 \cdot X_L$  ning oxiri bilan birlashtirib, birlamchi chulg'amdagi kuchlanishning to'la ichki pasayuvi  $\bar{I}_0 z_1$  ni hosil qilinadi.

Tok  $I_0$  birlamchi chulg'am nominal tokining  $(3 \div 10) \%$  ini tashkil etgani uchun vektor diagrammada hosil bo'lgan kuchlanishlar uchburchagi real masshtablarda qurilsa, juda kichik bo'ladi. Shuning uchun  $U_1 \approx E_1$  deyish mumkin. U holda olingan nisbat va  $E_1 = 4,44 f w_1 F_m$  ga binoan asosiy magnit oqimi  $\Phi$  ni kuchlanishga proporsional deyish mumkin. Salt ishlash rejimida transformatorning quvvat koeffitsienti  $\cos \varphi_0 = 0,2 \div 0,3$ , ikkilamchi chulg'amdagi tok  $I_0 = 0$  bo'lgani uchun  $U_{20} = E_2$  bo'ladi.

**Yuklama rejimi.** Bu rejimda kuchlanish  $\bar{U}_1$  yuklamaga bog'liq emas. Transformatorning ikkilamchi chulg'amini biror yuklama  $z_{2H}$  ga ulaganimizda EYuKE<sub>2</sub> ta'sirida undan  $I_2$  yuklama toki o'ta boshlaydi. Bu tok hosil qilgan magnitlovchi kuch  $\bar{I}_{2w_2}$  po'lat o'zak va havo orqali tutashgan, tarqalgan magnit oqimi  $F_{2S}$  ni hosil qiladi (4.6-rasm).



4.6-rasm.

Bu oqim asosiy magnit oqimiga qarama-qarshi yo'nalgani uchun uni, shuningdek, elektr yurituvchi kuch  $E_1$  ni ham kuchsizlantirmoqchi bo'ladi. U holda transformator elektrik muvozanat holatining buzilishiga yo'l qo'yiladi. Ammo

birlamchi chulg'amning magnitlovchi kuchi  $\bar{I}_{1w_1}$  shunday o'zgaradiki, natijasida transformatorning muvozanat holati saqlanib, o'zakdagi asosiy magnit oqimi  $F$  miqdor jihatidan o'zgarishsiz qoladi. Bu holda magnitlovchi kuchlar muvozanati quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{I}_{1w_1} + \bar{I}_{2w_2} = \bar{I}_{0w_1} \quad \text{yoki} \quad \bar{I}_{1w_1} = \bar{I}_{0w_1} - \bar{I}_{2w_2} \quad (4.7)$$

Demak, birlamchi tokning magnitlovchi kuchi ikkilamchi tokning magnitsizlash ta'sirini kompensatsiyalaydi. Agar (4.7) ifodaning ikkala tomonini  $w_1$  ga bo'lsak, magnitlovchi kuchlar tenglamasidan toklar tenglamasiga o'tish mumkin:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \left(-\bar{I}_2 \frac{w_2}{w_1}\right). \quad (4.8)$$

Bu yerda  $\bar{I}'_2 = -\bar{I}_2 \frac{w_2}{w_1}$  kattalik ikkilamchi tokning magnitsizlash ta'sirini muvozanatlovchi birlamchi tokning tashkil etuvchisi hisoblanadi. Shuning uchun bu kattalik ikkilamchi tok deyiladi. U holda birlamchi tok

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}'_2 \quad (4.9)$$

Ya'ni salt ishlash toki bilan keltirilgan ikkilamchi tokning geometrik yig'indisiga teng. Yuklama toki  $I_2$  noldan boshlab, tok  $I_1$  esa salt ishlash toki  $I_0$  dan boshlab ortadi. Salt ishlash toki nominal tokning  $I_0 = (2,5 \div 10\%) \cdot I_{1nom}$  ulushini tashkil etadi. Taxminiy hisoblashlarda  $\bar{I}_1 \approx \bar{I}'_2$  deyish mumkin.

Yuklama toki  $I_2$  ning o'zgarishi bilan tok  $I_1$  ning tashqi ta'sirsiz o'z-o'zidan o'zgarishi transformatorning ***o'z-o'zidan rostlanishi*** deyiladi. Buni yuklama rejimi uchun qurilgan vektor diagrammadan (4.7-rasm) ko'rish qulay. U holda ikkilamchi zanjirning yuklama rejimidagi elektr muvozanati tenglamasi Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_2 - \bar{U}_{R_2} - \bar{E}_{2S},$$

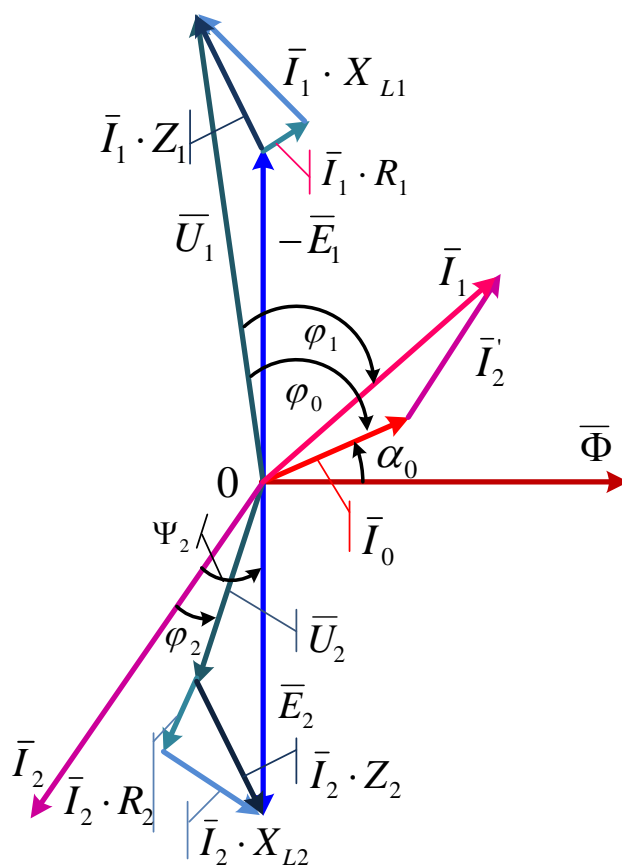
bu yerda:  $U_2$  - ikkilamchi chulg'am uchlaridagi kuchlanish;  $I_2 \cdot R_2 = \bar{U}_{R_2}$  - ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishning aktiv pasayishi;  $E_{2S}$  tarqalgan magnit oqimi  $\Phi_{2S}$  tufayli induktsiyalangan EYuK.

$\Phi_{2S}$  ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishning induktiv pasayuvi

$\bar{U}_{L2} = \bar{I}_2 \cdot X_{L2}$  bilan kompensatsiya qilinadi, u holda

$$\left. \begin{aligned} & \bar{U}_2 \bar{E}_2 - \bar{U}_{R2} - \bar{U}_{L2} \\ & \text{yoki} \\ & \bar{U}_2 = \bar{E}_2 - \bar{I}_2 R_2 - \bar{I}_2 X_{L2} \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

Salt ishlash rejimi uchun chizilgan vektor diagrammani (4.5-rasm) asos diagramma hisoblab, unga (4.9) va (4.10) tenglamalar yordamida transformatorning yuklama rejimidagi vektor diagrammasini qoʻshib quramiz (4.7-rasm).



**4.7-rasm.**

Yuklamani aktiv-induktiv xarakterga ega desak tok  $\bar{I}_2$  EYuK  $\bar{E}_2$  ga nisbatan faza bo'yicha  $\psi_3$  burchakka kechikadi. Endi kuchlanish  $\bar{U}_2$  vektorini (4.10) ifodaga binoan aniqlash uchun vektor  $\bar{I}_2 X_{L2}$  ni vektor  $\bar{E}_2$  ning oxirgi uchidan tok  $\bar{I}_2$  ga perpendikulyar ravishda chizamiz. Chunki ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishning induktiv pasayuvi tok  $\bar{I}_2$  dan  $90^\circ$  ga ilgari keladi. So'ngra

kuchlanishning aktiv pasayuvi  $\bar{I}_2 R_2$  ni tok  $\bar{I}_2$  bilan bir xil yo'nalishda  $\bar{I}_2 X_{L2}$  ga perpendikulyar qilib joylashtiramiz. Vektor  $\bar{I}_2 R_2$  ning boshlanishini  $\bar{E}_2$  va  $\bar{I}_2 X_{L2}$  vektorlarning oxirgi uchlari bilan birlashtirib ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishning to'la ichki pasayuvi vektori  $\bar{I}_2 z_2$  ni va koordinata boshi  $O$  nuqta bilan birlashtirib, kuchlanish  $\bar{U}_2$  ni aniqlaymiz. Tok  $\bar{I}_2$  bilan kuchlanish  $\bar{U}_2$  orasida faza siljish burchagi  $\varphi_2$  hosil bo'ladi. Agar  $\bar{I}'_2 = -\bar{I}_2$  desak, (4.9) ifodadan  $\bar{I}'_1$  ni aniqlaymiz. Kuchlanish  $\bar{U}_1$  tok  $\bar{I}_1$  dan  $\varphi_1$  burchakka ilgarilab keladi, ammo  $\varphi_1$  burchak  $\varphi_2$  burchakdan katta. Vektorlar diagrammasidan ko'rinib turibdiki,  $\bar{I}_2$  ning ortishi bilan  $\bar{I}_1$  ham ortib,  $\varphi_1$  tobora kichraymoqda. Demak, transformatorning quvvat koeffitsienti  $\cos \varphi_0$  dan to  $\cos \varphi_i$  gacha ortishi mumkin.

Transformatorning o'z-o'zidan rostlanish xususiyati faqat nominal yuklama doirasida o'rinalidir. Boshqa hollarda  $\bar{I}_2$  ning magnitsizlash ta'siri ortib ketadi.

**Qisqa tutashuv rejimi.** Bu rejimda ikkilamchi chulg'am uchlari o'zaro tutashib, tashqi qarshilik bo'ladi. Transformator uchun bunday rejim nomaqbul rejim hisoblanadi. Bunda ikkilamchi, shuningdek birlamchi tok nominalidan 18-20 marta ortib ketadi. Bu hodisaga yo'l qo'yib bo'lmaydi. Shuning uchun real sharoitlarda transformatorni qisqa tutashuv tokidan saqlash maqsadida avtomatik ajratkichlar o'rnatiladi. Transformatorlarni laboratoriya sharoitida tekshirish uchun «qisqa tutashuv» pasaytirilgan kuchlanishlarda amalga oshiriladi.

#### **4.4. Transformatorni salt ishlash va qisqa tutashuv rejimlarida ishlatish tajribalari**

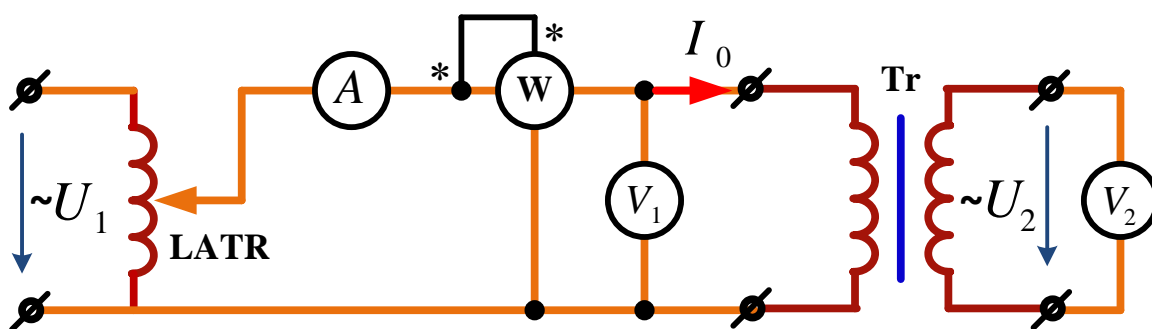
Salt ishlash tajribasini o'tkazishdan maqsad transformatorning po'lat o'zagida magnit maydoni hosil qilish uchun sarf bo'ladigan quvvat isrofi  $P_p$  ni va transformatorning transformatsiya koeffitsienti  $k$  ni aniqlashdir. Transformatorning salt ishlash tajribasini o'tkazish sxemasi 4.8-rasmda ko'rsatilgan. Birlamchi chulg'amga ulangan o'lchash asboblari yordamida transformatorning salt ishlash vaqtidagi toki  $I_0$  va quvvati  $P_0$  hamda kuchlanish  $U_{10}$  aniqlanadi. Tajriba vaqtida  $U_{10} = U_{1nom}$  bo'lishi kerak. Ikkilamchi chulg'am uchlariga ulangan voltmeter

yordamida kuchlanish  $U_2 = U_{20}$  aniqlanadi. Tok  $I_2 = 0$ . Salt ishlash vaqtidagi vattmetr ko'rsatgan quvvat isrofi:

$$P_0 = P_n + I_0^2 \cdot R_1.$$

Miss chulg'amlarining qizishi salt ishlash tokening  $I_0^2 R_1 = (0,05 I_{1H})^2 \cdot R_1$  qiymati bilan cheklangani uchun, undagi quvvat isrofini  $P_m = I_0^2 \cdot R_1 \approx 0$  deyish mumkin.

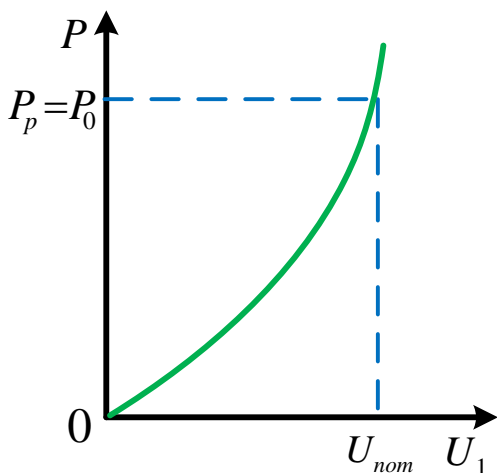
U holda  $P_0 = P_n$  bo'ladi.



4.8-rasm.

Olingan ma'lumotlar bo'yicha transformatorning transformatsiya koeffitsienti  $k = U_{10}/U_{20}$ ni va salt ishlash vaqtidagi parametrlarini aniqlash mumkin:

$$z_{10} = \frac{U_1}{I_0}; \quad R_{10} = \frac{P_0}{I_0^2}; \quad X_{10} = \sqrt{Z_{10}^2 - R_{10}^2}.$$



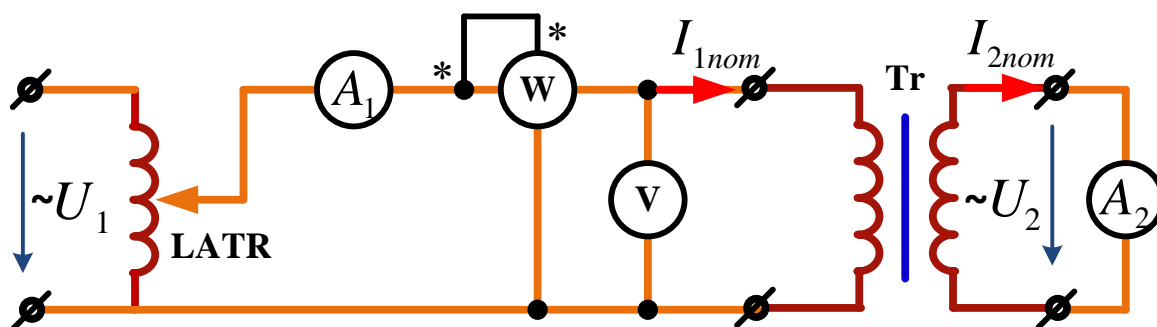
4.9-rasm.

Agar birlamchi chulg'amga beriladigan kuchlanish 0 dan  $U_{1nom}$  gacha orttira borilsa, po'latdagi quvvat isrofining kuchlanishga bog'liqligini ko'rish mumkin. Bu bog'lanish kvadratik bo'lib, unga mos grafik 4.9-rasmda ko'rsatilgan.

Transformator nominal yuklama bilan ishlaganda uning chulg'amlaridan nominal tok o'tib, chulg'amlar qiziydi. Keltirilgan quvvat

bir qismining issiqlik tarzida atrof-muhitga tarqalishi miss chulg'amlardagi quvvat

isrofi  $P_m$  deyiladi, uni transformatorning qisqa tutashuv rejimida ishlash tajribasidan (4.10-rasm) aniqlanadi. Sxemadan ko'rinadiki, transformatorning ikkilamchi chulg'ami ampermetr  $A_2$  orqali qisqa tutashtirilgan.



4.10-rasm.

Tajriba vaqtida birlamchi chulg'amga potentsiometr P yordamida ikkala chulg'amdan ham nominal toklar ( $I_1 = I_{1nom}; I_2 = I_{2nom}$ ) o'tadigan darajada pasaytirilgan kuchlanish beriladi. Bu kuchlanish transformatorning qisqa tutashuv kuchlanishi ( $U_q$ ) deyiladi:

$$u_k \% = \frac{U_K}{U_{1nom}} \cdot 100.$$

Qisqa tutashuv kuchlanishi transformator nominal kuchlanishining kichik ulushini ( $U_k \approx 0,1U_{1H}$ ) tashkil etgani uchun po'lat o'zakdagi quvvat isrofi  $P_p \approx 0$  deyish mumkin. U holda qisqa tutashuv paytida vattmetr ko'rsatgan quvvat  $P_q$  miss chulg'amlarning qizishiga sarf bo'lgan quvvat isrofi  $P_m$  ga teng bo'ladi, ya'ni

$$P_q = P_p + I_{1nom}^2 \cdot R_1 = 0 + P_m = P_m.$$

Tajribadan olingan ma'lumotlar bo'yicha transformatorning qisqa tutashuv parametrlarini aniqlash mumkin:

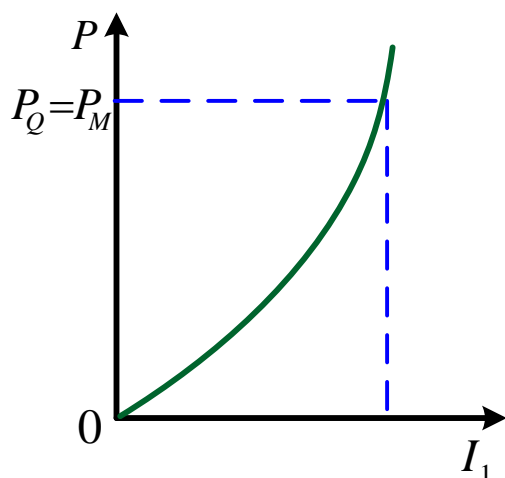
$$z_{1q} = \frac{U_q}{I_{1nom}}; \quad R_{1q} = \frac{P_m}{I_{1nom}^2}; \quad X_{1q} = \sqrt{z_{1q}^2 - R_{1q}^2}.$$

Agar qisqa tutashuv kuchlanishi  $U_k = 0,05U_{1nom} = 0,05E_1$  ekanligini hamda normal holatda  $E_1 = 4,44fw_1F_m$  bo'lishini hisobga olsak, u holda qisqa tutashuv paytidagi magnit oqimi

$$E_{1q} = 0,05E_1 = 4,44fw_1\Phi_q; \quad \Phi_q = \frac{0,05E}{4,44fw_1}.$$

Demak, qisqa tutashuv paytida magnit oqimi, shuningdek, magnit induktsiyasi ta'minan 20 marta kamayadi:

$$\frac{\Phi_q}{\Phi_m} = \frac{1}{20} \text{ yoki } \frac{B_q}{B_m} = \frac{1}{20};$$



4.11-rasm.

$P_p \approx B_m^2$  bo'lganda  $P_p = 0$  deyish mumkin.

Agar transformatorning birlamchi chulg'amiga beriladigan kuchlanishni 0 dan  $U_k$  gacha orttira borsak, mis chulg'amdagi quvvat isrofining toka bog'liqligini ifodalovchi egri chiziq hosil bo'ladi (4.11-rasm).

#### 4.5. Transformatoridagi quvvat isroflari va uning foydali ish koeffitsienti

Har qanday elektr mashinalaridagi kabi transformatorlarda ham keltirilgan energiyaning bir qismi uning o'zida isrof bo'ladi. Bu quvvat isroflari quyidagilardan iborat:

1. Tokning issiqlik ta'siri tufayli mis chulg'amlarda yuzaga kelgan quvvat isrofi

$$P_m = I_{1nom}^2 R_1 + I_{2nom}^2 R_2.$$

2. Magnit oqimining o'zgaruvchanligi tufayli yuzaga kelgan po'lat o'zakdagi gisterezis va uyurma toklarga sarf bo'ladigan quvvat isrofi  $P_p = P_r + P_y$ . Bu quvvat isrofi po'lat o'zakning materialiga, magnit induktsiyasiga va o'zgaruvchan tokning chastotasiga bog'liq.

3. Transformatorning konstruksiyasiga bog'liq bo'lgan quvvat isrofi  $P_k$ .

Bulardan  $P_m$  va  $P_p$  asosiy isroflar hisoblanadi. Mis chulg'amlardagi quvvat isroflari yuklamaga bog'liq bo'lgani uchun o'zgaruvchan, po'lat o'zakdagi quvvat isroflari  $P_p$  esa transformatorning ish jarayonidan o'zgarmas (nominal kuchlanish chegarasida) dir.

Transformatorning foydali ish koeffitsienti



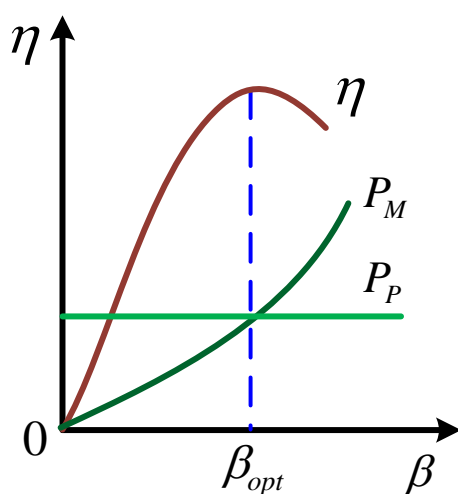
$$\eta' = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + P_p + P_m}, \quad (4.11)$$

Bu yerda:  $P_1$  – transformatorning kirish tomonidagi quvvati;  
 $P_2$  – transformatorning chiqish tomonidagi foydali quvvati;  
 $\Delta P$  – transformatorning to'la quvvat isrofi.

Agar transformatorning foydali ish ko'effitsientini uning qanday yuklanganligini ko'rsatuvchi yuklanish ko'effitsienti  $\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$  orqali ifodalasak,

$$\eta'' = \frac{\beta \cdot P_{2\text{ nom}}}{\beta \cdot P_{2\text{ nom}} + P_p + \beta^2 P_m} = \frac{\beta \cdot S_{\text{nom}} \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{\text{nom}} \cdot \cos \varphi_2 + P_p + \beta^2 P_m} \quad (4.12)$$

$\cos \varphi_2$  – yuklama quvvat ko'effitsienti,  $S_{\text{nom}}$  – transformatorning to'la quvvati, VA.



4.12-rasm.

Katta quvvatli transformatorlarning foydali ish ko'effitsienti  $0,97 \div 0,99$ , kichik quvvatli larniki esa  $0,82 \div 0,9$  atrofida bo'ladi. Transformatorlarda  $R_p = P_m$  bo'lganda uning yuklanish ko'effitsienti optimal  $P_{opt} = 0,5 \div 0,6$  bo'lib, bunda transformatorning foydali ish ko'effitsienti eng yuqori bo'ladi (4.12-rasm).

#### 4.6. Transformatorning nominal kattaliklari

Transformatorlardan normal foydalanish maqsadida uning pasportida quyidagi nominal kattaliklar ko'rsatilgan bo'ladi:

- 1) transformatorning turi;
- 2) chiqish tomonidagi nominal quvvat  $S_{\text{nom}}$  kVA;
- 3) birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning nominal liniya kuchlanishlari ( $U_{1\text{ nom}}$  va  $U_{2\text{ nom}}$ ) kV;
- 4) salt ishlagandagi quvvat isrofi ( $P_0 = P_p$ ) kVt;
- 5) mis chulg'amlardagi, ya'ni qisqa tutashuv paytidagi quvvat isrofi ( $P_m = P_k$ ) kVt;

- 6) qisqa tutashuv kuchlanishi ( $u_k$ )%;
- 7) yuklama nominal va uning yarmiga teng hamda  $\cos \varphi_2 = 1$  dagi foydali ish koeffitsienti.

Transformator birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining nominal tokleri esa uning nominal kattaliklaridan hisoblab topiladi.

Bir fazali transformatorlarda

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{U_{1nom}} [A]; \quad I_{2nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{U_{2nom}} [A].$$

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{U_{1nom}} [A]; \quad I_{2nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{U_{2nom}} [A] \quad (4.13)$$

Uch fazali transformatorlarda

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{1nom}} [A]; \quad I_{2nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{2nom}} [A].$$

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{1nom}} [A]; \quad I_{2nom} = \frac{S_{nom} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{2nom}} [A] \quad (4.14)$$

Kichik quvvatli transformatorlarning nominal kuchlanishi va toki xujjatda ko'rsatilgan bo'ladi.

#### 4.7. Transformatorning tashqi xarakteristikasi va undagi kuchlanishning o'zgarishi

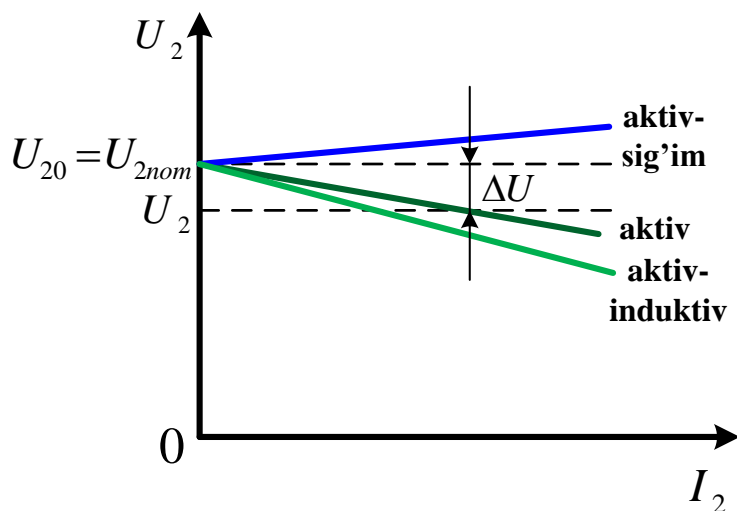
Birlamchi chulg'am kuchlanishi  $U_1$  va quvvat koeffitsienti  $\cos \varphi_2$  o'zgarimas bo'lganda ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanish  $U_2$  ning yuklama toki  $I_2$  ga bog'liqligini ifodalovchi egri chiziq  $U_2 = f(I_2)$  transformatorning **tashqi xarakteristikasi** deyiladi.

4.13-rasmda transformatorning turli xil xarakterdagi yuklamalarga oid tashqi xarakteristikasi ko'rsatilgan. Xarakteristikadan ko'rinadiki, aktiv yuklamada  $\cos \varphi = 1$ , aktiv-induktiv yuklamada esa  $\cos \varphi < 1$  va faza siljish burchagi

$\varphi > 0$  bo'ladi. Nihoyat aktiv-sig'im yuklamada  $\cos \varphi_2 < 1$  va  $\varphi < 0$  dir. Ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishning o'zgarishi:

$$\Delta U\% = \frac{U_{2n} - U_2}{U_{2n}} \cdot 100, \quad (4.15)$$

Bu yerda:  $U_{2n} = U_{20}$  – transformator salt ishlagan paytda ikkilamchi chulg'am uchlaridagi kuchlanish;  $U_2$  – transformator yuklama bilan ishlayotgandagi kuchlanish.



**4.13-rasm.**

Tashqi xarakteristikadan ko'rinadiki, aktiv va aktiv-induktiv yuklama (iste'molchi) uchun ishlayotgan transformatoridagi kuchlanish nominalidan doim  $\Delta U$ ga kichik, aktiv-sig'im xarakterli yuklamada esa  $\Delta U$  ga ortiq bo'ladi. Elektr iste'molchilari, asosan, aktiv-induktiv xarkterga ega bo'ladi.

Liniyadagi kuchlanishlarning pasayuvini hisobga olib iste'molchiga o'rnatiladigan katta quvvatli transformatorlarning chiqish tomonidagi kuchlanishi, odatda, nominaldan 5 protsent ortiq qilib loyihalanadi.

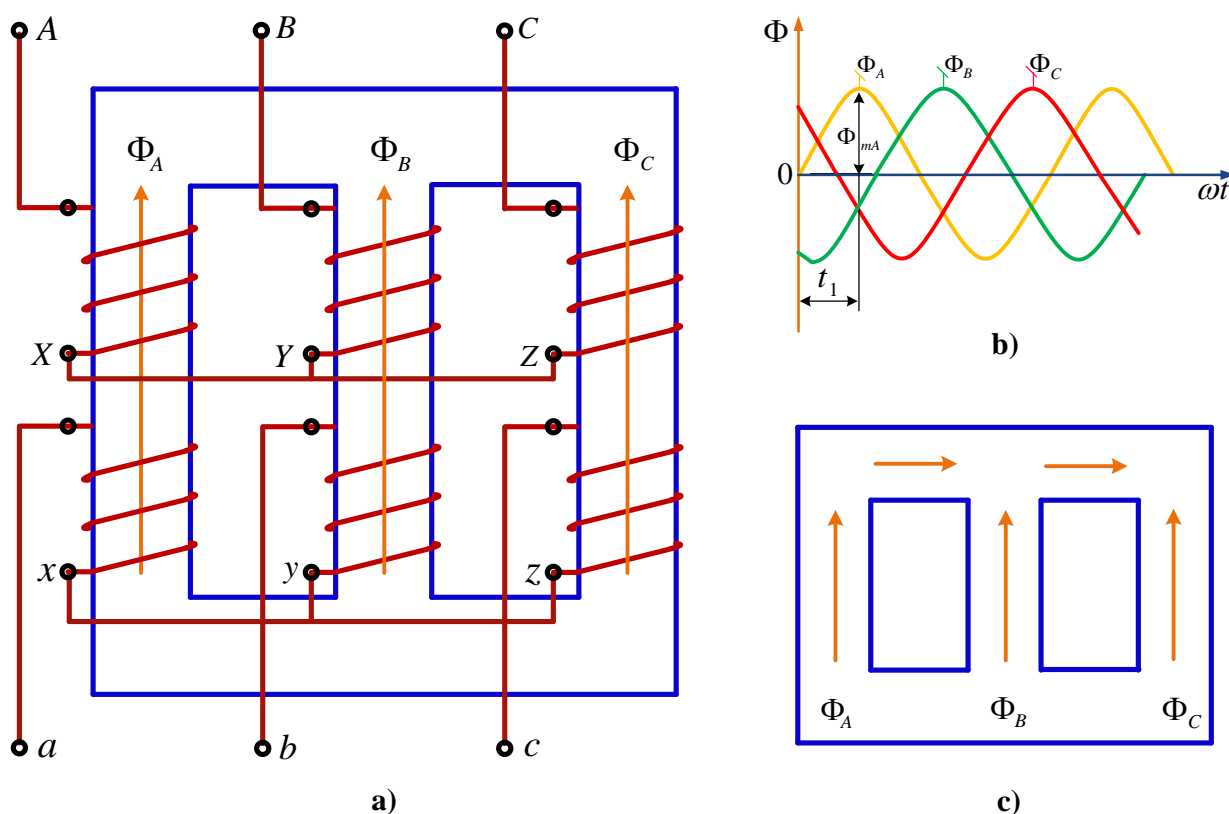
#### **4.8. Uch fazali transformator**

Uch fazali transformatorlar, asosan, uch fazali tok sistemasini transformatsiyalash uchun ishlatiladi. Uch fazali transformator umumiy po'lat o'zakka ega bo'lib, alohida fazalarning toklari hosil qilgan barcha magnit oqimlari ana shu o'zak bo'ylab tutashadi.

Uch fazali transformatorning po'lat o'zagi ostki va ustki tomonlardan birlashtirilgan uchta sterjendan iborat. Har bir sterjenda har fazaning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari joylashtirilgan. Chulg'amlar yulduz yoki uchburchak

sxemada ulanishi mumkin. Bu biriktirish sxemalari tegishli  $\lambda/\Delta$  belgilanadi. Chulg'amlar qanday sxemada ulanishidan qat'iy nazar birlamchi chulg'amning bosh (A,V,S) va oxirgi (X, Y, Z) uchlari katta harflar bilan, ikkilamchi chulg'amning bosh (a, b, c) va oxirgi uchlari (x, y, z) kichik harflar bilan belgilanadi.

Birinchi o'raladigan chulg'amning o'ralish yo'nalishi ixtiyoriy, ammo qolgan fazalarning chulg'amlari birinchi o'ralgan chulg'amning yo'nalishida o'ralishi kerak. Faqat shundagina ayrim fazalardagi toklarning va ularni hosil qilgan magnet oqimlarilarning shartli musbat yo'nalishi ta'minlangan bo'ladi (4.14-a rasm).



4.14-rasm.

Kirxgofning birinchi qonuniga binoan istalgan vaqt lahzasida uchala faza magnet oqimlarining yig'indisi doimo nolga teng. Masalan, 5.14- b rasmdagi magnet oqimlarining o'zgarish grafigidan ko'rinadiki, bo'lgan vaqtda o'zining musbat maksimal qiymatiga erishgan bo'lsa, qolgan ikkita magnet oqimi FB va

larning manfiy yarim maksimal qiymatlarga ega bo'lishi uchala faza magnit oqimlarining po'lat o'zak bo'ylab qo'shilishini (5.14- c rasm) bildiradi, ya'ni

$$\bar{\Phi}_{mA} - \frac{1}{2}\bar{\Phi}_{mB} - \frac{1}{2}\bar{\Phi}_{mC} = 0.$$

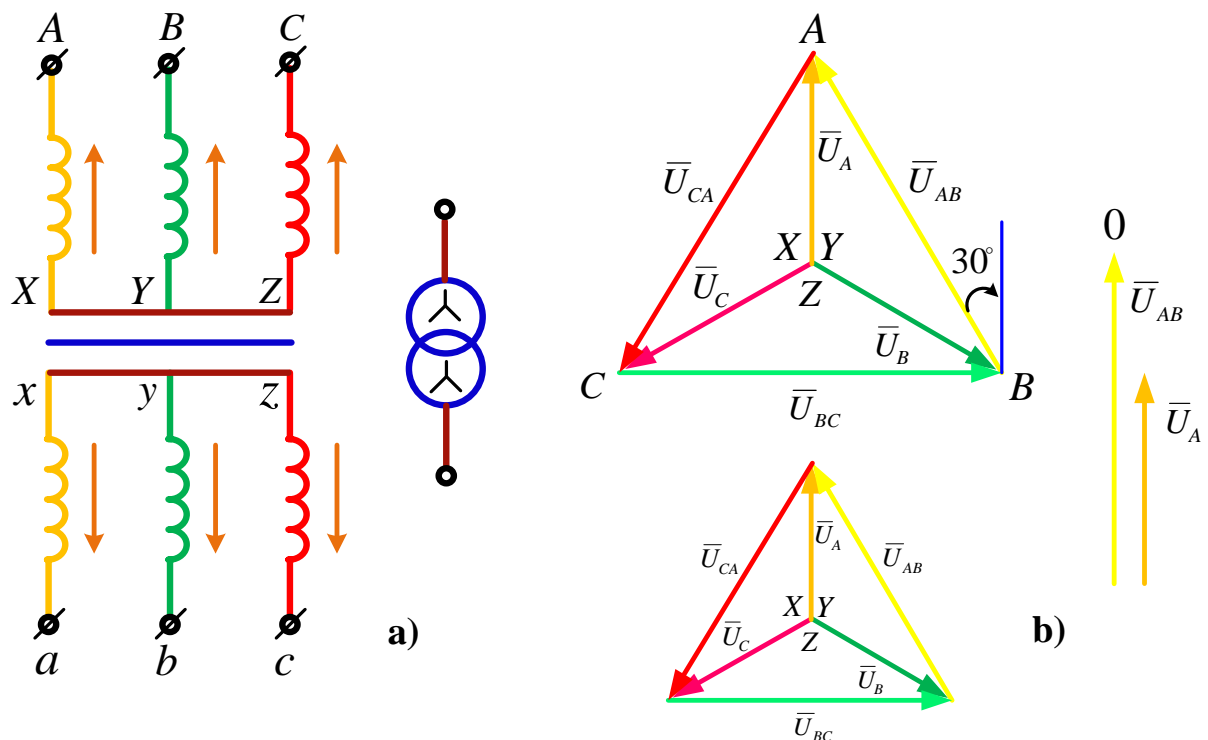
#### 4.9. Uch fazali transformatorlarning chulg'amlarini ulash sxemalari va turkumlari

Uch fazali transformatorlar chulg'amlarini ulash sxemalarini kasr tarzida ko'rsatish qabul qilingan. Kasrning suratidagi belgi birlamchi chulg'amni, maxrajidagi belgi esa ikkilamchi chulg'amni ulash sxemasini bildiradi. Masalan, 4.14-rasm, a dagi uch fazali transformatorning chulg'amlari yulduz/yulduz sxemada ulangan bo'lib,  $\lambda/\lambda$  tarzda belgilanadi. Agarda yulduz/uchburchak sxemada ulangan bo'lsa,  $\lambda/\Delta$  belgi bilan ko'rsatiladi. Amalda, asosan kichik va o'rtacha quvvatli (taxminan 1800 kVA gacha bo'lgan) transformatorlarning ikkala chulg'amiga nisbatan yulduz usulida ulash sxemasi qo'llanadi. Bunday ulashda chulg'amlarning izolyatsiyasi faza kuchlanishiga ( $U_f = U_l|\sqrt{3}$ ) , uchburchak sxemada ulanganda esa liniya kuchlanishiga hisoblanadi. Odatda, transformatorning yuqori kuchlanishli chulg'ami (manba tomonidagi) yulduz sxemada ulanadi. Bunda ma'lum qiymatdagi liniya kuchlanishini olish qulay va chulg'amning o'ramlar soni kam bo'ladi. Chulg'amlarni uchburchak sxemada ulash katta toklarda ma'qul bo'lgani uchun  $\lambda/\Delta$  sxema past kuchlanish tomoni katta quvvatli bo'lgan transformatorlarda qo'llanadi.

Uch fazali tok zanjirida faza va liniya kuchlanishlari bir-biridan farq qilagani uchun fazali transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari bir xil sxemada, masalan yulduz/yulduz ( $\lambda/\lambda$ ) sxemada ulanganda (4.14 a, 4.15- a rasm) birlamchi va ikkilamchi chulg'amning faza ( $\bar{U}_A, \bar{U}_a, \dots$ ) va liniya ( $\bar{U}_{AB}, \bar{U}_{ab}, \dots$ ) kuchlanishlarining vektorlari faza bo'yicha mos tushadi (4.15- b rasm).

Dastlab ikkala chulg'amning faza kuchlanishlari diagrammasi quriladi, so'ngra (3.4) ifodaga binoan liniya kuchlanishlarining diagrammasini quramiz. Agar birlamchi chulg'amning liniya kuchlanishi vektori  $\bar{U}_A$  ni soat milining hrakat

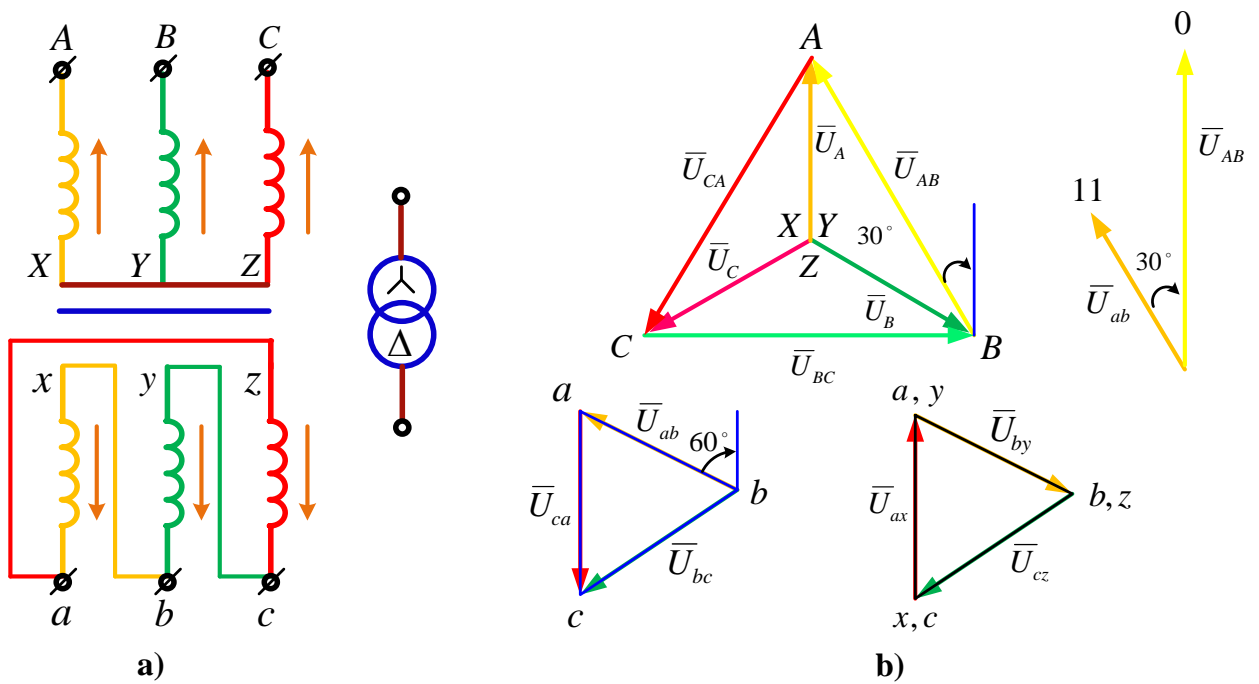
yoʻnalishida  $0^0$  ga burib, uni 0 yoki 12 raqamida turibdi desak, ikkilamchi chulgʻamning liniya kuchlanishi vektori  $\bar{U}_{ab}$  ni ham oʻsha yoʻnalishda  $30^0$  ga bursak, u ham 0 raqamiga toʻgʻri keladi.



4.15-rasm.

Bu chulgʻamlar yulduz/yulduz sxemada ulanganda ularning ulanish turkumi 0 ekanligini bildiradi. Birlamchi va ikkilamchi chulgʻam uchburchak/uchburchak ( $\Delta/\Delta$ ) sxemada ulanganda  $U_l = U_f$  bu holda ham chulgʻamlarning ulanish turkumi 0 boʻladi. Demak, birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlar bir xil sxemada ulanganda 0 nchi ulanish turkumi olinar ekan. Bunday ulanish turkumi  $\lambda/\lambda - 0$  va  $\Delta/\Delta - 0$  tarzda belgilanadi.

Uch fazali transformatorning birlamchi chulgʻami yulduz, ikkilamchi chulgʻami esa uchburchak sxemada ulansa, u holda boshqa ulash turkumi olinadi. Ikkilamchi chulgʻamni uchburchak sxemada ulash uchun A fazaning bosh uchini B fazaning oxirgi uchi bilan, B fazaning bosh uchini C fazaning oxirgi uchi bilan va hokazo tarzda ulash kerak (4.16- a rasm).



4.16-rasm.

Birlamchi chulg'am yulduz, ikkilamchi chulg'am uchburchak sxemada ulanganda, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning faza kuchlanishlari vektorlari ( $U_A, \bar{U}_{ax} = \bar{U}_a$  va hokazo) faza bo'yicha mos tushsa ham, ammo liniya kuchlanishlarining vektorlari ( $\bar{U}_{AB}, \bar{U}_{ab}$  va hokazo) bir-birlaridan faza bo'yicha  $30^\circ$  ga yoki bir necha  $30^\circ$  ga siljigan bo'lishi mumkin (4.16-rasm, b). Birlamchi chulg'am kuchlanishining vektor diagrammasi (4.16-rasm, b) dagidek, o'zgarishsiz qoladi. Uchburchak sxemada ulangan ikkilamchi chulg'amning vektor diagrammasida faza kuchlanishi vektori  $\bar{U}_{ax} = \bar{U}_a$  birlamchi chulg'amning faza kuchlanishi vektori  $\bar{U}_A$  bilan faza bo'yicha mos tushadi, shuning uchun vektor  $\bar{U}_{ax}$  vektor  $\bar{U}_A$  ga,  $\bar{U}_{by}$  esa  $\bar{U}_B$  ga parallel qilib o'tkaziladi. Faza kuchlanishlarining shartli musbat yo'nalishi sxemalarda (4.15- a rasm va 4.16- a rasm) chulg'amlarning oxirgi uchlariga tomon olingan. Chulg'am uchburchak sxemadan ulanganda turli fazalarning bosh va oxirgi uchlari bir nuqtada birlashadi, masalan, a va y, b va z, c va x. Bu nuqtalar orasidagi potentsiallar o'zaro teng.

Birlamchi chulg'amning vektorlar diagrammasidan ko'rinadiki, liniya kuchlanishining vektori  $\overline{U}_{AB}$  B nuqtadan A nuqtaga yo'nalgan, u holda ikkilamchi chulg'amning liniya kuchlanishi vektori  $\overline{U}_{ab}$  ham B dan A ga yo'nalgan (4.16- b rasm).

Agar birlamchi chulg'am liniya kuchlanishining vektorini soat milining hrakat yo'nalishida  $30^0$  ga burib, uni 0 ni soat milining harakat yo'nalishida  $30^0$  ga burib, uni 0 raqamida turibdi deb, ikkilamchi chulg'amning liniya kuchlanishi vektori  $\overline{U}_{ab}$  ni ham  $30^0$  ga burganimizda u soatning 11 raqamiga to'g'ri keladi. Demak, birlamchi chulg'ami yulduz, ikkilamchi chulg'ami uchburchak sxemada ulangan uch fazali transformator chulg'amlarining ulanish turkumi 11 bo'lib, u  $\lambda/\Delta - 11$  tarzda belgilanadi.

Demak, u fazali transformator birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari liniya kuchlanishlarining faza siljishiga ko'ra farq qiluvchi turli ulash sxemalari ulash turkumlari deyiladi.

Uch fazali transformatorlarning  $\lambda/\lambda - 0$ ,  $\lambda/\lambda_0 - 0$  va  $\lambda/\Delta - 11$ , singari ulash turkumlari ko'p ishlatiladi.

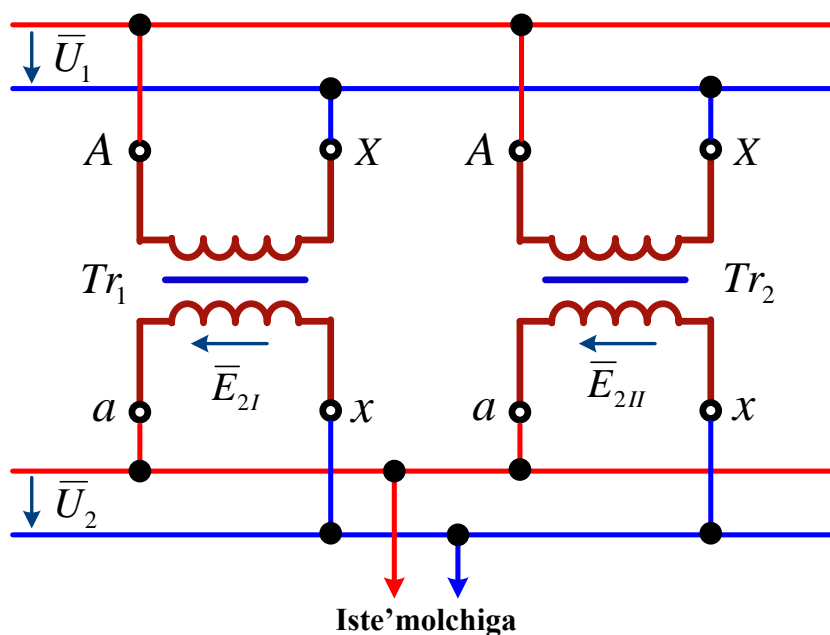
#### **4.10. Transformatorlarning parallel ishlashi**

Sanoat korxonalarining podstantsiyalarida bir nechta transformatorlar o'rnatilgan bo'lib, ular alohida yoki birgalikda (parallel) ishlashi mumkin. Transformatorlar alohida ishlaganda ularning ikkilamchi chulg'amlari o'zaro bog'lanmagan, parallel ishlaganda esa umumiy yuklamaga ulanadi. Transformatorlarni parallel ishlatish ulardan oqilona foydalanishga imkon beradi. Masalan, yuklama kam bo'lgan soatlarda transformatorlarning bir qismini uzib qo'yish mumkin. Shuningdek, kuchli yuklama ulanganda har bir transformatorga to'g'ri keladigan yuklama miqdorining kichikroq bo'lishi va har bir transformatorning bir tekis yuklanishi ta'minlanadi.

Transformatorlarning parallel ishlashi uchun quyidagi shartlar bajarilishi kerak:



1. Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning nominal kuchlanishlari bir xil bo'lishi kerak; transformatsiya koeffitsientining farqi 0,5% dan ortib ketmasligi kerak.
2. Qisqa tutashish kuchlanishlari bir xil bo'lishi kerak ( $\pm 10\%$  farq qilishiga yo'l qo'yiladi).
3. Uch fazali transformatorlar parallel ishlashi uchun ularning ulanish turkumlari bir xil bo'lishi kerak.



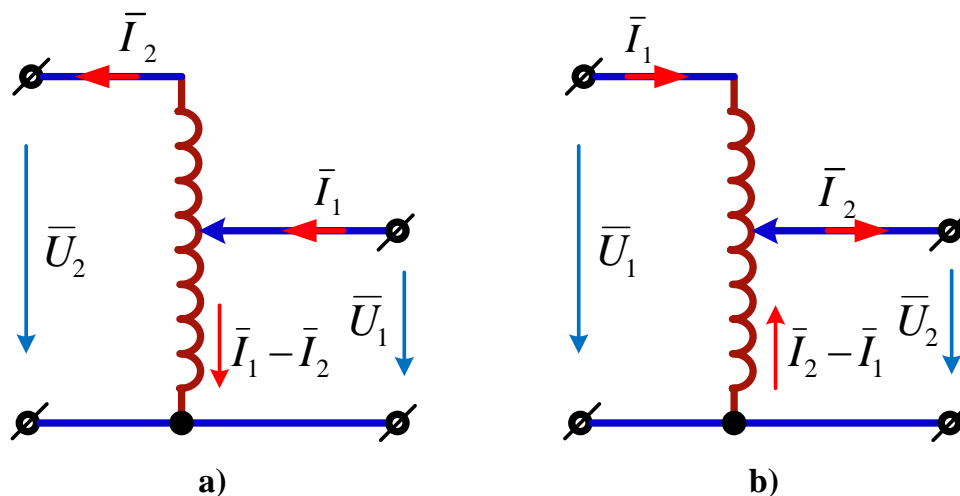
4.17-rasm.

Transformatorlarning parallel ishlash sxemasi 4.17-rasmida ko'rsatilgan. Transformator salt ishlaganda ikkilamchi chulg'am zanjirida tokning yo'qligi hamda yuklamaning parallel ishlayotgan transformatorlarning nominal quvvatlariga proporsional ravishda to'g'ri taqsimlanishi transformatorlar normal holda parallel ishlashining asosiy belgilari hisoblanadi.

#### 4.11. Avtotransformatorlar

Avtotransformatorlarda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar elektr jihatdan o'zaro bog'langan bo'lib, ikkilamchi chulg'am birlamchi chulg'amning bir qismini tashkil etadi. Avtotransformatorlar bir fazali va uch fazali qilib ishlab chiqariladi. Bir fazalilari laboratoriya avtotransformatorlari (LATR) tarzida keng qo'llanadi

(4.18-rasm, v). Uch fazali transformatorlarning quvvati bir fazalilarga qaraganda katta bo'lib, chulg'amlari moyli baka tushirilgan bo'ladi.



**4.18-rasm.**

Avtotransformatorlar kuchlanish keng doirada o'zgartiriladi. Ular kuchlanishni orttirib yoki pasaytirib beradi. 4.18-rasm, a va b da kuchlanishni orttiruvchi va pasaytiruvchi avtotransformatorlarning sxemalari berilgan.

Kuchlanishni orttirib beruvchi avtotransformatorning (4.18- a rasm) sxemasidan ko'rinadiki, birlamchi kuchlanish  $U_1$  avtotransformator chulg'amlarining bir qismiga berilib, ikkilamchi kuchlanish  $U_2$  uning ikkala chulg'amidan olinmoqda. Kuchlanishni pasaytirib beruvchi avtotransformatorida (5.18- a rasm) birlamchi kuchlanish  $U_1$  butun chulg'amning bir qismidan olinmoqda.

Agar chulg'amning barcha o'ramlari  $w_1 + w_2$  bo'lib, shoxoblangan o'ramlari  $w_2$  bo'lsa, u holda orttiruvchi va pasaytiruvchi avtotransformatorlarning transformatsiya koeffitsientlari tegishlicha  $k = \frac{w_1+w_2}{w_2}$  (orttiruvchi) va  $k = \frac{w_2}{w_1+w_2}$  (pasaytiruvchi) tarzda ifodalanadi.

Ishlatilish sharoitiga qarab avtotransformatorlar transformatsiya koeffitsienti o'zgaradigan qilib ham yasaladi (masalan, LATR).

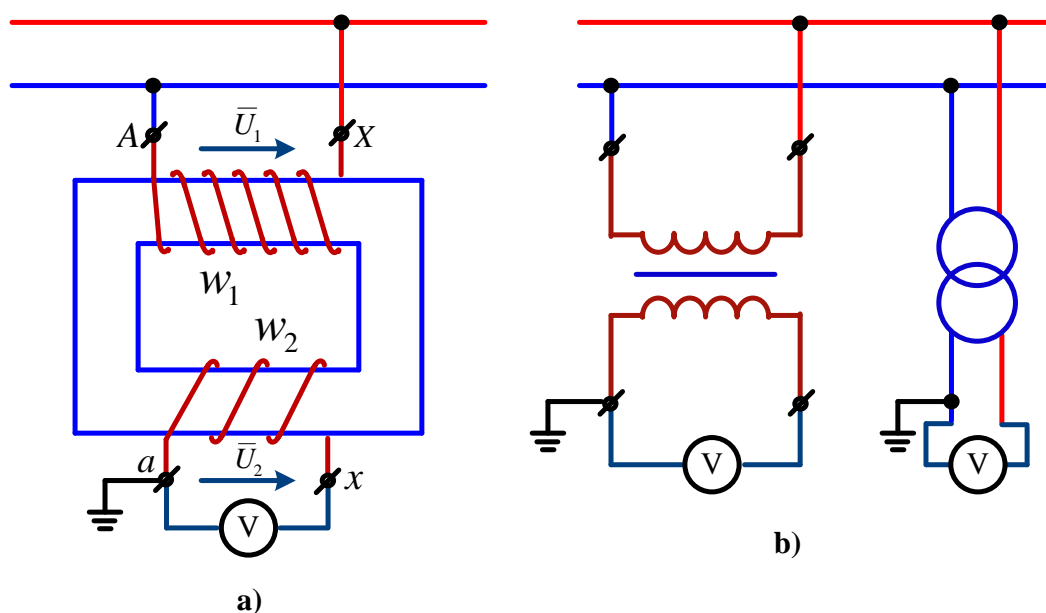
Avtotransformatorlar o'zgaruvchan tok dvigatellarini ishga tushirishda teatr binolaridan yorug'lik kuchini o'zgartirishda; uy-ro'zg'or va laboratoriya ishlarida keng qo'llanadi

## 4.12. O'lchash transformatorlari

O'zgaruvchan tokning yuqori kuchlanishli zanjirlariga ulanadigan o'lchov asboblarning o'lchash chegaralarini kengaytirish maqsadida kuchlanish va tok transformatorlaridan foydalaniladi. Chunki bunday zanjirlarda o'lchash chegaralarini qo'shimcha qarshilik va shuntlar yordamida kengaytirish mumkin emas, negaki o'lchash asboblarning chulg'amlari yuqori kuchlanish ostida bo'lib, undan foydalanishda xizmat ko'rsatuvchi shaxs hayoti uchun katta xavf tug'iladi.

Yuqori kuchlanishli tarmoq va asbob-uskunalarni himoya qilish uchun turli himoya relalardan foydalaniladi. Ular ham tarmoqqa o'lchash asboblari kabi tok va kuchlanish transformatorlari yordamida ulanadi.

**Kuchlanishni o'lchash transformatori.** Kuchlanish transformatorning zanjirga ulanish sxemasi va uning belgilanishi 4.19- a va b rasmda ko'rsatilgan.



4.19-rasm.

Yuqori kuchlanishli birlamchi chulg'amning o'ramlari soni  $w_1$  nisbatan ko'p bo'lib, tarmoqqa parallel ulanadi, ya'ni o'lchanadigan kuchlanish bevosita ta'sir ettiriladi. Ikkilamchi chulg'amning o'ramlari soni  $w_2$  nisbatan kam bo'lib, unga voltmeter, vattmetr, schyotchik va boshqa asboblarning kuchlanish g'altaklari ulanadi.

Kuchlanish transformatorlaridagi birlamchi chulg'amning nominal kuchlanishi  $U_{1\text{nom}}$  yuqori kuchlanishli tarmoqning yoki qurilmaning nominal

kuchlanishiga, ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishiga, ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi  $U_{2nom}$  esa 100 V ga teng qilib olinadi. Kuchlanish transformatorlari bir fazali va uch fazali qilib ishlab chiqariladi. Bunday transformatorlarning transformatsiya koeffitsienti:

$$k_U = \frac{U_{1nom}}{U_{2nom}} = \frac{w_1}{w_2}.$$

O'lchanayotgan kuchlanishning haqiqiy qiymatini bilish uchun voltmetrning ko'rsatishini transformatsiya koeffitsienti  $k_U$  ga ko'paytirish kerak. Kuchlanish transformatorlarining past kuchlanishli ikkinchi zanjirida o'ta yuklanish yoki qisqa tutashishdan saqlanish maqsadida himoya saqlagichlar o'rnatiladi. Ayrim sabablarga ko'ra yuqori kuchlanishli chulg'am izolyatsiyasi shikastlansa, uning transformatorga tegib qolish xavfi tug'iladi. Bunday falokatning oldini olish uchun kuchlanish transformatorining past kuchlanishli chulg'ami va temir o'zagi yerga ulangan bo'ladi.

Kuchlanish transformatori boshqa elektr o'lchov asboblari kabi 0,5; 1,0; 3,0 aniqlik sinfiga ega.

***Tokni o'lchash transformatori.*** Kuchli toklarni kuchsiz toka aylantirishda tok transformatorlari ishlatiladi. Bunday transformator birlamchi chulg'amining o'ramlari soni ko'p bo'lmay, asosiy elektr zanjiriga ketma-ket ulanadi va o'lchanadigan tok u orqali o'tadi. Ikkilamchi chulg'amining o'ramlari soni nisbatan ko'p bo'lib, unga o'lchov asboblari ( ampermetr, vattmetr, schyotchiklarning tokli g'altaklari) ketma-ket ulanadi.

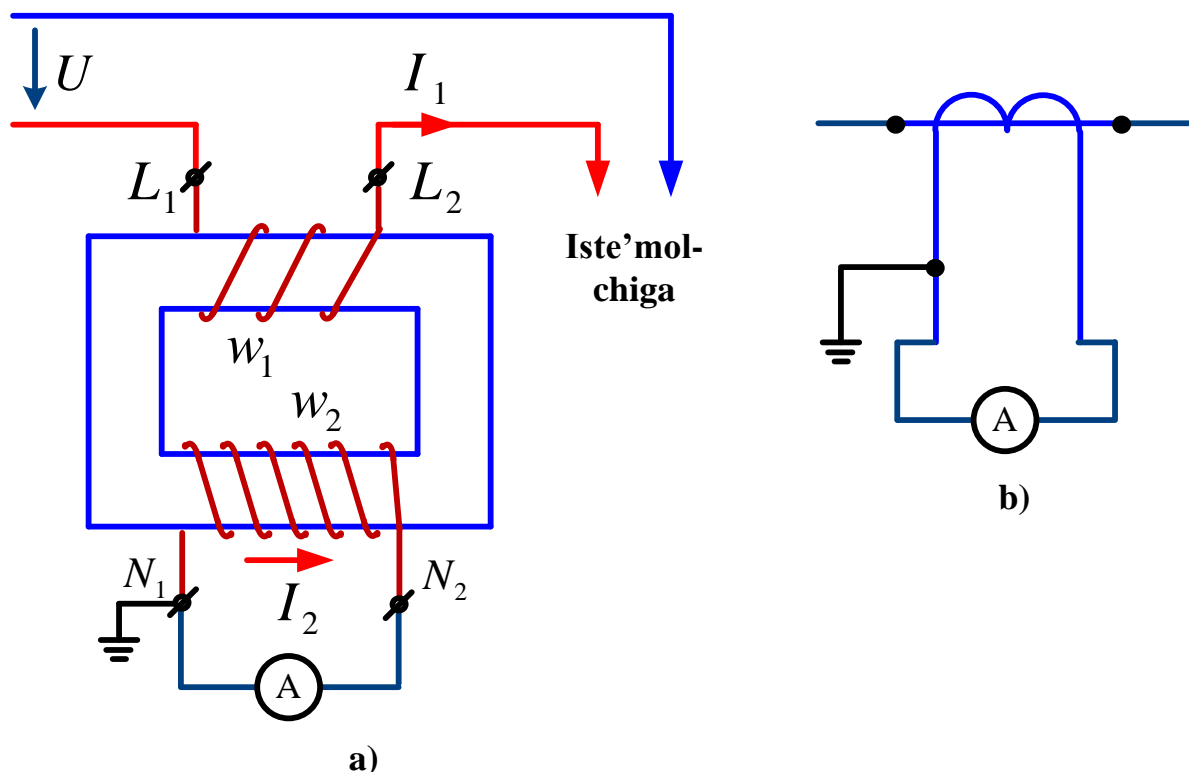
Tok transformatorining zanjirga ulanish sxemasi va belgilanishi 4.20-rasm, a va b da ko'rsatilgan.

Tok transformatorining transformatsiya koeffitsienti quyidagicha ifodalanadi:

$$k_I = \frac{I_{1nom}}{I_{2nom}} = \frac{w_2}{w_1}.$$

O'lchanayotgan tokning haqiqiy qiymatini bilish uchun ampermetrning ko'rsatishini transformatsiya koeffitsienti  $k_I$  ga ko'paytirish kerak. Ikkilamchi chulg'amning nominal toki  $I_{2nom}$  5 amperga mo'ljallangan bo'lib, unga

ulanadigan elektr o'lchov asboblari birlamchi chulg'amdan o'tadigan tokka moslab darajalanadi.



4.20-rasm.

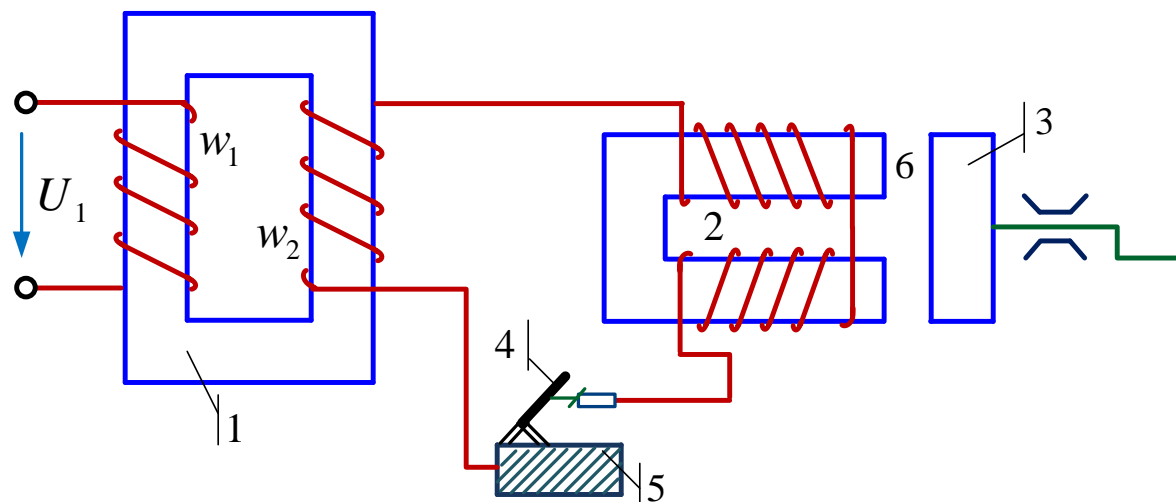
Ulanadigan o'lchash asboblarning elektr qarshiligi unchalik katta bo'lmaydi. Shuning uchun tok transformatori, ko'pincha, qisqa tutashuv rejimida ishlaydi. Demak, tok transformatorlarini ishlatishda ikkilamchi chulg'amga ulangan yuklamaning qarshiligi nominaldan oshmasligi shart. Birlamchi zanjirdan tok o'tib turganida ikkilamchi zanjir aslo uzilmasligi va ochilib qolmasligi kerak. Mabodo ikkilamchi zanjir uzilsa, tok transformatoridagi magnit oqimi kuchayib ketib, ikkilamchi chulg'am uchlarida hayot uchun xavfli kuchlanish yuzaga keladi. Shuning uchun tok transformatorning ikkilamchi chulg'ami elektr o'lchov asboblarga ulangan yoki qisqa tutashgan bo'lishi shart.

Tok transformatorlari 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 10 aniqlik sinflariga ega.

### 4.13. Payvandlash transformatori

Payvandlash transformatori metall buyumlarni, konstruksiyalarni va hokazolarni eritib, o'zaro ulash uchun xizmat qiladi. 4.21-rasmda payvandlash

transformatorning printsipl sxemasi ko'rsatilgan. U transformator 1, drossel 2, yakor 3, elektrod 4, payvandlanadigan buyum 5, drossel bilan yakor orasidagi tirqish 6 dan iborat. Payvand sifatli bo'lishi uchun elektr yoy barqaror yonishi kerak. Buning uchun payvandlash jarayonida payvandlash toki qiymat jihatdan o'zgarishsiz bo'lishi lozim. Payvandlash toki drossel 2 bilan yakor 3 orasidagi tirqish 6 ni o'zgartirish orqali rostlanadi. Tirqish ortganda drossel chulg'aming induktiv qarshiligi kamayib, payvandlash toki ko'payadi va aksincha.



**4.21-rasm.**

4.21-rasm.

Qisqa tutashuv bo'lganda drossel elektr yoy va transformatorning tokini cheklaydi.

Transformator salt ishlaganda  $U_{20} = 60 \div 70$  V, nominal yuklama bilan ishlaganda esa 30 V ni tashkil etadi.

## V BOB. ASINXRON MASHINALAR

---

---

*Asinxron mashinalar* o'zgaruvchan tok mashinasi bo'lib, uning ishlash prinsipi aylanuvchan magnit maydoni hodisasiga asoslangandir. Asinxron mashinalar ham generator, ham motor sifatida ishlatilishi mumkin.

Asinxron motorning tuzilishi oddiy, ishlatish qulay, energetik va mexanik xarakteristikalari yaxshi bo'lgani uchun sanoatda ishlatilayotgan elektr motorlarining 80 foizidan ko'prog'ini asinxron motorlar tashkil etadi. Bunday katta talabni qondirish uchun mashinasozlik zavodlarida har yili ishlab chiqarilayotgan asinxron motorlarining quvvati vattning bir necha ulushlaridan, bir necha ming kilovattgacha, ish kuchlanishi esa 127 Vt dan 10 kV gacha bo'ladi.

Asinxron motorlar, bir, ikki va uch fazali qilib yasaladi. Uch fazali asinxron motorlar metall kesish, yog'ochni qayta ishlash dastgohlarini, ko'tarma kranlar, liftlar, eskalatorlar, ventilyatorlar, nasoslar va boshqa mexanizmlarni harakatga keltirishda ishlatiladi.

Bir fazali asinxron motorlarining quvvati, odatda 0,5 kVt dan oshmaydi. Undan avtomatik boshqarish sistemalarida, turli asboblarning elektr yuritmalarida, uy-ro'zg'or mashinalarida foydalaniladi. Kichik quvvatli asinxron mashinalar vallarining aylanish tezliklarini o'lchashda generator (taxogenerator) sifatida ham ishlatiladi.

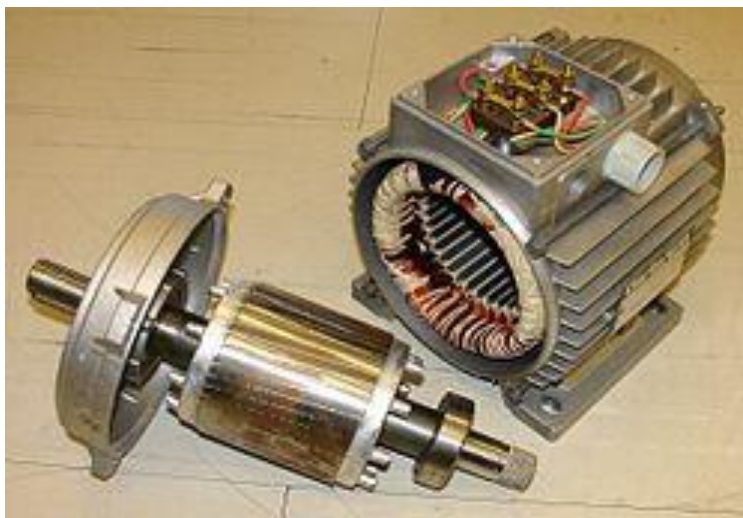
Asinxron mashinalar chastota o'zgartirgich, kuchlanish o'zgartirgich va faza o'zgartirgich sifatida ham keng qo'llanadi.

### 5.1. Asinxron motorning tuzilishi

Barcha elektr mashinalari kabi asinxron motorlar ham ikki asosiy qism; qo'zg'almas qism va qo'zg'aluvchan (aylanuvchi) qism rotordan iborat.

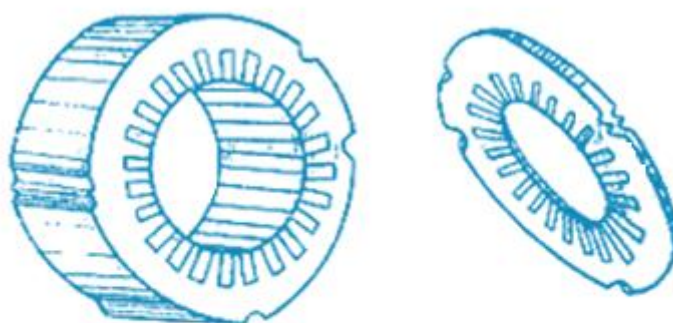
*Stator* stanina, po'lat o'zak va statorning pazlariga joylashtirilgan uch fazali chulg'amlardan iborat. Stanina cho'yandan yoki alyuminiydan silindrsimon shaklda yasalgan bo'lib, uning ichiga statorning po'lat o'zagi mahkamlanadi. Shuningdek, stanina mashinani tashqi mexanik ta'sirlardan saqlash uchun ham

xizmat qiladi. Staninada stator chulg`amlarini elektr energiya manbaiga ulash uchun shu chulg`amlarning uchlari chiqarilgan “klemmalar qutichasi” bor. Asinxron motor ishlayotganida uni yaxshiroq sovutish maqsadida stanina qovurg`ali qilib yasaladi. Cho`yandan quyilgan staninali elektr mashinalar ko`tarish uchun mo`ljallangan vintli ilgakga ega bo`ladi (5.1-rasm).



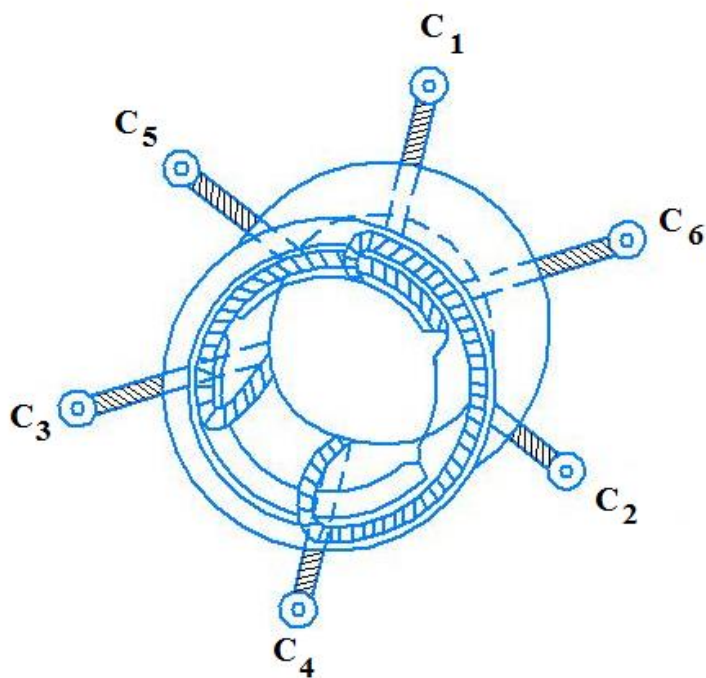
**5.1-rasm.**

Statorning silindrsimon po`lat o`zagi qalinligi 0,35 yoki 0,5 mm li, o`zaro maxsus tok bilan (transformator o`zagi kabi) izolyatsiyalangan elektrotexnik po`lat plastinalar to`plamidan iborat. Stator po`lat o`zagining ichki sirtida stator uzunligi bo`yicha ketgan pazlarga stator chulg`amlari joylashtirilgan (5.2-rasm).



**5.2-rasm.**

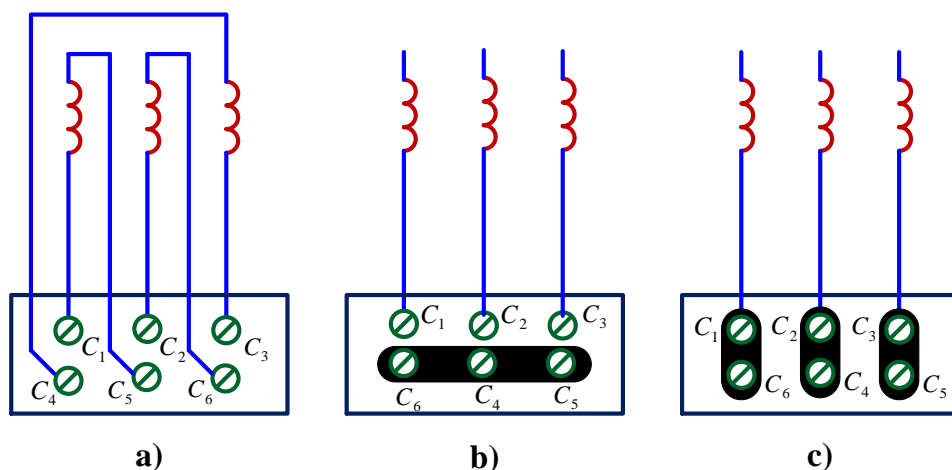




5.3-rasm.

Stator chulg`ami izolyatsiyalangan mis simlardan yasalgan bo`lib, stator pazlariga  $2\pi/3$  burchak ostida joylashtiriladi (5.3-rasm). Chulg`amlarining bosh va oxirgi uchlari yuqorida aytilganidek, “klemmalar qutichasiga” chiqarilgan bo`ladi.

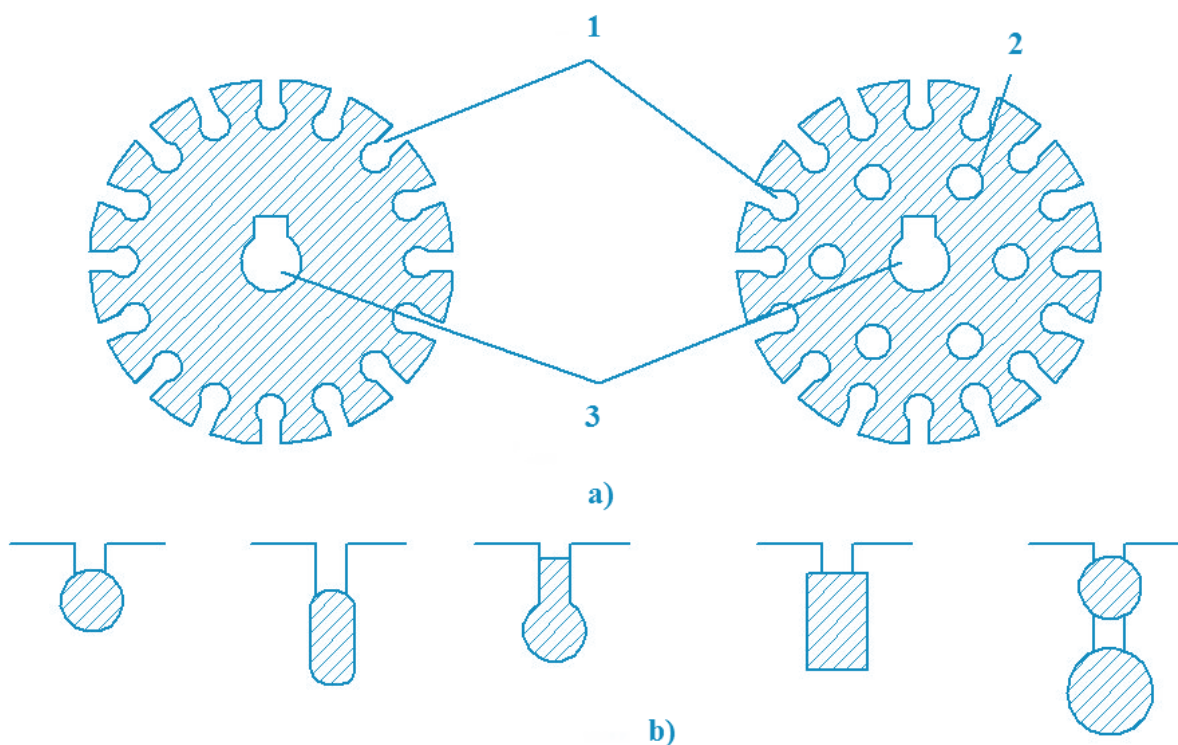
5.4- a-c rasmda chulg`amlarning ulanishi ko`rsatilgan. Chulg`am uchlarning ochiq qoldirilishi uni tarmoq kuchlanishining qiymatiga qarab “yulduz” yoki “uchburchak” sxemada ulashga imkon beradi.



5.4-rasm.

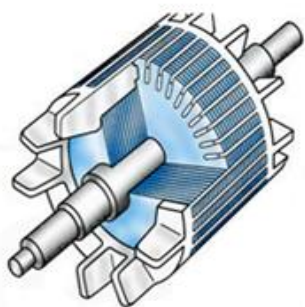
*Rotor* motorning aylanish o`qiga mahkamlangan bo`lib, uning po`lat o`zagi ham statorniki kabi qalinligi 0,35 yoki 0,5 mm li elektrotexnik po`lat plastinalar to`plamidan iborat. Po`lat o`zak plastinalarining ustki yuzasida pazlar o`yilgan bo`lib (5.5-rasm, a va b), ularning konfiguratsiyasi turlicha bo`lishi mumkin. Po`lat o`zak motorning o`qiga mahkamlanadi. Po`lat o`zak plastinkalaridagi pazlar

rotor ariqchalarini tashkil etib, unga rotor chulg`amlari joylashtiriladi. Asinxron motorlar rotor chulg`amlarining tuzilishiga qarab ikkiga bo`linadi, motorning nomiga esa shu chulg`am nomi qo`shib aytiladi.

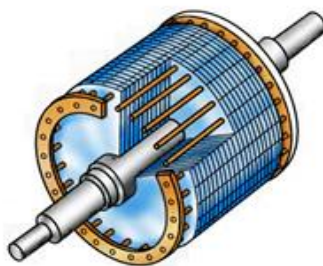


5.5-rasm.

Agar po`lat o`zak ariqchalariga alyuminiydan yasalgan sterjenlar joylashtirilib, ularning uchlari alyuminiy halqalar bilan biriktirilsa, bunday rotor *chulg`amlari qisqa tutashtirilgan rotor* deyiladi (5.6-a va b rasm). Bunday motor esa qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor deb nomlanadi. Issiq sharoitlarda ishlatiladigan motorlarning sovutilishini yaxshilash maqsadida rotor o`qiga



a)



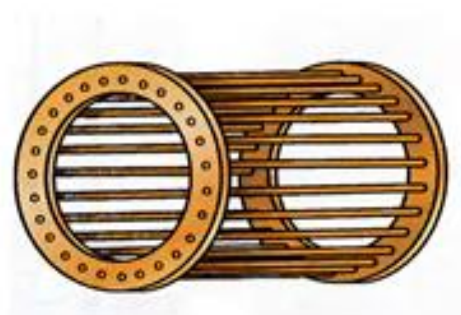
b)

5.6-rasm.

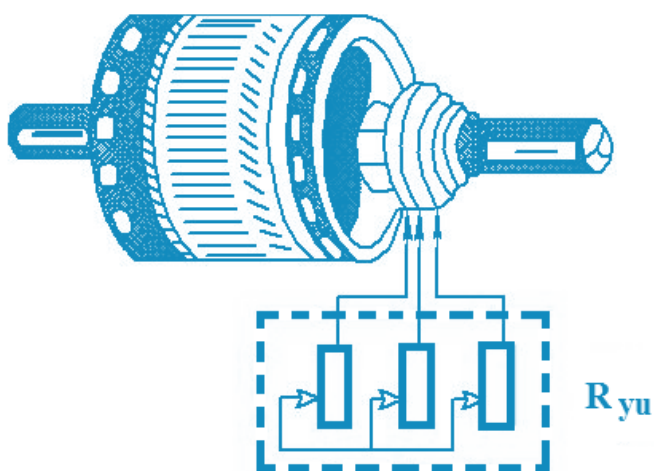
shamollatish parrakchalari o`rnatiladi. Quvvati 100 kVt gacha bo`lgan qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarning rotor (chulg`amlari) sterjenlari alyuminiydan quyib tayyorlanadi. Rotor

sterjenlari (chulg`amlari) o`zaksiz holda “olmaxon g`ildiragi” (5.7-rasm) ko`rinishiga ega.

Agar rotorning po`lat o`zagi ariqchalariga, stator chulg`amlari kabi, misdan yasalgan uch fazali chulg`am joylashtirilsa, bunday rotor faza chulg`amli rotor, bunday motor esa faza rotorli asinxron motor deb ataladi.



**5.7-rasm.**



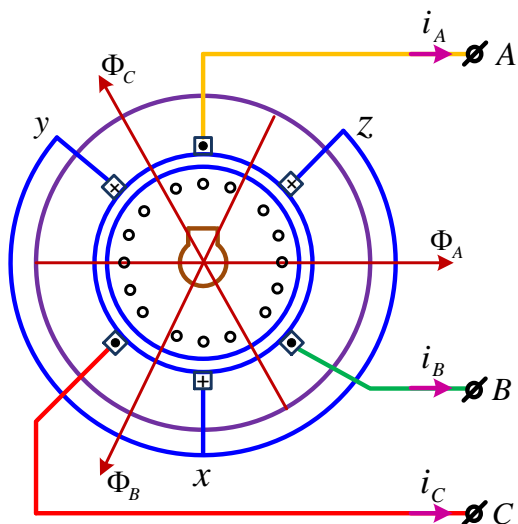
**5.8-rasm.**

Rotor chulg`ami “yulduz” sxemada ulanib, chulg`amning bosh uchlari asinxron motorning o`qiga mahkamlangan kontakt halqalar bilan tutashtiriladi. Kontakt halqalar esa grafik cho`tkalar yordamida motordan tashqariga o`rnatilgan uch fazali yurgizish reostati bilan biriktiriladi (5.8-rasm). Yurgizish

reostati *Ryur* motor ishlaganda rotor chulg`amining qarshiligini va shu bilan birgalikda rotor tokini boshqarish uchun xizmat qiladi.

## **5.2. Uch fazali tok sistemasi yordamida aylanuvchan magnit maydonining hosil bo`lishi**

Aylanuvchan magnit maydonning hosil bo`lishini statorining pazlariga uch fazali chulg`am joylashtirilgan asinxron mashinasi misolida ko`rib chiqamiz. 5.9-rasmda asinxron motorining uch fazali chulg`ami yakka chulg`am sifatida ko`rsatilgan.



5.9-rasm.

Agar stator chulg`ami uch fazali kuchlanish manbaiga ulansa, chulg`am orqali uch fazali tok o`ta boshlaydi (5.10-rasm):

$$\begin{cases} i_A = I_m \sin \omega t \\ i_B = I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_C = I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases} \quad (5.1)$$

Har bir chulg`amdan o`tayotgan tok vaqt bo`yicha sinusidal qonuni bo`yicha o`zgaruvchi magnet yurituvchi kuch

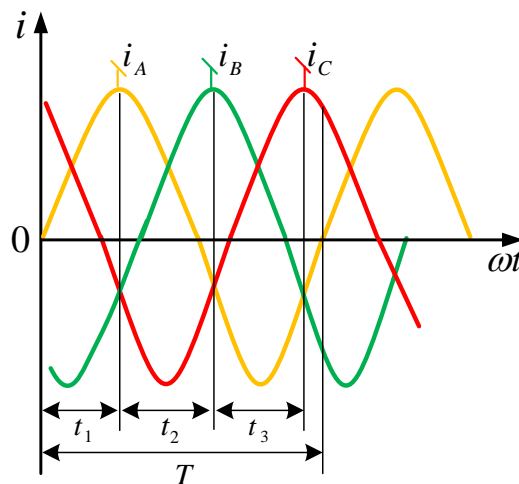
(MYuK)  $F_A, F_B$  va  $F_C$  larni hosil qiladi ( $F = I_w$ ). Uch fazali tok hosil qilgan umumiy MYuK ning yo`nalishini va qiymatini aniqlash uchun faza chulg`amlaridan o`tayotgan toklarning vaqt bo`yicha o`zgarish grafigiga (5.10-rasm) ga murojaat qilamiz.

Grafikdan ko`rinib turibdiki,  $t = t_1$  lahzada  $A$  fazasidagi tok  $i_A = I_m$  qolgan fazalarda esa  $i_B = -\frac{I_m}{2}$ ,  $i_C = -\frac{I_m}{2}$  bo`ladi. Ushbu faza toklari hosil qilgan MYuK larning qiymatlari:  $F_A = F_m, F_B = F_C = -\frac{F_m}{2}$ .

Faza chulg`amlarida hosil bo`lgan MYuK ning yo`nalishi o`ng qo`l qoidasi bo`yicha aniqlanadi. 5.11-rasm,  $a$  da magnet maydonning  $t=t_1$  vaqtdagi yo`nalishi ko`rsatilgan. Uch fazali tok hosil qilgan umumiy MYuK ning qiymati har bir faza toklari hosil qilgan MYuK larning geometrik yig`indisiga teng, ya`ni

$$\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = -\frac{3}{2}\bar{F}_m.$$

Vaqt  $T/3$  qiymati o`zgargandan keyin, ya`ni  $t_2 = t_1 + \frac{2\pi}{3}$  da (5.10-rasm)

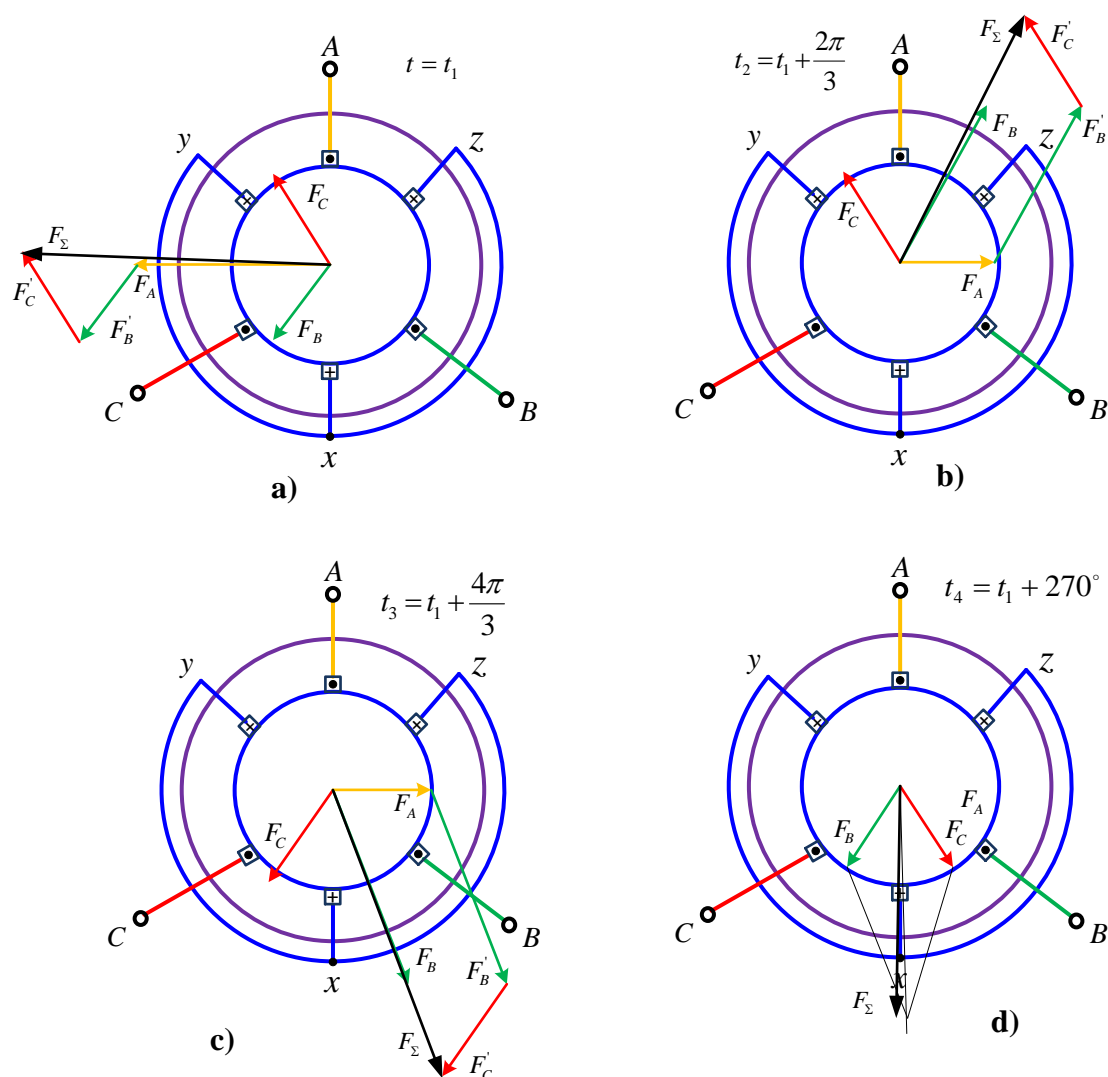


5.10-rasm.

faza chulg`amlari orqali o`tayotgan toklarning qiymati va yo`nalishi o`zgarib,  $i_A = i_C = -\frac{I_m}{2}$  va  $i_B = I_m$  bo`ladi. Shu vaqtdagi umumiy magnit maydoni oqimining yo`nalishi va qiymati 5.11-rasm, *b* da ko`rsatilgandek aniqlanadi. Bunda  $\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = -\frac{3}{2}\bar{F}_m$  bo`lib, uning yo`nalishi *V – U* chulg`am o`qiga perpendikulyar ekanligiga ishonch hosil qilish mumkin. 5.11-rasm, *v* da  $t_3 = t_1 + \frac{4\pi}{3}$  lahzadagi magnit maydoni oqimlarining chulg`am atrofida tarqalishi va umumiy magnit maydoni yo`nalishi ko`rsatilgan, bu holda ham

$$\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = -\frac{3}{2}\bar{F}_m$$

qiymatga ega bo`lib, uning yo`nalishi *S – Z* chulg`am o`qiga perpendikulyardir.



5.11-rasm.

Yuqorida keltirilganlardan shuni xulosa qilib aytish mumkin, umumiy MYuK vektori doimo o'zgarmas qiymatga ega bo'lgani holda o'zgarmas burchak tezlik bilan aylanar ekan. Vaqtning  $T/3$  ga o'zgarishi natijasida MYuK vektori bir davr mobaynida bir marta to'liq aylanadi. Umumiy magnit yurituvchi kuchning yo'nalishi esa har doim toki maksimal qiymatga ega bo'lgan fazaning magnit yurituvchi kuchi yo'nalishi bilan mos tushadi.

Shunday qilib, aylanuvchan magnit maydonini hosil qilish uchun, birinchidan, chulg'amlar fazada o'zaro ma'lum bir burchakka siljigan, ikkinchidan esa shu chulg'amlar orqali o'tayotgan toklar ham ma'lum bir faza siljish burchagiga ega bo'lishi kerak.

Yuqorida keltirilgan sharoitlardan birortasi bajarilmasa, aylanuvchan magnit maydoni hosil bo'lmaydi.

**Aylanuvchan magnit maydonning tezligi.** Ma'lumki, chulg'amlardan uch fazali tok o'tganda bir juft qutbli ( $r = 1$ ) magnit maydoni hosil bo'ladi. Bunday magnit maydoni o'zgaruvchan tokning bir davri mobaynida bir marta to'liq aylanadi. Chulg'amlar sonini shunday tanlash mumkinki, bunda juft qutblar soni ikki, uch ( $p = 2, 3 \dots$ ) va hokazo bo'lishi mumkin.

5.12-rasmda ikki juft qutbli magnit maydoni ko'rsatilgan. Bu yerda chulg'amlar soni avvalgiga nisbatan ikki marta ko'p bo'lib, maxsus sxema bo'yicha ulangan. Agar statorning chulg'amlari bilan birgalikda sirtini yoyib (5.12-rasm, *b*) chulg'amlarning ulanish sxemasini va chulg'amlardagi toklarning yo'nalishini ko'radigan bo'lsak ( $t = t_1$  vaqt uchun), u holda qo'shni har uch o'tkazgichdagi (ya'ni 3, 4, 5, 6, 7, 8; 9, 10, 11; 12, 1, 2) toklarning yo'nalishi mos tushadi va bu toklar hosil qilgan magnit maydoni to'rt qutbli (yoki ikki juft qutbli) bo'ladi (5.10-rasm). Bizning misolda bir juft qutb stator aylanmasini yarmini egallaganligi uchun o'zgaruvchan tokning bir davri mobaynida aylanuvchan magnit maydoni stator aylanmasining yarimiga buriladi. Agar magnit maydoni  $r$  juft qutblar soniga ega bo'lsa, aylanuvchan magnit maydoni  $1/r$  bo'lakka buriladi.

U holda aylanuvchan magnet maydonining burchak tezligi  $\omega_1 = \frac{2\pi}{Tp}$ . Agar  $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$  ekanligi hisobga olinsa,

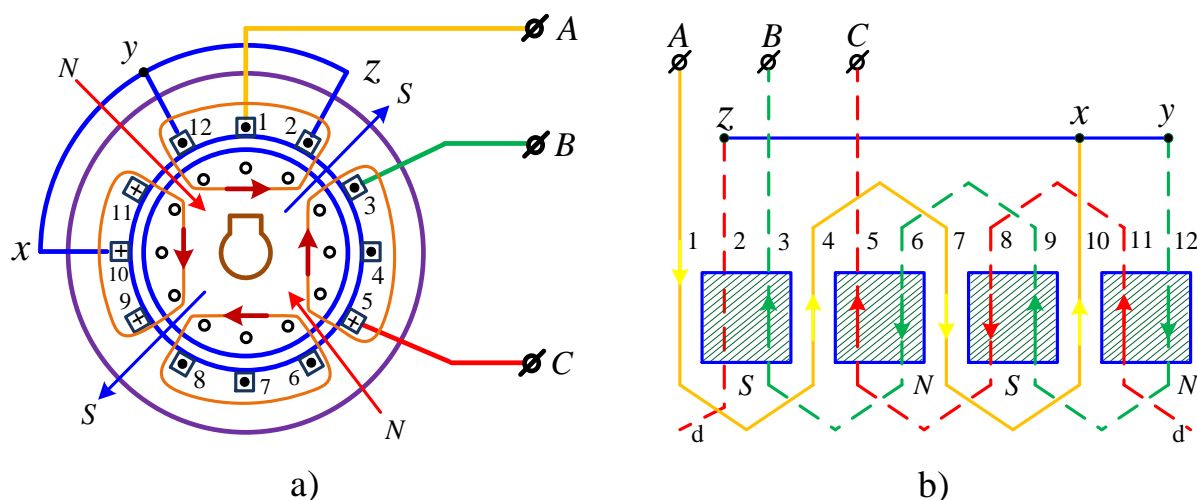
$$\omega_1 = \frac{2\pi}{2\pi p} = \frac{\omega}{p}$$

Agar aylanuvchan magnet maydonining burchak tezligi  $\omega_1$  ni aylanish tezligi  $n_1$  bilan, burchak chastota  $\omega$  ni esa o'zgaruvchan tok chastotasi  $f_1$  orqali ifodalasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi f_1}{p},$$

bundan

$$n_1 = \frac{60f}{p}.$$



5.12-rasm.

Demak, magnet maydonining aylanish tezligi o'zgaruvchan tok chastotasiga va juft qutblar soniga bog'liq ekan. Aylanuvchan magnet maydonining yo'nalishini o'zgartirish (reverslash) uchun fazalar ketma-ketligining tartibi o'zgartiriladi, ya'ni stator chulg'amlarining manbaga ulanadigan  $S_1, S_2, S_3$  bosh uchlaridan istalgan ikkitasining o'rnini almashtiriladi.

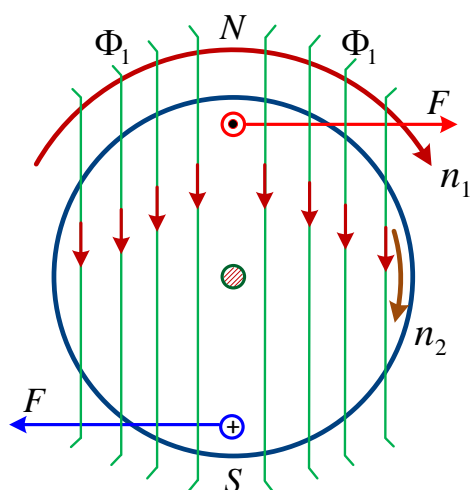
Sanoat chastotasi ( $f_1 = 50$  Gs) da aylanuvchan magnet maydonining aylanish tezligi  $n_1 = \frac{3000}{p}$  bo'ladi. Agar  $p = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  bo'lsa, aylanuvchan

magnit maydonining aylanishlar tezligi (soni) mos holda 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 *ayl/min* ni tashkil etadi.

Odatda, motorning pasportida rotorning nominal aylanishlar soni ( $n_1 = n_{nom}$ ) ko'rsatilgan bo'ladi. Aylanuvchan magnit maydonining sinxron tezlik qiymatini bilish uchun  $n_{nom}$  ga eng yaqin katta tezlik qiymati qabul qilinadi. Masalan,  $n_{nom} = 2860 \text{ ayl/min}$  ga,  $n_1 = 3000 \text{ ayl/min}$ ,  $n_{nom} = 1460 \text{ ayl/min}$  ga,  $n_1 = 1500 \text{ ayl/min}$  mos keladi.

### 5.3. Asinxron motorning ishlash prinsipi

Statorda  $n_1$  tezlik bilan aylanayotgan aylanuvchan magnit maydonining oqimi  $F_1$  rotor chulg'amlarini kesib o'tib, elektromagnit induksiya qonuniga asosan, rotor chulg'amlarida EYuK induksiyalaydi. EYuK, o'z navbatida, rotor tokini hosil qiladi.

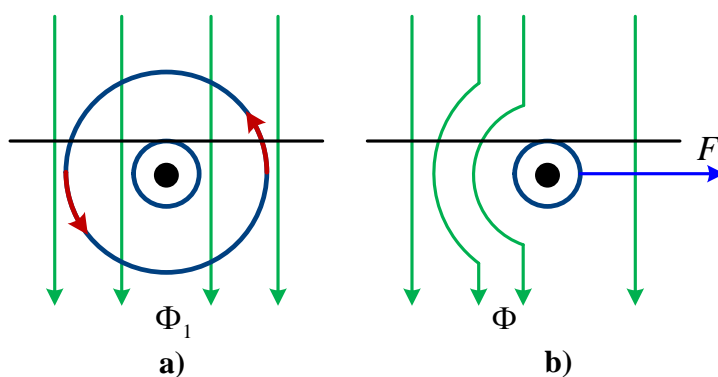


5.13-rasm.

5.13-rasmda aylanuvchan magnit maydonining o'q chizig'ida tokning yo'nalishi ko'rsatilgan. Rotor toki, o'z navbatida, rotor chulg'ami atrofida  $F_2$  magnit oqimini hosil qiladi. Uning yo'nalishi esa "parma" qoidasi bo'yicha aniqlanadi (5.14-rasm, a).

Rotor chulg'amining magnit oqimi  $F_2$  statorning magnit oqimi  $F_1$  ga qo'shilib, motorning umumiy magnit maydoni oqimini hosil qiladi.

Natijada deformatsiyalangan magnit maydonida joylashgan rotor chulg'amlariga 5.14-rasm, b da ko'rsatilgandek  $F$  juft kuch ta'sir eta boshlaydi. Bu kuchning yo'nalishi chap qo'l qoidasiga ko'ra



5.14-rasm.



aniqlanadi.

Shunday qilib, shimoliy  $N$  qutb ostida joylashgan barcha o'tkazgichlarga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi, janubiy  $S$  qutb ostida joylashgan o'tkazgichlarga ta'sir etuvchi kuch yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lib, juft kuch yuzaga keladi. Mazkur juft kuch ta'sirida rotor  $n_2$  tezlikda, aylanuvchan magnit maydonining aylanish yo'nalishida aylana boshlaydi. Ammo rotorning aylanish tezligi  $n_2$  statorning aylanuvchan magnit maydonining aylanish tezligidan kichik bo'ladi.

Agar stator magnit maydoning aylanish tezligi va rotorning aylanish tezligi o'zaro tenglashdi ( $n_1 = n_2$ ) desak, u holda aylanuvchan magnit maydonining kuch chiziqlari rotor chulg'amlarini kesib o'tmaydi va natijada rotorda EYuK induksiyanmaydi. Bunda rotor toki  $i_2$  va kuch  $F$  nolga teng bo'ladi. Bunday sharoitda rotor inersiyasi bo'yicha harakatni davom ettirib, podshipniklaridagi va havo bilan ishqalanish tufayli rotorning tezligi kichikroq, ya'ni  $n_2 < n_1$  bo'ladi.

Aylanuvchan magnit maydoni tezligining rotorning aylanish tezligiga teng bo'lmasligi tufayli ( $n_2 < n_1$ ) bunday elektr mashinalar *asinxron* (tezliklari bir xil emas) *mashinalar* deb nomlangan.

**Rotorning sirpanishi va aylanish tezligi.** Rotor aylanish tezligining stator magnit maydonining aylanish tezligidan orqada qolishi *rotorning sirpanishi* deyiladi va u lotincha  $S$  harfi bilan belgilanib, quyidagicha ifodalanadi:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \% \quad (5.2)$$

(5.2) ifodadan motor rotorining aylanish tezligi  $n_2 = n_1 (1 - S)$  ni aniqlash mumkin. Tezliklar farqiga rotorning sirpanish tezligi deyilib, quyidagicha ifodalanadi:

$$n_s = n_1 - n_2 .$$

Motorning ishlash jarayonida sirpanish qiymati 0 dan 1 gacha o'zgaradi, motorni ishga tushirish paytida rotorning aylanish tezligi  $n_2 = 0$  bo'lgani uchun  $S = 1$  bo'ladi. Motorning nominal sirpanishi  $S_{nom} = 0,03 \div 0,06$  qiymatini yoki (3÷6)% ni tashkil etadi. Agar motorning nominal aylanish tezligi berilgan bo'lsa,

sirpanishning qiymati bo'yicha aylanuvchan magnit maydonining tezligini topish mumkin.

### **Rotor va stator chulg'amlaridagi elektr yurituvchi kuch va toklar**

**Qo'zg'almas rotor chulg'amidagi tok chastotasi.** Qo'zg'almas rotor chulg'amida induksiyalangan EYuK ning chastotasi aylanuvchan magnit maydonining aylanishlar tezligi bilan aniqlanadi:

$$f_2 = \frac{n_1 p}{60} . \quad (5.3)$$

Aylanuvchan magnit maydonining aylanishlar soni  $n_1 = \frac{60f_1}{p}$  ekanligini hisobga olsak,  $f_2 = f_1$  bo'ladi, ya'ni qo'zg'almas rotor chulg'amida induksiyalangan EYuK ning chastotasi elektr energiya manbaining chastotasiga teng bo'lar ekan. U holda aylanuvchan magnit maydonining stator va rotor chulg'amlarida induksiyalangan EYuK lari:

$$E_1 = 4,44\omega_1 f_1 K_{r_1} \Phi_m ; \quad (5.4)$$

$$E_2 = 4,44\omega_2 f_2 K_{r_2} \Phi_m ; \quad (5.5)$$

Agar  $f_2 = f_1$  ekanligini hisobga olsak, rotor chulg'amidagi EYuK  $E_2 = 4,44\omega_2 f_2 K_{r_2} \Phi_m$  ga teng bo'ladi.

Tormozlangan rotor va stator EYuK larning nisbati asinxron motor EYuK larning *transformasiya koeffisienti* deb ataladi:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1 K_{r_1}}{\omega_2 K_{r_2}} = K_E \quad (5.6)$$

Bu yerda  $K_{r_1}$  va  $K_{r_2}$  - stator va rotor chulg'amlari koeffitsienti hisoblanadi. (5.6) ifodadan  $E_1 = E_2' = K_E E_2$  ni topamiz. Bu qiymat rotor EYuK ining keltirilgan qiymati deyiladi.

Yuqorida keltirilganlarga asoslanib shuni aytish mumkinki, agar asinxron motorning rotori aylanmasa (rotor chulg'ami uzilgan bo'lsa), mazkur motor transformator rejimida ishlaydi.

**Aylanuvchan rotorning EYuK va toki.** Aylanayotgan rotorning chulg`amlarida induksiyanayotgan EYuK ning chastotasi  $f_{2S}$  rotorning sirpanish tezligi  $n_s$  ga bog`liq bo`ladi, ya`ni:

$$f_{2S} = \frac{pn_s}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}. \quad (5.7)$$

(5.7) ifodaga quyidagicha o`zgarish kiritib, aylanuvchan rotor EYuK chastotasini sirpanishga bog`liqligini hosil qilamiz:

$$f_{2S} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_2} = f_1 S \quad (5.8)$$

Demak, aylanuvchan rotor EYuK ining chastotasi rotor sirpanishiga to`g`ri proporsional ekan.

Motor sanoat chastotasi ( $f_1 = 50 \text{ Gs}$ ) va nominal yuklamada ishlaganda  $S_{nom} = (2 \div 6)\%$  ekanligini hisobga olsak,  $f_{2S} = (1 \div 3) \text{ Gs}$  ni tashkil etadi.

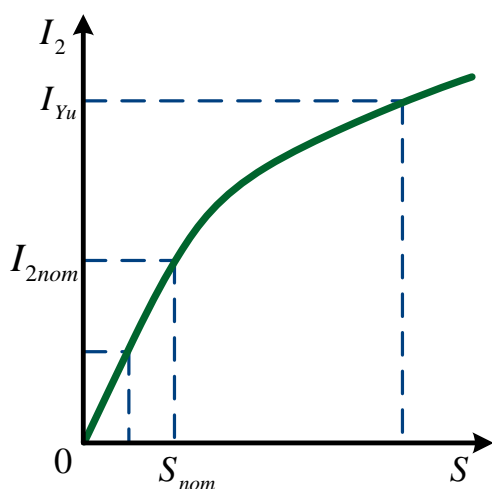
Motorni ishga tushirish paytida  $S = 1$  bo`lganligi uchun  $f_{2S} = f_1$ , ideal salt ishlash rejimida, ya`ni  $S = 0$  da  $f_{2S} = 0$  bo`ladi.

(5.8) ifodani hisobga olsak, rotor EYuK ining ifodasi quyidagicha bo`ladi:

$$E_2 = 4,44\omega_2 f_2 K_{r_2} \Phi_m = E_2 = 4,44\omega_2 f_2 K_{r_2} S \Phi_m = E_2 \cdot S_2 \quad (5.9)$$

U holda rotor toki quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{2S} = \frac{E_{2S}}{Z_2} = \frac{E_2 S}{Z_2} = \frac{E_2 \cdot S}{\sqrt{R_2^2 + X_{2S}^2}} \quad (5.10)$$



**5.15-rasm.**

bu yerda:  $X_{2S} = X_2 \cdot S$  – aylanuvchan rotor chulg`amini induktiv qarshiligi.

5.15-rasmda rotor tokining sirpanishga bog`liqlik grafigi keltirilgan. Rotorni ishga tushirish paytida ( $S = 1$ ) unda maksimal EYuK induksiyalangani uchun rotor chulg`amidan katta tok oqib o`ta boshlaydi. Bu esa o`z navbatida, stator chulg`amidan ham katta tok oqib o`tishiga sabab bo`ladi

(transformatorga o'xshash). Bu tok asinxron motorini ishga tushurish toki  $I_{i.t}$  deb atalib, qiymat jihatdan  $I_{i.t} = (5 \div 7) I_{nom}$  ga teng bo'ladi.

O'rta va katta quvvatli asinxron motorlarini bunday katta ishga tushirish tokidan saqlash uchun ular ishga tushirish qurilmalari yordamida ishga tushiriladi.

#### 5.4. Asinxron motor magnit yurituvchi kuchining tenglamasi

Asinxron motor salt ishlaganda rotorning MYuK nolga teng bo'ladi. Aylanuvchan magnit maydoni esa statorning MYuK tufayli hosil qilinadi, ya'ni

$$\bar{F}_0 = m_1 \bar{I}_0 w_1, \quad (5.11)$$

bu yerda:  $m_1$  - stator fazalarining soni;  $w_1$  - stator faza chulg'amlarining o'ramlar soni;  $I_0$  - salt ishlash toki.

Agar asinxron motorning validagi yuklamaning qiymati ortsa, rotor toki ham ortib, stator MYuK iga qarama-qarshi yo'nalgan rotor MYuK hosil bo'ladi. Natijada rotor MYuK ni kompensatsiyalash uchun stator MYuK ham shu qiymatga o'zgaradi. Shunday qilib, stator va rotor MYuK larning geometrik yig'indisi har doim o'zgarmas bo'ladi, ya'ni

$$\bar{F}_1 + \bar{F}_2 = \bar{F}_0$$

yoki

$$m_1 w_1 \bar{I}_1 k_1 + m_2 w_2 \bar{I}_2 k_2 = m_1 w_1 \bar{I}_0 k_1,$$

bundan

$$\bar{I}_1 + \bar{I}'_2 = \bar{I}_0, \quad (5.12)$$

bu yerda  $\bar{I}'_2 = \bar{I}_2 \frac{m_2 w_2 k_2}{m_1 w_1 k_1}$  - rotor tokining keltirilgan qiymati.

Stator toki (5.12) dan

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 - \bar{I}'_2 \quad (5.13)$$

Shunday qilib, stator toki salt ishlash tokidan va qarshilik (tormozlash) momenti tufayli vujudga keladigan  $I_2$  dan iborat ekan. Asinxron motorlarda salt ishlash toki nominal tokning 40-60% ini tashkil etishida sabab rotor bilan stator orasidagi havo bo'shlig'ining mavjudligidir.

## 5.5. Asinxron motorning almashtirish sxemasi va vektor diagrammasi

Transformatoridagi kabi asinxron motorning ham ish rejimini tahlil qilishda uning almashtirish sxemasidan foydalanish qulaydir. Umuman, asinxron motorning ham transformatoridagi kabi stator va rotor chulg`amlarini tegishli birlamchi va ikkilamchi chulg`am deb qarash mumkin. Bu chulg`amlar orasidagi bog`lanish transformatoridagidek magnit hodisasiga asoslangandir. Yuklangan asinxron motorning almashtirish sxemasini qo`rish uchun aylanayotgan rotor elektr zanjirini unga ekvivalent bo`lgan qo`zg`almas rotor zanjiri bilan almashtirish kerak.

Ekvivalent rotor zanjirining parametrlari shunday tanlanishi kerakki, motorning manbadan olayotgan quvvati, rotorga uzatilayotgan elektromagnit quvvat o`zgarmas bo`lishi kerak. Buning uchun rotorning ekvivalent va haqiqiy zanjiridagi tok  $I_2$  va EYuK  $E_2$  orasidagi faza siljish burchagi bir xil bo`lishi kerak. Shunday sharoitdagina ekvivalent va haqiqiy mashina rotor va stator chulg`amlarining umumiy magnitlovchi kuchi bir xil bo`ladi.

Ekvivalent rotor zanjirining EYuK va toki quyidagicha aniqlanadi:

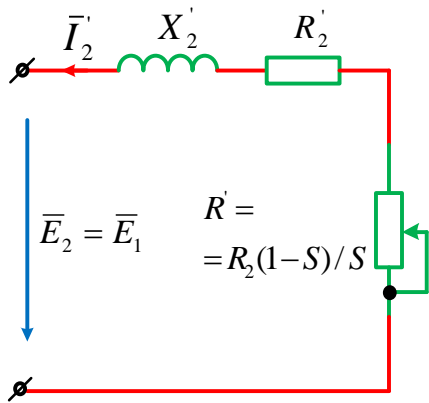
$$E'_2 = E_2 \cdot S \text{ va } I'_2 = \frac{E'_2}{\sqrt{(R'_2/S)^2 + (X'_2)^2}}$$

5.16-rasmda ekvivalent qo`zg`almas rotorning almashtirish sxemasi ko`rsatilgan. Bu yerda rotorning aktiv qarshiligi  $R_2/S$  ikkita tashkil etuvchi sifatida berilgan.

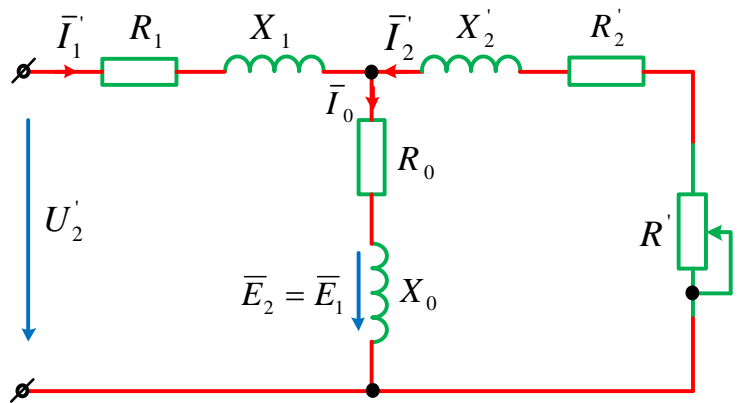
$$\frac{R'_2}{S} = R'_2 + R_2 \cdot \frac{1 - S}{S}$$

Xuddi transformatoridagidek, ekvivalent rotor chulg`amini  $X'_2$  va  $R'_2$  qarshiliklarda va  $R'_2 \left(\frac{1-S}{S}\right)$  tashqi iste`molchi qarshiligidan iborat deb qarash mumkin.

Bular asinxron motorning to`la almashtirish sxemasini tuzishga imkon beradi (5.17-rasm).



5.16-rasm.

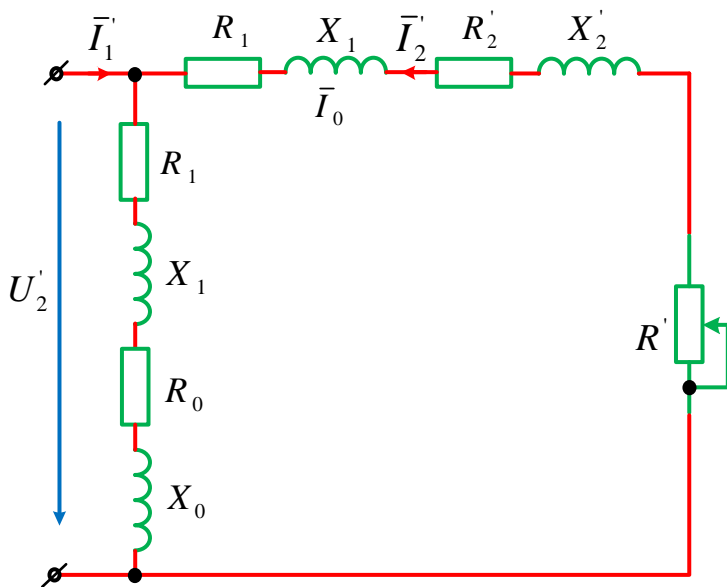


5.17-rasm.

Almashtirish sxemasidan  $R_2$  va  $R'_2$  qarshilikdagi quvvat isrofi stator va rotor chulg`amlaridagi elektrik quvvat isrofiga teng ekanligi kelib chiqadi:

$$\Delta P_{1\text{э}} = 3I_1^2 R_1 \quad \text{va} \quad \Delta P_{2\text{э}} = 3I_2'^2 R_2'$$

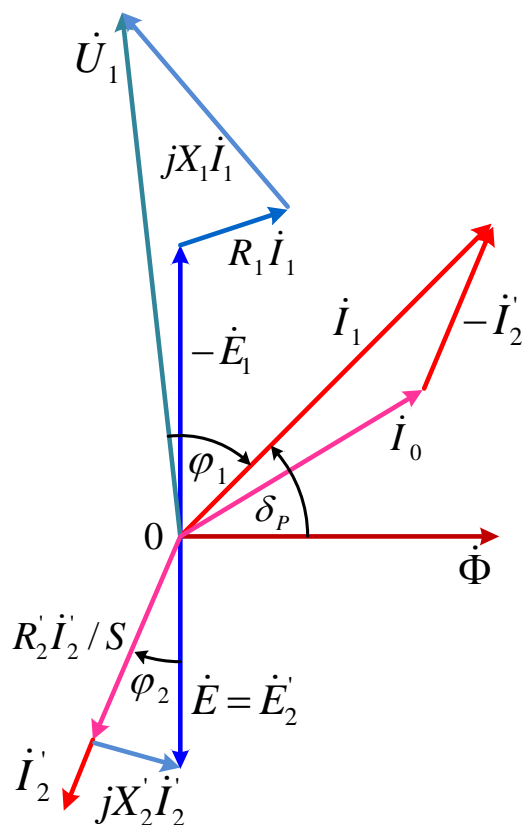
$R_0$  qarshilikdagi quvvat isrofi statorning po'lat o'zagidagi magnit quvvat isrofiga teng, ya'ni  $P_0 = 3I_0^2 R_0$ .



5.18-rasm.

Asinxron motorning "Г" shaklidagi almashtirish sxemasi 5.18-rasmida ko'rsatilgan.

Asinxron motorining vektor diagrammasi magnit oqim  $F$  vektorini ko'rishdan boshlanadi (5.19-rasm), chunki magnit oqimi stator va rotor uchun umumiydir.



5.19-rasm.

Stator va rotor chulg`amlarida induksiyalangan  $E_1$  va  $E_2'$  EYuK lar magnit oqimidan  $\pi/2$  burchakka orqada qoladi. Umumiy vektor diagrammasini qurishda qo'zg`almas ekvivalent rotorning EYuK asos qilib olinadi, chunki uning chastotasi manba chastotasiga tengdir. Ma'lumki, asinxron motorlarda salt ishlashdagi tok stator chulg`amidagi nominal tokning 40-60% ini tashkil etadi. Salt ishlash tokining vektori magnit oqimi vektoridan  $\delta_p$  burchakka, po'lat o'zakdagi isroflar tufayli, siljigan bo'ladi. Odatda,  $\delta_p=3^0 \div 5^0$  bo'ladi.

Asinxron motorni tormozlovchi momentning rotoridagi tok qiymatiga va fazasiga ta'siri, rotor chulg`ami aktiv qarshiligi  $\frac{R_2}{s}$  ning o'zgarishi bilan aniqlanadi. Shuning uchun qo'zg`almas rotorning chulg`amidagi tok  $I_2'$  EYuK  $E_2'$  dan  $\varphi = \arctg \frac{X_2'}{R_2'}$  burchakka kechikadi. Bu burchak asinxron motorning yuklanganligini ko'rsatadi va sirpanishning kamayishi bilan kamayib boradi.

5.16-rasmda keltirilgan rotorning almashtirish sxemasi uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$\bar{E}_2' = \bar{I}_2 \frac{R_2'}{s} + j\bar{I}_2 X_2'. \quad (5.14)$$

Statorning faza chulg`amlari orqali o'tayotgan tok quyidagi ifoda yordamida aniqlanishi mumkin:

$$I_1 = I_0 - \bar{I}_2'.$$

Stator chulg`amlarini almashtirish sxemasi uchun yozilgan tenglama bo'yicha manba kuchlanishi vektorining qiymati topilishi mumkin, ya'ni

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + I_1(R_1 + jX_2). \quad (5.15)$$

Asinxron motorlarda salt ishlash tokining qiymati nisbatan katta bo'lgani uchun faza siljish burchagi  $\varphi$  ning qiymati ham katta bo'ladi. Bunda motorning nominal quvvat koeffitsienti  $0,7 \div 0,8$  ga teng bo'ladi.

### 5.6. Asinxron motorning elektromagnit quvvat va aylantiruvchi momenti

Ma'lumki, aylantiruvchi momentning burchak tezligiga ko'paytmasi quvvatni beradi, ya'ni

$$P = M \cdot \omega \quad (5.16)$$

Asinxron motorlarda esa elektromagnit momenti stator magnit maydonining burchak tezligiga ko'paytmasi elektromagnit quvvat deyilib, quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{em} = P_{em} \cdot \omega_0, \quad (5.17)$$

bu yerda  $\omega_0$  – aylanuvchan magnit oqimining burchak tezligi.

Elektromagnit validagi mexanik quvvat rotor burchak tezligining elektromagnit momentga ko'paytmasiga tengdir:

$$P_{em} = P_{em} \cdot \omega \quad (5.18)$$

Agar rotorning po'lat o'zagida magnitlash uchun sarf bo'layotgan quvvat isrofi rotor chulg'amlaridagi quvvat isrofidan ancha kichik bo'lganligi uchun hisobga olinmasa, u holda:

$$P_{em} - P_{mex} = \Delta P_{chul} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \quad (5.19)$$

yoki

$$M_{em}(\omega_0 - \omega) = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2$$

Bunda elektromagnit moment quyidagicha aniqlanadi:

$$M_{em} = \frac{3I_2^2 R_2}{s\omega_0}, \quad (5.20)$$

bu yerda:  $I_2$  - rotor toki, A;  $R_2$  – rotor chulg'aming qarshiligi, Om.

U holda elektromagnit quvvat

$$P_{em} = \frac{3I_2^2 R_2}{s}, \quad (5.21)$$



Agar  $3I_2^2 R_2 = 3E_2 I_2 \cos(\psi_2) = 3E_2 I_2 \cos \psi_2$  ekanligini hisobga olsak, u holda ishqalanish momentini hisobga olmagan holda

$$M_{em} = \frac{3E_2 I_2 \cos \psi_2}{\omega_0 S},$$

yoki

$$M_{em} = \frac{3 \cdot 4,44 w_2 f_2 K r_2 \Phi_m I_2 \cos \psi_2}{S} = C \Phi_m I_2 \cos \psi_2, \quad (5.22)$$

bu yerda  $C = 3 \cdot 4,44 \cdot f_2 w_2 \frac{K r_2}{\omega}$  - o'zgarmas koeffitsient.

Demak, asinxron motorning aylantiruvchi momenti rotor tokiga, magnit oqimining amplituda qiymatiga hamda rotor toki bilan EYuK orasidagi burchak kosinusiga to'g'ri proporsional ekan. (5.22) dagi  $I_2 \cos \psi_2 = I_{2a}$  ifoda rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi ekanligini hisobga olsak,  $M_{em} = C \cdot \Phi_m \cdot I_{2a}$  bo'ladi, ya'ni asinxron motorda aylantiruvchi moment rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi yordamida hosil bo'ladi.

(5.12) ifodadan shu narsa ko'rinib turibdiki, agar asinxron motorning rotori tormozlansa, barcha elektromagnit quvvat issiqlik energiyasi sifatida ajralib chiqib boshlaydi.

Nominal rejim ( $S_{HOM}=0,06$ ) asinxron motorda hosil bo'layotgan elektromagnit quvvatning 0,94 : 0,98 ulushi mexanik quvvat sifatida, ozgina (0,02 : 0,06) ulushi esa issiqlik energiyasi sifatida ajralib chiqadi.

**Asinxron motorning aylantiruvchi momenti.** Agar mexanik ishqalanishlar tufayli vujudga keladigan qarshilik momenti  $\Delta M_{mex}$  ni hisobga olmasak,  $M_{em} = M$  deyish mumkin, u holda

$$M = C \Phi_m I_2 \cos \psi_2. \quad (5.23)$$

Agar

$$\Phi_m = \frac{E_1}{4,44 w_1 f_1 K r_1} \quad I_2 = \frac{E_1 S}{K \sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}};$$

$$E_2 = \frac{E_1}{K}; \quad \cos \psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}}$$

ekanligini hisobga olib, ularni (5.23) ga qo'ysak, quyidagini hosil qilamiz:

$$M = C_1 E_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}. \quad (5.24)$$

Stator chug`amlarida kuchlanishning pasayishini hisobga olsak ( $E_1 \approx U_1$ ), quyidagini yozish mumkin:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}$$

yoki

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2'^2}, \quad (5.25)$$

bu yerda

$$R_2' = \frac{R_2}{S}.$$

(5.25) ifodadan ko`rinib turibdiki, asinxron motorning validagi aylantiruvchi momentning qiymati manba kuchlanishining kvadratiga va sirpanishga bog`liq ekan. Demak, kuchlanishning ozgina o`zgarishi momentning keskin o`zgarishiga sabab bo`ladi.

1.  $S = 0, n_2 = n_1$  bo`lganda, ya`ni ideal salt ishlash rejimida  $M = 0$  bo`lib, rotor tormozlanadi.

2.  $S = 1, n_2 = 0$  bo`lganda esa aylantiruvchi moment *ishga tushirish momenti* deyiladi.

$$M_{I.T} = C U_1^2 \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2'^2}. \quad (5.26)$$

Asinxron motorning hosil qilishi mumkin bo`lgan maksimal (kritik) momentini topish uchun (5.25) ifodadan sirpanish  $S$  bo`yicha hosila olib, uni nolga tenglashtiramiz, ya`ni

$$\frac{dM}{dS} = C_1 U_1^2 R_2 \frac{R_2^2 - (X_2 S)^2}{[R_2^2 + (X_2 \cdot S)^2]} = 0$$

Bundan

$$S_{kr} = \pm \frac{R_2}{X_2}. \quad (5.27)$$

Asinxron mashina motor rejimida ishlaganda  $S_{KR} > 0$  bo`ladi. Kritik sirpanish qiymatini hisobga olgan holda motorning maksimal momentini aniqlash mumkin:

$$M_{kr} = C_1 U_1^2 \frac{1}{2X_2} \quad (5.28)$$

Agar asinxron motorda  $X_2 \approx 5R_2$  ekanligini hisobga oladigan bo'lsak,  $S_{KR}=0.2$  bo'ladi. (5.26) va (5.28) ifodalarni birgalikda yechib, motorning aylantiruvchi momentining quyidagi soddalashtirilgan ifodasini yozish mumkin:

$$M = \frac{2M_{KP}}{\frac{S}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S}} \quad (5.29)$$

Ushbu ifodadan sirpanishning nominal qiymatini hisobga olgan holda kritik sirpanishni aniqlash mumkin:

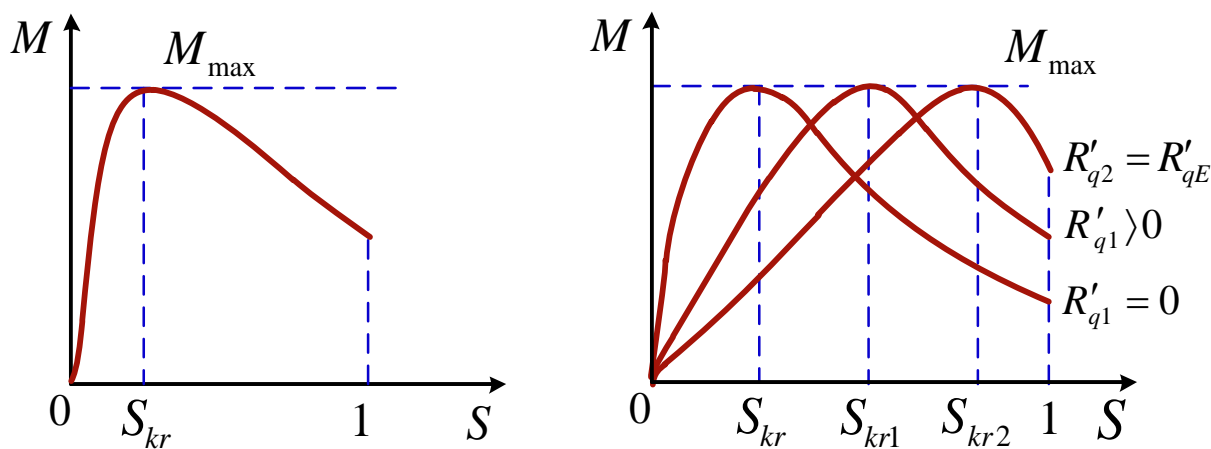
$$S_{kr} = S_{HOM}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \quad (5.30)$$

bu yerda:  $S_{HOM} = \frac{n_1 - n_{HOM}}{n_1}$  sirpanishning nominal qiymati;  $\lambda = \frac{M_{kr}}{M_{nom}}$  — yuklash koeffitsienti.

Faza rotorli asinxron motorlarda rotor chulg'amiga qo'shimcha qarshilik ulangani uchun, aylantiruvchi moment quyidagicha aniqlanadi:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2 + R_p}{(R_2 + R_p)^2 + (X_2 S)^2} \quad (5.31)$$

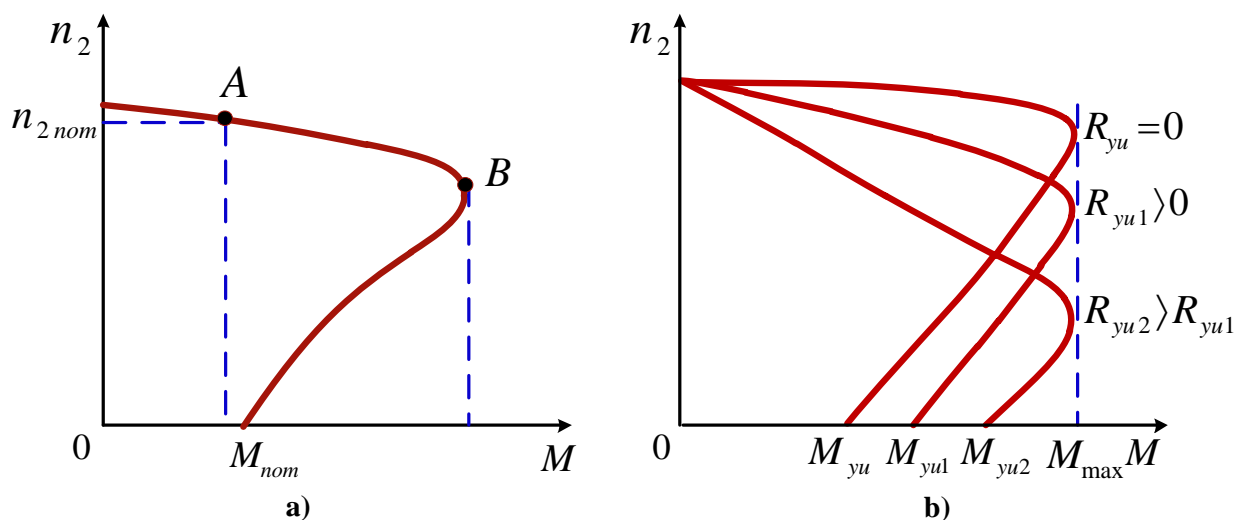
5.20-rasmda rotor chulg'ami aktiv qarshiligining turli qiymatlarida aylantiruvchi momentning sirpanishga bog'liq egri chiziqlari ko'rsatilgan. Chulg'amning aktiv qarshiliginigina hisobga olib qurilgan xarakteristika *tabiiy xarakteristika*, qo'shimcha qarshilik qiymatini hisobga olib qurilgan xarakteristika *sun'iy* yoki *reostat xarakteristika* deyiladi.



**5.20-rasm.**

### 5.7. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi

Manba kuchlanishi o'zgarmas ( $U_1 = const$ ) bo'lganda rotor aylanishlar soni ( $n_2$ ) ning aylantiruvchi momentga bog'liqlik egri chizig'i  $n_2 = f(M)$  asinxron motorning **mexanik xarakteristikasi** deyiladi. 5.21-rasmda asinxron motorning mexanik xarakteristikasi ko'rsatilgan. Ushbu xarakteristikani 5.20-rasmda ko'rsatilgan  $M = f(S)$  egri chizig'i yoki (5.20) ifoda yordamida  $n_2 = n_1(1 - S)$  ekanligini hisobga olgan holda qurish mumkin. Mexanik xarakteristika har qanday motorning ish qobilyatini belgilaydi. Ma'lumki, stator aylanuvchan magnet maydon tezligi o'zgarmas ( $n_1 = const$ ) bo'lgani uchun rotorning aylanish tezligi bilan sirpanish orasidagi bog'lanish chizig'idir. Agar  $S = 1$  bo'lsa,  $n_2 = 0$ ;  $S = 0$  bo'lsa,  $n_2 = n_1$  bo'ladi. Mexanik xarakteristikada quyidagilarini belgilash mumkin: maksimal (kritik) moment  $M_{max}$  - asinxron motor aylantiruvchi momentining maksimal qiymati; ishga tushirish momenti;  $M_{it}$  - asinxron motorni ishga tushirish (qo'zg'atish) uchun kerak bo'ladigan moment qiymati; nominal moment  $M_{nom}$  - asinxron motorning nominal ish rejimi (nominal kuchlanish  $U_{nom}$  nominal chastota  $f_{nom}$ , nominal yuklama) dagi aylanuvchi momenti.



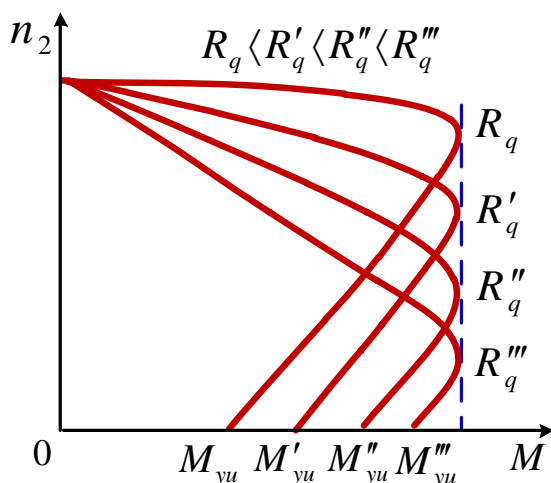
5.21-rasm.

Yuklanish ostidagi asinxron motorni ishga tushirish uchun uning ishga tushirish momenti ish mexanizmining qarshilik momenti  $M_q$  dan katta bo'lishi

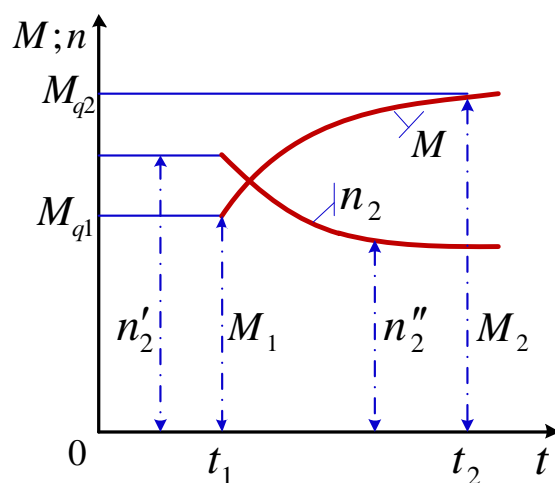
kerak, ya'ni  $M_{it} > M_q$  Aks holda motorni harakatga keltirib bo'lmaydi. Asinxron motor aylanishlar sonining o'zgarish mexanik xarakteristikaning  $S$  nuqtasidan boshlab,  $B$  nuqta orqali o'tadi. Xarakteristikaning  $A - B$  qismidagi  $M_{nom} = M_q$  nuqtada motorning vali  $n_{2nom}$  tezlik bilan aylana boshlaydi. Shunday qilib, mexanik xarakteristikaning  $S - B$  qismi tezlanish qismi,  $A - B$  esa ish qismi hisoblanadi. Asinxron motor xarakteristikaning ish qismida barqaror tezlik bilan aylanadi.

Agar biror sababga ko'ra  $t = t_1$  paytda qarshilik momenti  $M_{q1}$  dan  $M_{q2}$  ga o'zgarsa (5.22-rasm), u holda  $M_q > M$  bo'lib, motor tormozlana boshlaydi. Natijada sirpanish  $S$  ortadi. Bu esa o'z navbatida EYuK, rotor toki va aylanuvchan moment qiymatining o'zgarishiga olib keladi. Bunday jarayon  $M_q > M$  bo'lguncha davom etib, motorning o'z-o'zini boshqarish jarayoni deb ataladi. Motor o'qiga qo'yilgan qarshilik momenti qiymatining kamayishi esa o'z-o'zini boshqarish jarayoniga ko'ra, rotor aylanishlar sonining ortishiga olib keladi. Odatda, motorlarda o'z-o'zini boshqarish jarayoni sekundning o'ndan yoki yuzdan bir ulushi mobaynida tugaydi.

Mexanik xarakteristikaning  $S - B$  qismida esa tezlikning har qanday o'zgarishi (kamayishi) aylantiruvchi momentning kamayishiga olib keladi, natijada motor to'xtaydi. Shuning uchun  $n = f(M)$  egri chiziqning  $S - B$  qismi mexanik xarakteristikaning *beqaror qismi* deyiladi.



5.22-rasm.



5.23-rasm.

Ayrim hollarda maksimal moment qiymati motorni to'xtatish momenti ham deyiladi, chunki  $M_{max}$  ning  $\Delta M_{max}$  ga ortishi motorning tezda to'xtashiga sabab bo'ladi. 5.23-rasmda faza rotorli asinxron motor uchun mexanik xarakteristikalarining to'plamida ko'rsatilgan. Rotor chulg'amlari qarshiligi qiymatining ortishi xarakteristika egriligining oshishiga olib keladi. O'z navbatida, ishga tushirish momentining qiymati ortadi, ishga tushirish tokining qiymati esa kamayadi. Odatda, chulg'ami aktiv qarshiliknigina hisobga olib ko'rilgan mexanik xarakteristika "qattiq" mexanik xarakteristika deb nomlanadi.

### 5.8. Asinxron motorning pasportidagi ma'lumotlari bo'yicha mexanik xarakteristikasini qurish

Odatda, asinxron motorning pasportida quyidagi ma'lumotlar ko'rsatiladi:

$U_{nom}$  - nominal kuchlanish, [V];

$R_{nom}$  - nominal quvvat, [Vt, kVt];

$n_{nom}$  - rotorning nominal aylanishlar soni, [ayl/min];

$\lambda = \frac{M_{max}}{M_{nom}}$  — motorning o'ta yuklanish koeffitsienti (qisqa tutashtirilgan rotorli

asinxron motorlar uchun  $\lambda = 1,7 \div 2,5$ , faza rotorli asinxron motorlar uchun  $\lambda = 1,5 \div 3,4$ ;

$\delta = \frac{M_{it}}{M_{nom}}$  — ishga tushirish koeffitsienti.

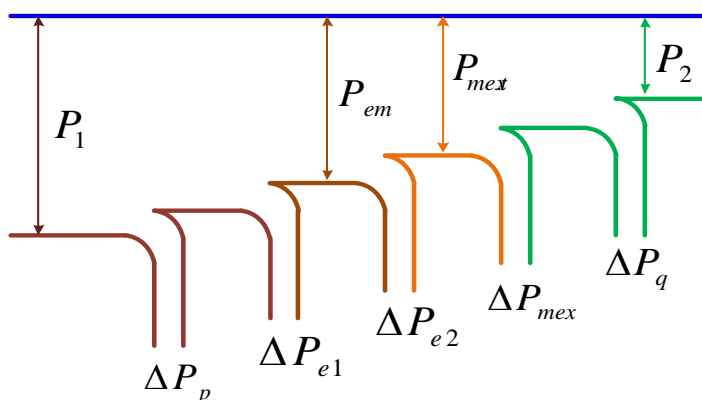
Yuqorida ko'rsatilgan ma'lumotlar bo'yicha motorning mexanik xarakteristikasini qurish mumkin. Buning uchun dastlab aylanuvchi magnit maydonning aylanish tezligini aniqlaymiz. Bu tezlik qiymatini aniqlashda sinxron tezliklar shkalasi (5.2-§ da keltirilgan) dan foydalanamiz. So'ngra motorning nominal momenti aniqlanadi:

$$M_{nom} = 975 \frac{P_{nom}}{n_{nom}} [kG \cdot M]; \quad M_{nom} = 9550 \frac{P_{nom}}{n_{nom}} [N \cdot M].$$

Pasportida ko'rsatilgan koeffitsientlar yordamida motorning maksimal  $M_{max}$  va ishga tushirish momenti  $M_{IT}$  aniqlanadi. Aniqlangan kattaliklar bo'yicha koordinata o'qlariga mos holda  $a, \delta, s$  nuqtalar belgilanadi. Kritik sirpanish miqdori esa  $S_{kr} = S_{nom}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$  ifoda yordamida aniqlanadi (5.12- a rasm). Bunda  $S_{nom} = \frac{n_1 - n_{nom}}{n_1}$  bo'ladi. Xarakteristikaning qolgan nuqtalari esa (5.29) ifoda yordamida topiladi. Faza rotorli asinxron motorning reostat xarakteristikalarini qurish uchun dastlab kataloglardan berilgan motorning nominal quvvatini va seriyasini, so'ngra rotor chulg'aming aktiv va reaktiv qarshiliklari aniqlanadi. Keyin, (5.27) va (5.29) ifodalardan foydalanib, sun'iy reostat xarakteristikasi quriladi.

### 5.9. Asinxron motorning energetik diagrammasi va foydali ish koeffisienti

Boshqa elektr mashinalaridagi kabi asinxron motorlarida ham elektr energiyasining mexanik energiyaga aylantirilishi energiya isrofi bilan bog'liq. Motorga elektr tarmog'idan berilayotgan  $R_1$  quvvatning qanday taqsimlanishi 5.24-



5.24-rasm.

rasmdagi asinxron motorning energetik diagrammasida ko'rsatilgan.

Asinxron motorga tarmoqdan berilayotgan quvvat:

$$P_1 = 3U_{1F} \cdot I_{1F} \cos \varphi.$$

Bu quvvatning bir qismi

statorning po'lat o'zagidagi quvvat isrofi  $\Delta R_P$  va stator chulg'aming qizishiga sabab bo'lgan  $\Delta R_{E1}$  elektr quvvati isroflarini qoplashga sarflanadi:

$$\Delta P_{E1} = 3I_{1F}^2 \cdot r_1.$$

Quvvatning qolgan qismi magnit oqimi yordamida rotorga uzatiladi va shu sababli elektromagnit quvvat deb ataladi:

$$P_{EM} = P_1 - (\Delta P_{E1} + \Delta P_p).$$

Elektromagnit quvvatning bir qismi rotor chulg'amidagi elektr quvvat isroflarini qoplashga sarflanadi:

$$\Delta P_{E2} = 3I_{2F}^2 \cdot r_2.$$

Elektromagnit quvvatning qolgan qismi motorning mexanik quvvatiga aylanadi va *to'la mexanik quvvat* deyiladi:

$$P'_{t.mex} = P_{EM} - \Delta P_{E2}.$$

To'la mexanik quvvatning bir qismi mexanik isrof ( $\Delta P_{mex}$ ) ga, boshqa bir qismi isrof ( $\Delta P_Q$ ) ga sarflanadi, qolgan qismi esa motorning validagi foydali ( $R_2=R_M$ ) quvvatni beradi:

$$P_2 = P'_{t.mex} - (\Delta P_{mex} + \Delta P_Q).$$

Motordagi mexanik isroflar podshipniklardagi ishqalanishlar, aylanuvchan havoga ishqalanishi va cho'tkalarining halqalarga ishqalanishidan (faza rotorli motorlarda) hosil bo'ladi.

Qo'shimcha quvvat isroflari motorda sochilgan magnit oqimlar bo'lishi va boshqa sabablar tufayli vujudga keladi. Motor to'la yuklanish bilan ishlaganda qo'shimcha isrof ( $\Delta R_Q$ ) uning nominal quvvatining 0,5% ga teng qilib olinadi.

Shunday qilib, motorning foydali mexanik quvvati

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P,$$

bunda  $\sum \Delta P$  – motordagi quvvat isroflarining yig'indisi

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\Pi} + \Delta P_{\text{Э1}} + \Delta P_{\text{Э2}} + \Delta P_{MEX} + \Delta P_K$$

Asinxron motorning foydali ish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1}$$



Motorning yuklanishi nominalga yaqin bo'lganda foydali ish koeffitsienti eng katta qiymatga yetadi. Kichik va o'rtta quvvatli (1-100 kW) motorlarda  $n_{nom} = 70 \div 90\%$  ni, katta quvvatli (100 kW va undan katta) motorlarda  $n_{nom} = 90 \div 94\%$  ni tashkil etadi.

### 5.10. Asinxron motorning ish xarakteristikasi

Elektr tarmog'ida kuchlanish  $U_1$  va  $f_1$  o'zgarmas bo'lganda motorning tezligi  $n_2$ , sirpanish  $S$ , aylantirish momenti  $M$ , foydali ish koeffitsienti  $\eta$ , stator chulg'amidagi tok  $I_1$  va quvvat koeffitsienti  $\cos \varphi$  ning motor validagi foydali quvvat  $P_2$  ga bog'liqlik grafiklari asinxron motorning ish xarakteristikalari deyiladi (2.25-rasm).

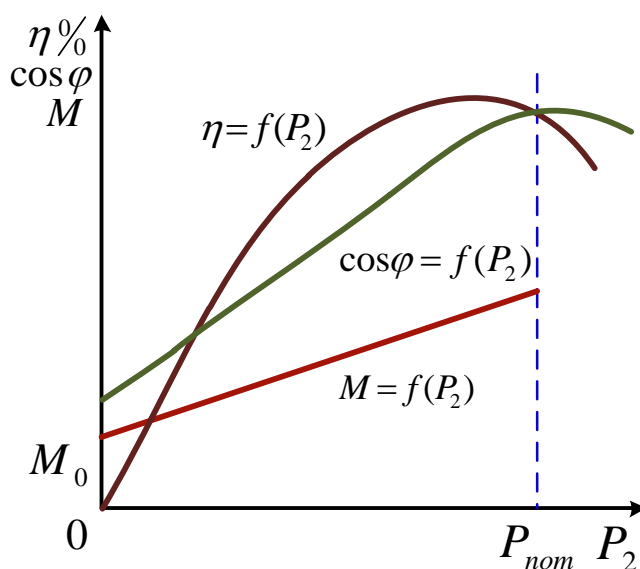
Motor salt ishlaganda ( $R_2 = 0$ )  $S \approx 0$  bo'lib, sirpanish formulasi  $n_2 = n_1(1 - S)$  da  $n_2 \approx n_1$  deb qabul qilish mumkin. Yuklanishning ortishi bilan sirpanish  $S$  orta boradi, rotorning aylanish tezligi  $n_2$  esa kamaya boradi. Nominal yuklanishda  $P_2 = P_{2nom}$  bo'lib, sirpanish nominal qiymatga erishadi.

Motorning validagi foydali moment  $M$  ning foydali quvvatga bog'liqligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$M = 975 \frac{P_2}{n_2}$$

Motor  $P_2$  ning ortishi bilan aylanish tezligi kamayadi, shu sababli foydali moment  $M$  yuklanish ko'payganda  $P_2$  ga qaraganda tezroq ko'payadi. Binobarin,  $M = f(P_2)$  bo'ladi.

Motorning foydali ish koeffitsienti  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$  ko'rinishida ifodalanadi. Motorning tarmoqdan olayotgan  $P_1$  validagi foydali quvvat  $P_2$  va quvvat isroflari yig'indisi  $\sum \Delta P$  dan, iborat, ya'ni  $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P}$ . Motor salt ishlaganda  $P_2 = 0$ ,



5.25-rasm.

binobarin, FIK ham  $\eta = 0$  bo'ladi. Foydali quvvat  $P_2$  ortgan sari FIK tez osha boradi va quvvat isrofining yuklanishga bog'liq bo'lgan o'zgaruvchan qismi bilan yuklanishga bog'liq bo'lmagan o'zgarmas qismi tenglashganda  $\eta$  eng katta qiymatga erishadi. Yuklanishni yana ham orttirish foydali ish koeffitsientining kamayishiga olib keladi.

Stator  $I_1$  (5.13) formuladan aniqlanadi.  $U$  o'zgarmas  $I_0$  va o'zgaruvchan  $I_2$  tashkil etuvchilardan iborat bo'lib, yuklanishga bog'liqdir. Motor salt ishlagan  $I_2 = 0$  desak,  $I_1 = I_2$  bo'ladi, ya'ni stator toki salt ishlash tokiga teng bo'ladi va uning qiymati asinxron motorlarda stator chulg'ami nominal toki  $I_{1nom}$  qiymatining 40 ÷ 60 % ini tashkil etadi.  $P_2$  ning ortishi tok  $I_2$  va  $I_1$  larning ortishiga olib keladi.

Motor salt ishlaganda uning quvvat koeffitsienti eng kichik qiymatni tashkil etadi. Motorning valiga tushadigan yuklanish ortganda tokning aktiv tashkil etuvchisi ortadi. Bu holda quvvat koeffitsienti ortadi. Bu holda quvvat koeffitsienti orta borib,  $P_2 = P_{2nom}$  bo'lganda eng katta qiymatga erishadi. Yuklanish yana ham ko'payganda  $\cos\varphi$  kamayadi. Bu hol sirpanishning ko'payishi hisobiga rotor chulg'amining induktiv qarshiligi ( $X_2 \cdot S$ ) ortishi bilan izohlanadi. Quvvat koeffitsientining katta bo'lishi uchun motor doimo yoki bo'lmaganda, ko'proq vaqt nominal yuklanishda ishlashi mumkindir.

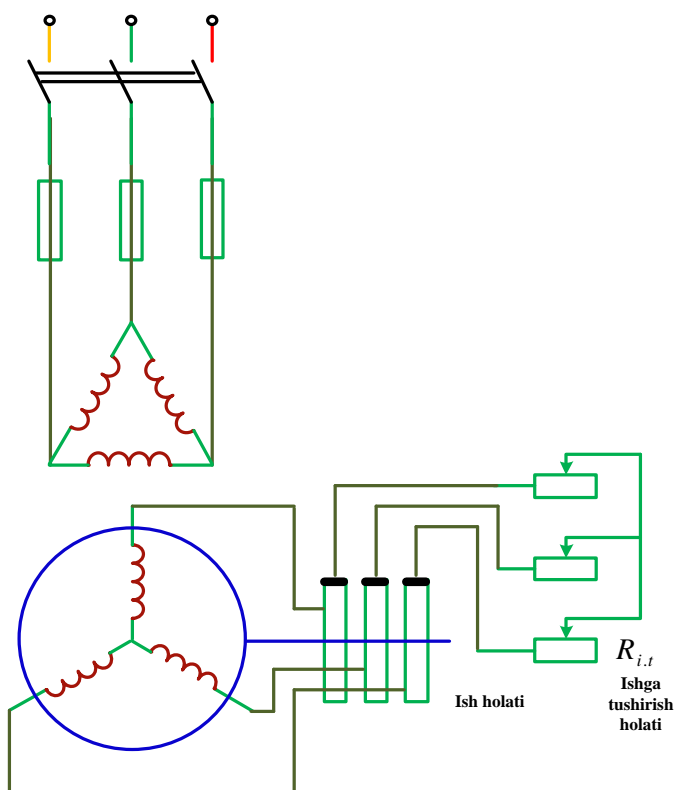
Nominal yuklanishda o'rta quvvatli (1 – 100 kVt) motorlarning quvvat koeffitsienti  $\cos\varphi = 0,7 \div 0,9$ , katta quvvatli (100 kVt dan ortiq) motorlarda  $\cos\varphi = 0,8 \div 0,92$

### 5.11. Asinxron motorlarni ishga tushirish

Rotorli qisqa tutashtirilgan asinxron motorlarni elektr tarmog'iga ulaganda uning rotor va stator chulg'amlari orqali nominal qiymatidan 5÷7 marta ortiq bo'lgan tok o'tadi. Ishga tushirishning boshlang'ich paytida sirpanish  $S = 1$  bo'lib, ishga tushirish toki eng katta qiymatga erishadi.

Motorlarni ishga tushirishda iloji boricha quyidagi asosiy talablar bajarilishi kerak: ishga tushirish jarayonida murakkab bo'lmagan qurilmalardan foydalanish; ishga tushirish momenti qarshilik momentidan katta bo'lishi, ishga tushirish tokining kichik bo'lishi; ishga tushirish vaqti qisqa bo'lishi.

Amalda quyidagi ishga tushirish usullaridan foydalaniladi: rotor chulg'amiga yurgizish reostatlarini ulash; stator chulg'amini elektr tarmog'iga (bevosita) ulash; ishga tushirish paytida stator chulg'amlariga pasaytirilgan kuchlanish berish.



**5.26-rasm.**

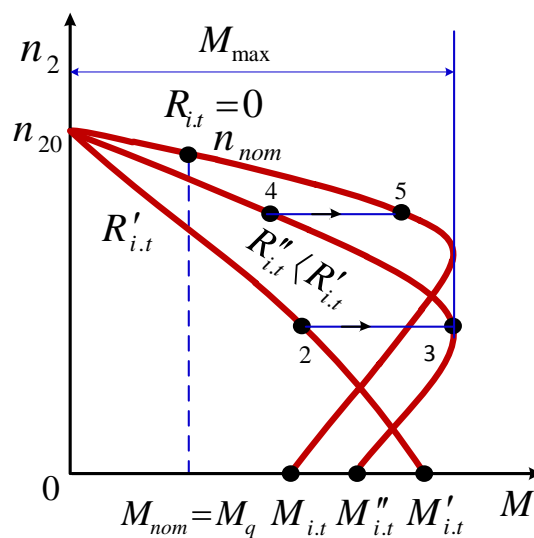
motorni ishga tushirish momentining ortishiga ham erishiladi (5.27-rasm).

Motor quyidagicha ishga tushiriladi: ishga tushirish reostatining qarshiligini eng katta qiymatga ("ishga tushirish" holatiga) keltirib, motor elektr tarmog'iga ulanadi va motor valining aylanish tezligi orta borgan sari ishga tushirish reostatining qarshiligi kamaytirib boriladi, nihoyat aylanish tezligi

**Faza rotorli motorning ishga tushirish tokini kamaytirish** uchun rotorning faza chulg'amiga uch fazali aktiv qarshilikli reostat ulanadi (5.26-rasm). Ishga tushirish toki quyidagi formulada aniqlanadi:

$$I_{i.t} = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2 + R_{i0.P})^2 + X_2^2}}$$

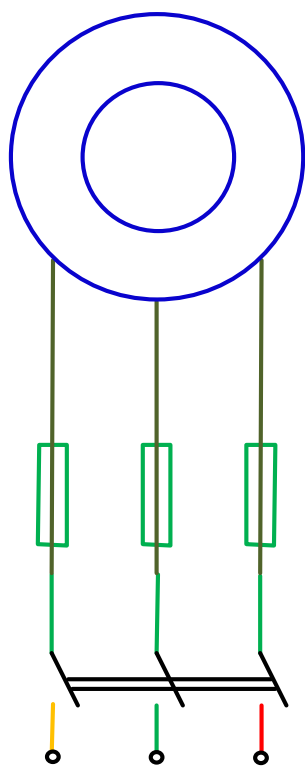
Bunda ishga tushirish tokining kamayishigagina emas balki,



**5.27-rasm.**

nominal qiymatiga yetganda  $R_{I,T}$  nolga yetkaziladi (“ish” holati). Ishga tushirish jarayonining oxirida rotor chulg`amlari maxsus qurilma yordamida qisqa tutashtiriladi va motor rotori qisqa tutashtirilgan rejimda ishlaydi.

Faza rotorli motorni ishga tushirish jarayonini uning mexanik xarakteristikasidan (5.27-rasm) foydalanib ko`rib chiqish mumkin. Xarakteristika ishga tushirish reostatining uchta bosqichdagi qarshiliklari uchun ko`rsatilgan. Ishga tushirishning dastlabki payti (reostatning “ish. t” holati) da ishga tushirish momenti  $M_{I,T}$  pastki xarakteristikaning 1 nuqtasiga to`g`ri keladi. Motor ishga tushib, ma`lum tezlikka erisha borishi bilan uning momenti pastki xarakteristikaning 1-2 qismi bo`yicha kamayadi. Reostat dastlabki reostatning kamroq qarshiligiga mos keladigan ikkinchi bosqichga surilsa shu qisqa vaqt ichida rotorning aylanish chastotasi bir xil qilib ishga tushirish momenti ikkinchi xarakteristikaning 3 nuqtasiga mos holda ortadi. Xuddi shu yo`l bilan reostat dastasi uchinchi bosqichga o`tkaziladi; bunda aylantiruvchi momentining qiymati valdagi qarshilik momentiga tenglashadi va ishga tushirish jarayoni tugallanadi. Bu holat yuqorigi xarakteristikaning 6 nuqtasiga to`g`ri keladi.



5.28-rasm.

Shunday qilib, motorni ishga tushirish jarayoni davomida ishga tushirish momentining kattaligi deyarli o`zgarmasdan qoladi.

Faza rotorli motorlarni ishga tushirish jarayoni ayrim kamchiliklaridan xoli emas. Ya`ni ishga tushirish operatsiyasi murakkab va uzoq davom etadi, tejamli emas.

**Rotorli qisqa tutashtirilgan asinxron motorni** elektr tarmog`iga bevosita ulash usulida ishga tushirish (5.28-rasm) keng qo`llaniladi. Lekin motorni tarmoqqa ulash paytida juda qisqa vaqt bo`lsa ham, nominal tokdan  $5 \div 7$  marta katta bo`lgan ishga tushirish toki  $I_{i,t}$  paydo bo`ladi. Motor ishga tushirilganda uning aylanish tezligi nominal qiymatgacha juda tez ortadi va ishga tushirish toki kamayib, nominal

yuklanishga mos keladigan qiymatga erishadi.

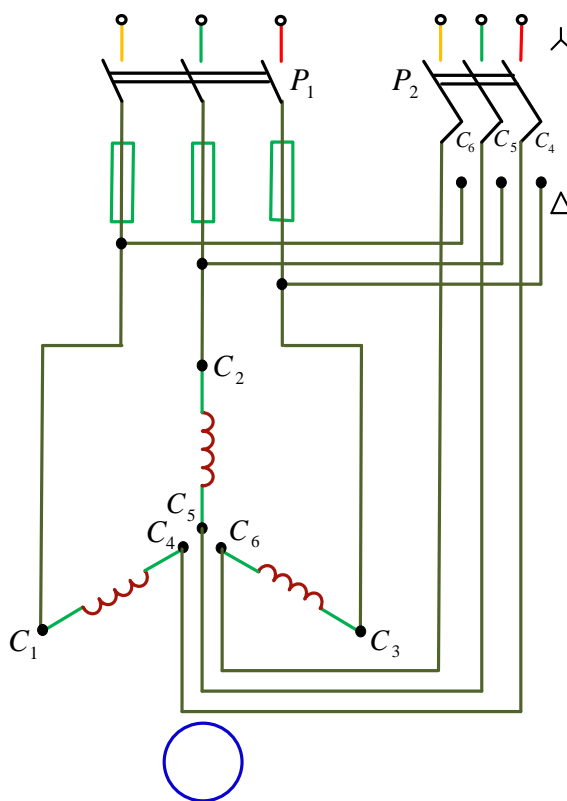
Motorlarni ishga tushirishda ishga tushirish toki  $I_{i.t}$  ning ta'siri tufayli elektr tarmog'i kuchlanishning qiymati sezilarli darajada pasayib ketishi mumkin. Bunda aylantiruvchi moment kuchlanishning kvadratiga proporsional ( $M \equiv U^2$ ) bo'lgani uchun yuklanish bilan ishlayotgan motorlarning momenti kamayib, ularning nominal ishlashi buziladi.

Ammo hozirgi energetik sistemalarning quvvati etarli darajada katta bo'lganligi tufayli kichik va o'rta quvvatli asinxron motorlarni elektr tarmog'iga bevosita ulab ishga tushirilganda ishga tushirish tokining ta'siri deyarli sezilmaydi. Bunda ishga tushirilayotgan motorlarning quvvati elektr tarmog'i (generator yoki transformator) quvvatidan bir necha marta kichik bo'lishi kerak. Agar qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarni elektr tarmog'iga bevosita ulab ishga tushirish imkoniyati bo'lmasa, ya'ni asinxron motorlarning quvvati elektr tarmog'i quvvatiga yaqin bo'lsa ishga tushirish toki boshqa biror usul bilan kamaytiriladi.

**Motorni uchburchak sxemadan yulduz sxemaga o'tkazib ishga tushirish.** Motorni ishga tushirish paytida unga pasaytirilgan kuchlanish berish orqali ishga tushirish tokini kamaytirish mumkin.

Stator chulg'ami uchburchak sxemada ishlashga mo'ljallangan asinxron motorning mazkur chulg'amini uchburchak usulida ulashdan yulduz usulida ulashga o'tkazib, motorni ishga tushirishni ko'rib chiqaylik (5.29-rasm).

Motorni ishga tushirish quyidagi tartibda bajariladi. Rubil'nik 2-holatiga o'tkazib, motorni elektr tarmog'iga ulasak, stator chulg'ami yulduz sxemada ulanganda liniya toki faza tokiga teng



5.29-rasm.

bo'ladi, bunda ishga tushirish toki:

$$I_{i.t.\lambda} = \frac{U_{F\lambda}}{Z_F} = \frac{U_{\lambda}}{\sqrt{3}Z_F},$$

bu yerda  $I_{i.t.\lambda}$  - yulduz sxemada ulangan motorning ishga tushirish toki;  $U_L$ - elektr tarmog'ining liniya kuchlanishi;  $Z_F$ - stator dagi faza chulg'amining qarshiligi.

Rubil'nik 2 "ish" holatiga o'tkazilganda, ya'ni stator chulg'amлари "uchburchak" ulanganda fazadagi ishga tushirish toki:

$$I_{i.t.F} = \frac{U_{F\Delta}}{Z_F} = \frac{U_L}{Z_F}$$

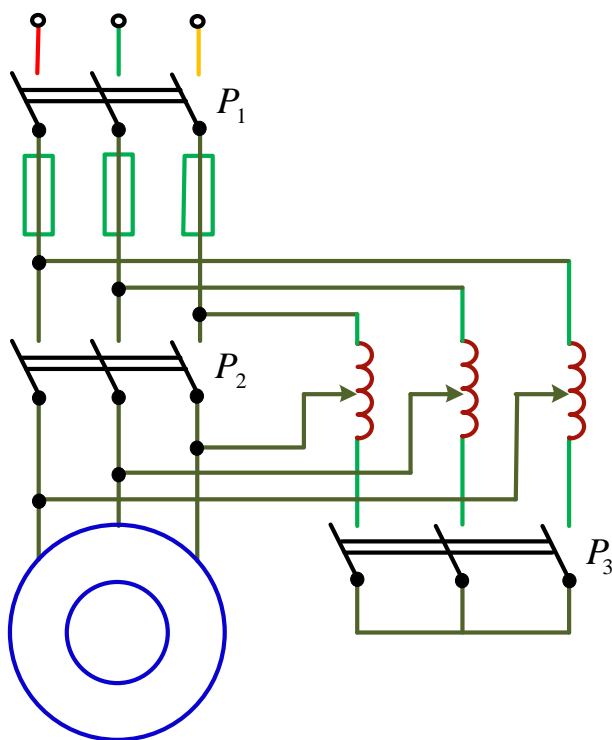
va liniyadagi ishga tushirish toki

$$I_{i.t.\Delta} = \frac{\sqrt{3}U}{Z_F}$$

$I_{i.t.L}$  va  $I_{i.t.\Delta}$  ni taqqoslasak:

$$\frac{I_{i.t.L}}{I_{i.t.\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Shunday qilib, motorning ishga tushirish toki stator chulg'amlarini yulduz sxemada ulanganda uchburchak sxemada ulangandagina nisbatan  $\sqrt{3}$  marta kichik



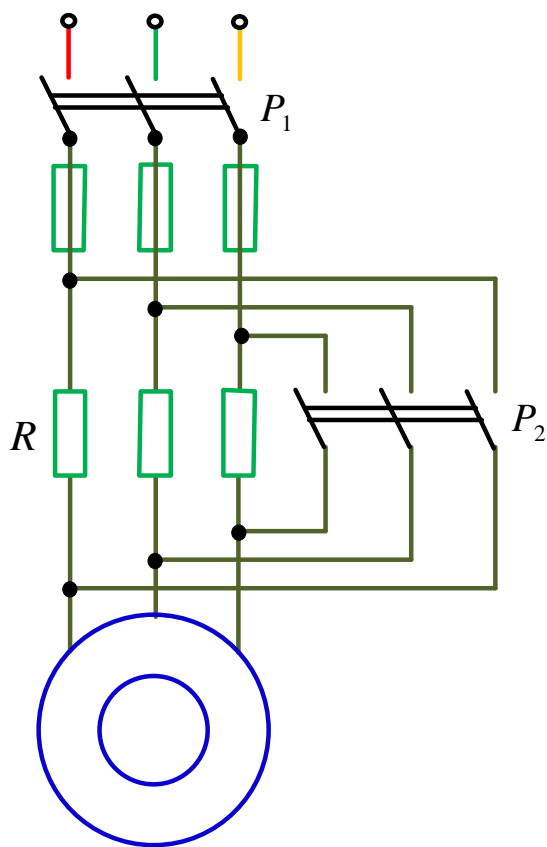
5.30-rasm.

bo'ladi. Lekin  $M \equiv U^2$  bo'lganligi sababli mazkur usulda ishga tushirilayotgan motorning aylantiruvchi momenti uch marta kamayadi. Demak, bu usuldan motorni faqat salt ishlatish yoki dalga qo'yilgan yuklanish kichik bo'lganda foydalanish mumkin.

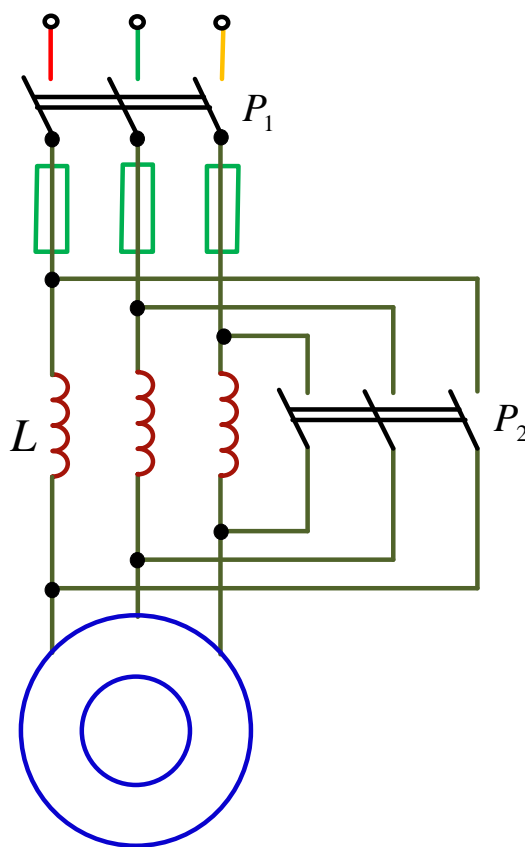
Ishga tushirish tokini kamaytirish maqsadida motorning stator chulg'amlariga beriladigan kuchlanish qiymatini avtotransformator hamda aktiv yoki induktiv qarshilik bilan ham pasaytirish mumkin.

Avtotransformator yordamida ishga tushirish usulida (5.30-rasm) rubil`nik 2 uzib qo`yilgan holatda rubil`nik 3, so`ngra rubil`nik 1 ulanadi va stator chulg`amiga pasaytirilgan kuchlanish beriladi. Motor rotori berilgan kuchlanishga mos tezlik bilan aylana boshlagandan keyin avtotransformator yordamida kuchlanish ortiriladi. Rotor aylanish tezligi nominalga etganda rubil`nik 3 ajralib, rubil`nik 2 ulanadi va stator chulg`amlariga bevosita tarmoq kuchlanishi beriladi.

Motorni ishga tushirish vaqtida pasaytirilgan kuchlanish berish uchun stator chulg`amiga ketma-ket qilib aktiv yoki induktiv qarshiliklarni ulash 5.31 va 5.32-rasmlarda ko`rsatilgan. Ishga tushirish vaqtida rubil`nik 2 uzib qo`yilgan holatda rubil`nik 1 ulanadi. Tok elektr tarmog`idan stator chulg`amlariga aktiv yoki induktiv qarshiliklar orqali o`tib, ularda kuchlanishlarning pasayuvi sodir bo`ladi. Natijada stator chulg`amlariga pasaytirilgan kuchlanish beriladi. Rotorning aylanish tezligi ortib ishga tushirish toki kamayganda rubil`nik 2 ulanadi va stator chulg`amlari elektr tarmog`ining nominal kuchlanishi ta`sirida bo`ladi.



5.31-rasm.

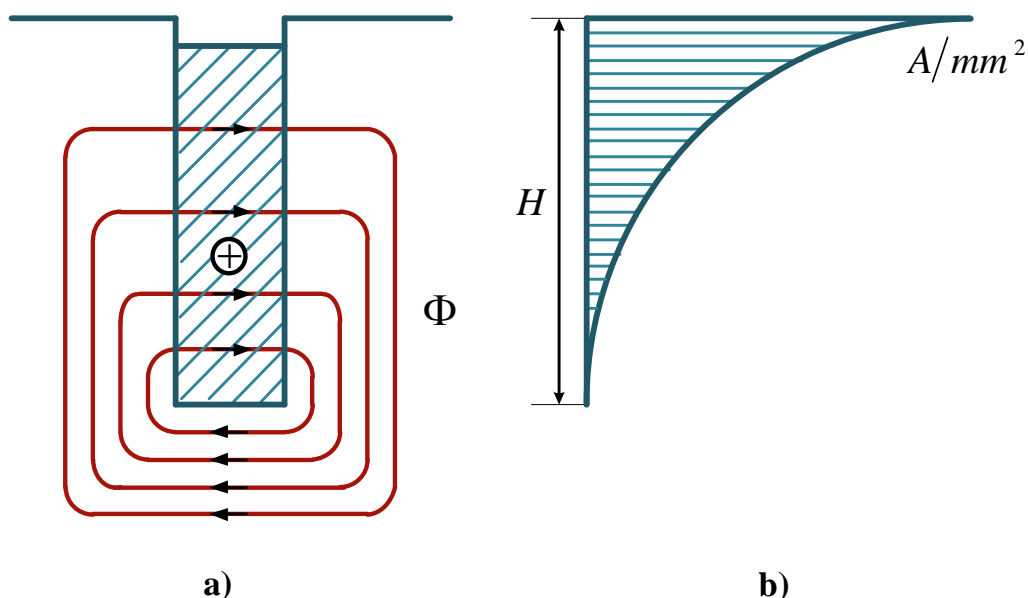


5.32-rasm.

### Chuqur pazli va qo'sh chulg'amli asinxron motorlarni ishga tushirish

Asinxron motorlar rotorining konstruksiyasini o'zgarib, masalan, chuqur pazli va qo'sh chulg'amli qilib ularning ishga tushirish tokini kamaytirish va ishga tushirish momentini oshirish mumkin.

Chuqur pazli motor rotoridagi pazning balandligi eniga nisbatan bir necha marta kattadir (5.33- a rasm). Rotorning pazlariga miss chulg'amlar (sterjenlar) joylashtirilib, ikkala tomonidan mis halqalarga kavsharlab biriktirilgan bo'ladi.



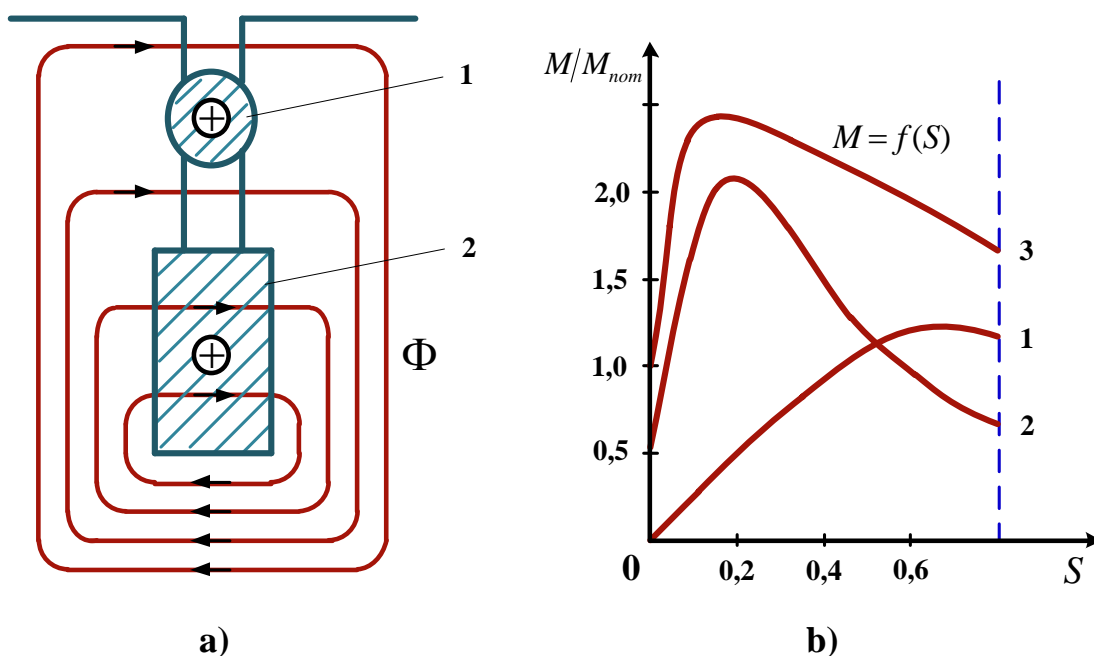
5.33-rasm.

Motorni ishga tushirish paytida ( $S=1$ ) rotor tokining chastotasi eng katta bo'lganda chulg'am qismining induktiv qarshiligi yuqori qismining induktiv qarshiligidan ancha katta bo'ladi. Bunga rotor toki hosil qilgan magnet oqimining kuch chiziqlari chulg'amining rotor yuzasiga yaqin qismiga nisbatan pastki qisminiko'proq kesib o'tishi sabab bo'ladi. Natijada rotor tokining taqsimlanishi 5.33- b rasmda ko'rsatilgandek bo'ladi. Bundan ko'rinadiki, rotor tokining ko'r qismi, asosan chulg'amining yuqori qismi orqali o'tadi, bu qismining ko'ndalang kesimi nisbatan kichik bo'lgani tufayli rotor chulg'ami aktiv qarshiligining ortishiga olib keladi. Rotor chulg'ami aktiv qarshiligining ortishi ishga tushirish tokining kamayishiga va ishga tushirish momentining ortishiga olib keladi.



Rotor aylanish tezligining ortishi bilan rotor toki chastotasining kamayishi chulg'am pastki qismi induktiv qarshiligining ham kamayishiga olib keladi. Motor nominal rejimda ishlaganida rotor chulg'amidagi tokning taqsimlanishi bir tekis bo'lib, rotor chulg'ami aktiv qarshiligining kamayishiga erishiladi.

Qo'sh chulg'amli asinxron motorning rotorida qicqa tutashtirilgan ikkita chulg'am bo'ladi (5.34 a -rasm). Chulg'amlardan biri rotorning tashqi yuzasiga yaqin joylashgan bo'lib, ko'ndalang kesimi kichik, aktiv qarshiligi esa katta jez yoki bronza sterjenlardan (5.34- a rasmdagi 1), ikkinchisi undan chuqurroqda ko'ndalang kesimi katta aktiv qarshiligi kamroq bo'lgan mis sterjenlardan (5.34- a rasmdagi 2) iborat bo'ladi.



5.34-rasm.

Tashqi chulg'am 1 ni kamroq magnet kuch chiziqlari kesib o'tganligi uchun uning induktiv qarshiligiga ancha kichik ichki chulg'am 2 ni ko'proq magnet kuch chiziqlari kesib o'tganligi uchun uning induktiv qarshiligi katta bo'ladi.

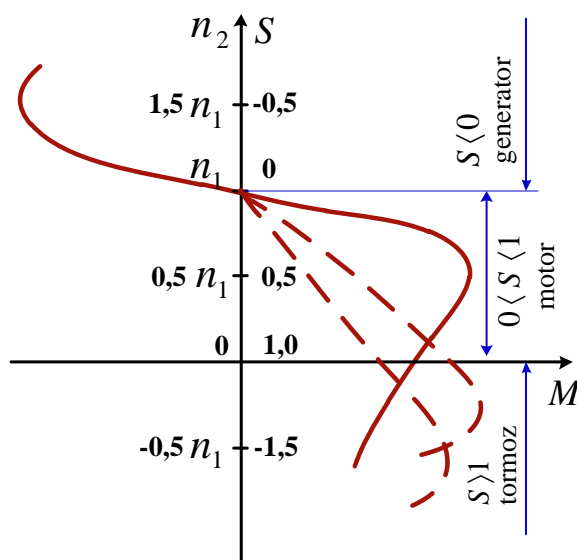
Motorni ishga tushirish paytida ( $S=1$ ) rotor tokining chastotasi tenglashadi, rotor chulg'amining induktiv qarshiligi esa eng katta qiymatga erishadi. Tashqi chulg'amlarning induktiv qarshiligi kichik aktiv qarshiligi katta bo'lganligi uchun u asosiy ishga tushirish momenti hosil qiladi. Shuning uchun *ishga tushirish chulg'ami* deyiladi. Bunda tashqi chulg'am orqali kam tok o'tadi, lekin uning

aktiv tashkil etuvchisi katta bo'lib, ishga tushirish momentining katta bo'lishiga sabab bo'ladi. Aylanish tezligi orta borishi bilan rotor tokining chastotasi kamayadi. Natijada rotor chulg'amining induktiv qarshiligi ham tegishlicha kamayadi. Nominal rejimda tokning aksariyat qismi aktiv qarshilik kam bo'lgan ichki chulg'am orqali o'tadi. Ushbu chulg'am *ish chulg'ami* deb ataladi.

Qo'sh chulg'amli motorlarda aylantiruvchi moment  $M$  ishga tushirish va ish chulg'amlarida hosil bo'lgan  $M_{i,t}$  va  $M_{ish}$  momentlar yig'indisidan iborat. 5.34- b rasmda qo'sh chulg'amli motorning ishga tushirish paytidagi (1), ish paytida (2) va ikkala chulg'am hosil qilgan  $M = f(S)$  bog'lanishlari (3) ko'rsatilgan.

Qo'sh chulg'amli motorlarda ishga tushirish momentining katta qiymati ta'minlanishi bilan birga ishga tushirish paytida rotor chulg'ami qarshiliklarining ortishi hisobiga ishga tushirish tokining kamroq bo'lishiga erishiladi.

## 5.12. Asinxron mashinalarning generator va elektromagnit tormoz rejimlari



5.35-rasm.

Asinxron mashinalar faqat motor rejimida emas, balki generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ham ishlashi mumkin (5.35-rasm). Ana shu rejimlar asinxron mashinaning mexanik xarakteristikasida ko'rsatiladi.

Asinxron mashinaning elektromagnit tormoz rejimi motorning rotorini tez to'xtatish zarur bo'lgan hollarda qo'llaniladi. Agar ishlayotgan asinxron motorning aylanuvchan magnit maydoni yo'nalishi maxsus ulash yo'li

bilan o'zgartirilsa, motorning aylanuvchan qismlari bilan ijrochi mexanizmning energiya kuchlari rotorning avvalgi yo'nalishda aylanishini davom ettiradi. Bunda aylantiruvchi moment, mashinaning aynan motor rejimidagi kabi aylanuvchan magnit maydoni yo'nalishida bo'lib, rotorning aylanishiga teskari ta'sir qiladi.

Natijada rotor tormozlanib mashina elektromagnit tormoz rejimida ishlaydi, sirpanish esa  $S > 1$ , bo'ladi (5.36- a rasm). Masalan, lift, eskalator, ko'tarma kran va boshqalarda yuklarni tushirishda yukdan hosil bo'lgan moment  $G$  motorning rotorini aylanuvchan magnit maydoni yo'nalishiga teskari yo'nalishda aylanishga majbur qiladi.

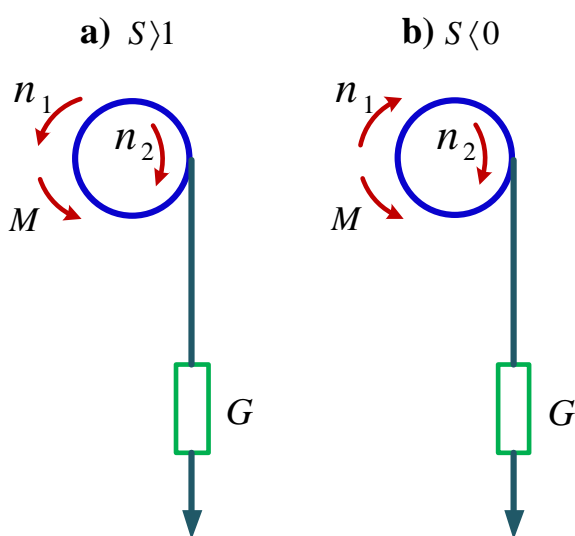
Elektromagnit tormoz rejimida faza rotorli asinxron motorlarning rotor zanjiriga qo'shimcha aktiv qarshilik ulash yo'li bilan, 5.35-rasmda shtrix chiziqalarda ko'rsatilgan mexanik xarakteristikalaridan birortasini olish mumkin. 5.35-rasmdan ko'rinadiki, xarakteristikaning  $S > 1$  qismida maksimal moment va shuning bilan birga barqaror elektromagnit tormoz ta'minlanadi.

Elektromagnit tormozlashning asosiy afzalligi – kichik tezliklarda, hatto  $n_2 = 0$  da ham katta tormozlovchi moment hosil qilishidir.

Agar ishlayotgan asinxron motor birlamchi motor yordamida stator magnit maydonining aylanish tezligidan katta tezlik bilan aylantirilsa sirpanish manfiy bo'ladi, ya'ni

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} < 0.$$

Bunday stator chulg'amida hosil qilingan EYuK va tokning yo'nalishi teskari tomonga o'zgaradi. Natijada rotorning aylantiruvchi momenti ham o'z yo'nalishini o'zgartiradi va aylantiruvchi moment holda (motor rejimida) teskari



5.36-rasm.

ta'sir etuvchi momentga (birlamchi motorning aylantiruvchi momentiga nisbatan) aylanib qoladi. Bunday holda asinxron mashina motor rejimidan generator rejimiga o'tib, birlamchi motorning mexanik energiyasini elektr energiyaga aylantiradi (5.36- b rasm).

Asinxron mashina generator rejimida aylanuvchan magnit maydonini hosil qilish uchun elektr tarmog'idan

zaruriy reaktiv energiyani oladi, lekin tarmoqqa birlamchi motorni mexanik energiyasining o'zgarishi natijasida, olingan aktiv energiyani iste'molchiga beradi. Shunga e'tibor berish kerakki asinxron generatorlarda faqat sinxron generatorlar bilan birgalikdagina ishlashi mumkin, bunda sinxron generatorlar reaktiv energiya manbai vazifasini o'taydi.

Asinxron generator alohida ham ishlashi mumkin. Lekin bu holda generatorni magnitlashga zaruriy reaktiv quvvatni olish uchun unga parallel qilib ulangan kondensatorlar batareyasidan foydalaniladi.

Asinxron generatorlarning sinxron generatorlarga qaraganda ayrim kamchiliklari bor: tarmoqdan ko'proq reaktiv quvvat olishi; alohida sharoitda o'z-o'zidan uyg'onish uchun maxsus kondensatorlar batareyasi bo'lishini talab etishi. Shuning uchun ularning qo'llanishi cheklangandir.

### **5.13. Asinxron motorning aylanish tezligini rostdash va aylanish yo'nalishini o'zgartirish (reverslash)**

Asinxron motorning aylanishlar tezligi  $n_2 = \frac{60f_1}{p}(1 - S)$  bo'lgani uchun uning tezligini stator tokining chastotasi  $f_1$ , juft qutblar soni  $r$  yoki sirpanish  $S$  ni o'zgartirish bilan rostdash mumkin.

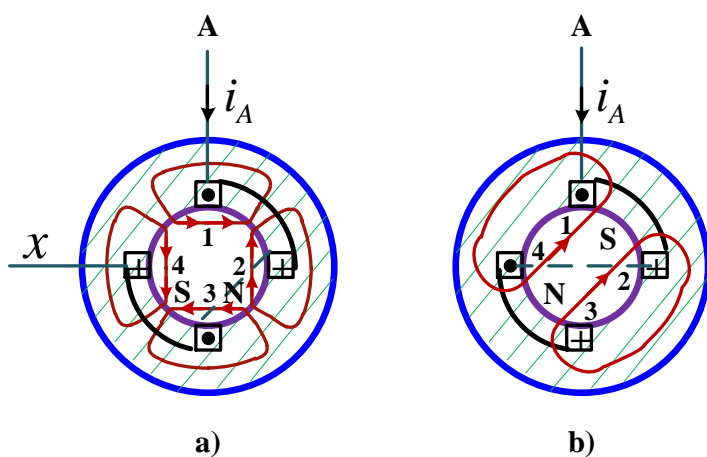
Stator tokining chastotasini o'zgarish bilan tezlikni rostdash stator aylanuvchi magnit maydonining aylanish tezligini o'zgartirishga asoslangan. Bu usul motor tezligini bir tekis va keng doirada rostdash imkonini beradi, ammo bunda maxsus chastota o'zgartirgich bo'lishi kerak. Natijada bunday qurilma murakkablashadi va motorning foydali ish ko'ffisientini kamaytiradi. Amalda bunday usul elektr tarmog'iga ulangan bir nechta asinxron motorlarning tezliklarini rostdashda qo'llaniladi. Chastota o'zgartirgichlardan eng istiqbollisi tiristorli chastota o'zgartirgichdir. Bu usul bilan aylanishlar soni katta bo'lgan asinxron motorlarning tezligi boshqariladi.

Stator chulg'amining juft qutblar tokini o'zgartirish bilan motorning tezligini rostdash usuli asosan qisqa tutashtirilgan rotorli motorlarda qo'llaniladi. Bunga

sabab shuki, qisqa tutashtirilgan rotorda qutblar soni doimo stator chulg`amining qutblar soniga teng bo`ladi. Shu sababli, motorning aylanishlar tezligini o`zgartirish uchun statorning chulg`amlari sonini o`zgartirib ulashning o`zi etarlidir. Faza rotorli motorlarda esa stator chulg`amining ulanish tartibini o`zgartirib ulashdan tashqari, rotor chulg`amini ham tegishli o`zgartirish zarur bo`ladi. Stator chulg`amining juft qutblar sonini o`zgartirish bilan stator aylanuvchi magnet maydonini tezligi o`zgaradi. Demak, rotorning aylanishlar tezligini o`zgartirishga erishiladi. Motorning aylanishlar tezligini bunday usulda boshqarishda uning statori qutblar soni turlicha bo`lgan bir necha yoki qutblar soni o`zgartirilishi mumkin bo`lgan maxsus qo`shimcha chulg`am o`rnatiladi.

5.37-rasmda har bir fazasi ikkita g`altakdan iborat bo`lgan stator chulg`amining ulanish sxemasini ketma-ket ulashdan (5.37- a rasm) paralel ulashga o`tkazib (5.37- b rasm), juft qutblar sonini o`zgartirish ko`rsatilgan.

Bunda faza g`altaklari ketma-ket ulashdan parallel ulashga o`tkazilganda juft qutblar soni  $r=2$  dan  $r=1$  ga kamayadi. Bunda sinxron tezlik 1500 dan 3000 ayl/min gacha o`zgaradi. Demak, motor ham bir-`iridan ikki marta farq qiluvchi ikkita tezlikka ega bo`ladi. Bunday motorlar *ikki tezlikli motorlar* deb ataladi. Sanoatda ikki tezlikli asinxron motorlar quyidagi sinxron tezliklarda ishlab chiqariladi: 300/150; 1500/750; 1000/500 ayl/min va h.k.



**5.37-rasm.**

Uch tezlikli va to`rt tezlikli motorlarning statorida ikkitadan mustaqil chulg`amlar bo`lib, ularning birinchisida ikkita tezlik hosil qilinsa, ikkinchisida bitta (uch tezlikli motorda) yoki ikkita (to`rt tezlikli motorda) tezlik hosil qilinadi. Bunday motorlar quyidagi sinxron tnzliklarga ega

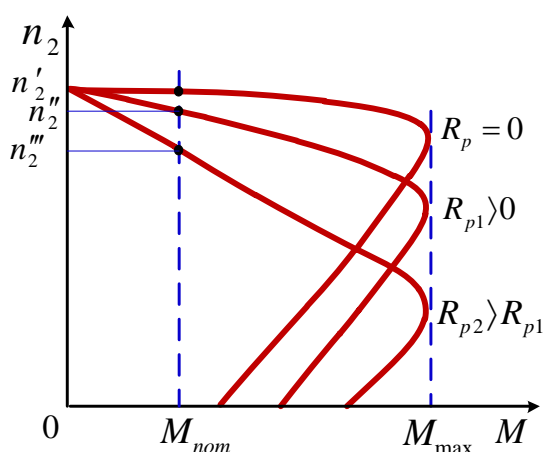
bo`lishi mumkin: uch tezlikli -1500/1000/750, 1000/750/500 ayl/min; to`rt tezlikli-3000/1500/1000/500, 1500/1000/750/500 ayl/min.

Shunday qilib, bir necha tezliklarda ishlashga mo'ljallangan asinxron motorlar ko'p tezlikli motorlar deb ataladi.

Juft qutblar sonini o'zgartirishda tezlik ravon emas, balki pog'onali tarzda boshqarilsa ham turli tezliklarda mexanik xarakteristikaning qattiqligi va rostlashda tejamliligi yuqori bo'lgani uchun bu usul metall kesish dastgohlarida, nasos, elevator, ventilyator va lift qurilmalarida keng qo'llaniladi.

Sirpanishni o'zgartirish orqali motor tezligini boshqarish usuli faqat faza rotorli asinxron motorlarda ishlatiladi. Bunda rotor zanjiriga uch fazali reostat ulanadi. Bunday reostat ishga tushirish reostatlaridan farqli ravishda uzoq vaqt ishlashga mo'ljallangan bo'lib, boshqarish reostati deb ataladi. Mazkur reostatning ulanish sxemasi 5.16-rasmda ko'rsatilgan sxemadan farq qilmaydi.

Asinxron motorning rotor zanjiri aktiv qarshiligining turli qiymatlari uchun qurilgan  $n=f(M)$  mexanik xarakteristikasi (5.38-rasm) shuni ko'rsatadiki rotor zanjirining aktiv qarshiligi ortib borishi bilan sirpanishning berilgan yuklanish momentiga to'g'ri keladigan qiymati kattalashadi, ya'ni motorning aylanishlar tezligi kamayadi. Agar reostat qarshiligi nolga teng bo'lsa, motor sinxron tezlikka yaqin bo'lgan  $n_2$  aylanishlar tezligiga ega bo'ladi. Agar reostat qarshiligi noldan katta bo'lsa,  $n_2'' < n_2'$  bo'ladi va hokazo.



5.38-rasm.

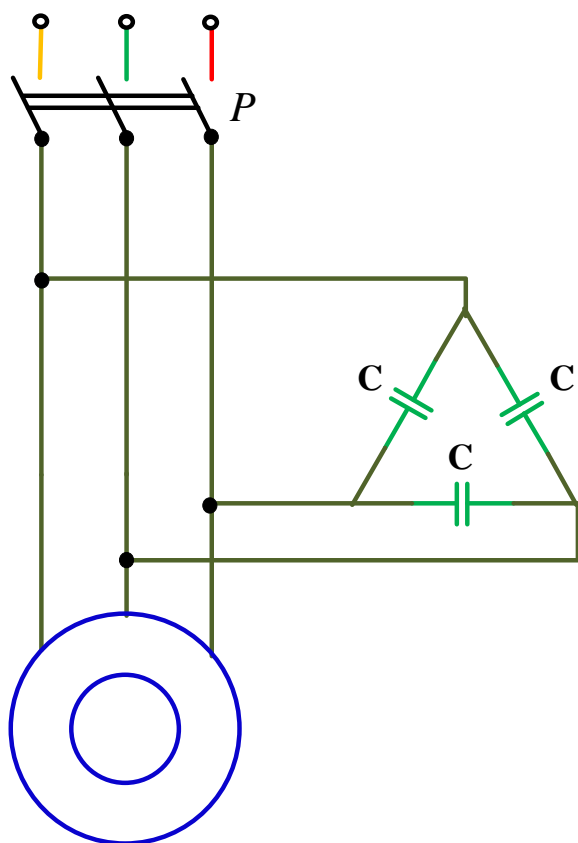
Odatda, rostlash reostatining qarshiligi pog'onali tarzda o'zgartiriladi. Binobarin, motorning aylanishlar tezligiga ham shunga mos ravishda o'zgaradi. Rostlash reostatlarining qizishga sarflanadigan quvvat isrofi ko'payishi bilan motorning foydali ish koeffisienti kamayadi. Bulardan tashqari, yuklanish momentining ozgina o'zgarishi ham motor aylanishlar tezligining ko'proq o'zgarishiga olib keladi. Lekin

bunday kamchiliklarga qaramasdan tezlikni rotor zanjiriga reostat ulash yo'li bilan boshqarish usuli faza rotorli asinxron motorlarda keng qo'llaniladi.

Asinxron motorning aylanish yo'nalishini o'zgartirish (reverslash) uchun stator magnit maydonining aylanish yo'nalishini o'zgartirish lozim. Buning uchun motordagi faza chulg'amlarining manbaga ulanadigan istalgan ikkitasining o'rnini almashtirish kifoyadir.

#### 5.14. Asinxron motorlarning quvvat koeffitsientini oshirish

Asinxron motorlarning stator chulg'ami zanjiri aktiv va induktiv qarshiliklarga ega. Elektr tarmog'iga ulangan motorning stator chulg'amiga berilgan elektr energiyasining bir qismi (aktiv quvvat) motorning rotorida mexanik energiyaga aylanadi, qolgan qismi (reaktiv quvvat) esa aylanuvchan magnit maydoni hosil qilish uchun sarf bo'ladi.



5.39-rasm.

Motorga elektr tarmog'idan berilgan to'la quvvat  $S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$  ga teng. Aktiv quvvat  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi$  ifodadan aniqlanib motor o'qiga yuklanishning o'zgarishga bog'liqdir. Bunda  $\cos \varphi$  **quvvat koeffitsienti** deb ataladi va aktiv quvvat to'la quvvatning qanday qismini tashkil etishini ko'rsatadi. Reaktiv quvvat ( $Q$ ) motor o'qidagi yuklanishning o'zgarishiga bog'liq emas.

Motorga berilgan kuchlanish o'zgarmas bo'lsa, magnit oqimi va stator chulg'amidagi tokning reaktiv tashkil etuvchisi ham o'zgarmas bo'ladi. Yuklanishning o'zgarishi bilan tokning reaktiv tashkil etuvchisi o'zgarishsiz qolib, faqat aktiv tashkil etuvchisi o'zgaradi, ya'ni yuklanishning ko'payishi bilan  $\cos \varphi$  ortadi va aksincha.

Asinxron motorlarning berilgan kuchlanishi va quvvatida quvvat koeffitsientining kamayishi bilan tarmoqdan olayotgan toki ortadi, ya'ni

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

Shunday qilib, motor quvvat koeffitsientining kamayishi elektr stansiyasidagi generatorlarning, transformator-larning nominal quvvatidan to'la foydalanishga imkon bermaydi, shuningdek uzatish liniyalarida energiya isrofining ortishiga olib keladi. Masalan, agar motorlarning to'la yuklanishdagi quvvat koeffitsienti  $0,75 \div 0,85$  bo'lsa, kichik yuklanishda  $\cos \varphi$  ni kamayib ketadi. Shuning uchun  $\cos \varphi$  ni oshirish choralari ko'rilmasa, energetik sistemaning natijaviy quvvat koeffitsienti kichik bo'ladi.

Motorlarning quvvat koeffitsienti quyidagicha oshiriladi. Motorlarni quvvatiga qarab to'g'ri tanlash kerak. Agar motor kam yuklanishda ishlasa,  $\cos \varphi$  kichik bo'ladi. Kam yuklanish bilan ishlayotgan motorlarni kichik quvvatli motorlar bilan almashtirish va iloji boricha motorlarning salt ishlash vaqtini kamaytirish lozim.

Agar motor quvvatini to'g'ri tanlash orqali quvvat koeffitsientini kerakli qiymatga oshirish imkoniyati bo'lmasa, maxsus usullardan foydalaniladi. Direktiv  $\cos \varphi$  ning qiymati  $0,9 \div 0,92$  orqali bo'ladi.  $\cos \varphi < 0,9$  bo'lganda reaktiv quvvatni kompensatsiyalash uchun maxsus kompensatsiyalash qurilmasi – statik kondensator batareyalaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Kondensatorlar motorlarga (uch afzali iste'molchilarga) parallel qilib uchburchak sxemada ulanadi (5.39-rasm). Kondensatorlarning sig'imi reaktiv quvvati motorning induktiv quvvatini qisman kompensatsiyalaydi. Natijada reaktiv quvvat kamayadi, quvvat koeffitsienti esa ortadi:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}}$$

bu yerda  $Q_C$  – kompensatsiyalovchi qurilmaning reaktiv quvvati.

### 5.15. Asinxron motorlarning turlari

Umumiy maqsadlarda ishlatiladigan asinxron motorlar sanoatda yagona seriyada ishlab chiqariladi. Binobarin, quvvati va aylanishlar soni (tezligi) bir xil



bo'lgan bitta seriyadagi motorlar qayerda ishlab chiqarilishidan qat'iy nazar, umumiy konstruktsiya va bir xil o'lchamlarga ega bo'ladi.

Uch fazali asinxron motorlarni dastlabki yagona seriyasi bo'lmish A, AO seriyalar 50-yillarda qo'llangan. Bu seriyadagi motorlarning quvvati 0,6 dan 100 kVt gacha, gabarit o'lchamlari yetti xil bo'ladi. Asinxron davigatellarning birinchi seriyasini ikkinchi yagona seriyaga (AO2, A2) almashtirish sanoatda 1961-1965 yillarda o'zlashtirildi. Ikkinchi seriya motorlarning quvvat diapazoni birinchi seriyadagidek bo'lib, stator o'zagi tashqi diametrining o'lchamlari bilan farq qiladigan, to'qqizta gabarit o'lchamiga ega. AO2 va A2 seriyadagi asinxron motorlar A va AO seriyalardan energetik va eksplutasion ko'rsatkichlarining ancha yuqoriligi bilan farq qiladi. I–V gabaritli motorlar mexanik himoyalangan va yopiq holda sovitiladigan (AO2), VI – XI gabaritli motorlar esa himoyalangan (A2) va yopiq holda sovitiladigan (AO2) motorlardan tarkib topgan.

Quvvati 100 kVt gacha bo'lgan, A2 va AO2 yagona seriyadagi asinxron motorlar quyidagicha belgilanadi:

A2 – himoyalangan, AP2, AS2 - sirpanishi oshirilgan; AL2 - alyuminiy korpusli; AK2 - faza rotorli;

AO2 - yopiq holda sovitiladigan, umumiy qo'llaniladigan; AOP2- ishga tushirish momenti oshirilgan; AOS2 - sirpanish oshirilgan: AOL2 - korpusi alyuminiydan; AOT2 - to'qimachilik sanoati uchun.

Asinxron motorning belgilanishida uning qaysi seriyaga tegishliligi, gabariti, statorining uzunlik nomeri (tartib raqami) va qutblar soni ko'rsatiladi. Masalan, AO2-51-6 quyidagilarni bildiradi: yopiq holda sovitiladigan yagona AO2 seriyadagi uch fazali asinxron motor, gabariti V, statorining uzunlik nomeri birinchi, qutblar soni oltita.

Maxsus sharoitlarda ishlash uchun mo'ljallangan motorlarni belgilashning oxirigi harf qo'shiladi. Masalan: X - ximyaviy, T - tropik, V - namga va sovuqqa chidamli, Sh - kam shovqinli.

Asinxron motorlar turli xil sinxron tezliklar (3000, 1500, 1000 va 750 ayl/min) ga hamda 127/220, 220/380 va 380/660 V nominal kuchlanishga

mo'ljallab yasaladi. Agar motor 220/380 V kuchlanishga mo'ljallangan bo'lsa, tarmoq kuchlanishi 380 V bo'lganda motorning stator chulg'amini yulduz sxemada ulash, tarmoq kuchlanishi 220 V bo'lganda esa uchburchak sxemada ulash lozim. Har ikkala holda faza kuchlanish 220 V ga tengligicha qoladi.

Hozirgi vaqtda sanoatda 4A (yopiq holda sovitiladigan) va 4AN (himoyalangan) seriyadagi uch fazali asinxron motorlar ishlab chiqarilmoqda. Bular to'rtinchi seriyaga mansub quvvati 0,12 dan 400 kVt gacha bo'lgan motorlarni o'z ichiga oladi. Bu seriyadagi motorlar quyidagi nominal kuchlanishlarga mo'ljallangan: 220/380 V- quvvat 0,37 kVt gacha; 220/380 va 380/660 V- quvvat 0,55 kVt dan 110 kVt gacha; 380/660 V - quvvati 132 kVt dan ortiq.

Yangi turdagi ushbu motorlar avvalgilarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega: (o'rtacha 18% ga) kamaytirilgan, gabarit o'lchamlari kichraytirilgan, aylanish o'qi pastroq o'rnatilgan, ishga tushirish momenti oshirilgan, shovqin va tebranish darajasi pasaytirilgan, montaj qilish qulaylashtirilgan, foydali ish koeffitsienti oshirilgan, quvvatlar shkalasi va o'lchamlari xalqaro standartlarga yaqinlashtirilgan.

4A seriyada motor turining yangicha belgilash sxemasi qabul qilingan: eski seriyadagi o'xshash stator o'zagining shartli diametrining o'lchami o'rniga valning aylanish balandligi (rotorning aylanish o'qidan tayanch yuzasiga bo'lgan masofa) kiritilgan bo'lib, u 50 mm dan 380 mm gachadir.

Sanoatda 4A seriyada aylanish o'qining balandligi 50 mm dan 350 mm gacha bo'lgan barcha motorlar, 4AN seriyada esa aylanish o'qining balandligi 160 mm dan yuqori bo'lgan motorlar ishlab chiqariladi.

4A yagona seriyadagi asinxron motorlarning xili va o'lchamlari bildiruvchi harfli va raqamli belgilar quyidagilarni anglatadi: 4- motor seriyasining nomeri; A - motorning xili (asinxron); N - motor tashqi muxit ta'sirida himoyalangan (bu harfning bo'lmasligi motor yopiq holda sovitilishini bildiradi); A yoki X- motorning stanina va qalqon qanday materialdan yasalganligini (birinchi harf stanina va qalqonning alyuminiydan yasalganligini ikkinchi harf staninaning

alyuminiydan, qalqonning esa cho'yandan yasalganligini, agar harf bo'lmasa stanina va qalqonning cho'yan yoki po'latdan yasalganligini) bildiradigan; ikkita yoki uchta raqam- motor aylanish o'qining balandligi; S,M,L - staninaning uzunligi bo'yicha o'lchami (ushbu xarflar ikkita yoki uchta raqamdan keyin turadi); A yoki V - stator o'zagining uzunligi; 2,4,6,8,10 yoki 12- qutdlarsoni, V- qanday iqlimda ishlatishga mo'ljallangan; 3- o'rnatilish kategoriyasi.

4A seriyadagi motorlarning xili va o'lchamlarini belgilashning yangi sistemasi qabul qilingan. Masalan, 4AN200M4UZ quyidagini anglatadi: uch fazali qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor, IV seriya, stanina va qalqoni cho'yandan yasalgan, aylanish o'qining balandligi 200 mm, stanina uzunligi bo'yicha o'rnatilgan o'lchami M, to'rt qutbli, iqlim sharoitiga moslab yasalgan V (mo'tadil iqlim), uchinchi kategoriya.

Sirpanishi oshirilgan motorlarda seriya belgisidan keyin qo'shimcha "C" belgisi qo'yiladi (4AS200 6UZ). Ko'p tezlikli motorlarning belgilanishida qutblar soni keltirilgan bo'ladi (4A200M12/8/6/4UZ). Faza rotorli motorlar 4A yoki 4AN, keyin "K" belgisi qo'yiladi (4ANK280M4UZ). Kam shovqinli motorning belgilanishida qutblar sonidan keyin "N" belgisi qo'yiladi (4A160M6NUZ).

## VI BOB. O'ZGARMAS TOK MASHINALARI

---

---

### Umumiy tushunchalar

O'zgarmas tok mashinalari o'zgaruvchan tok mashinalaridan oldin (dastlab o'zgarmas tok motori, so'ngra o'zgarmas tok generatori) yaratilgan. O'zgarmas tok mashinalari qaytuvchanlik xususiyatiga ega bo'lib, motor va generator rejimlarida ishlay oladi. Ularning tuzilishi ham bir xil. Generator rejimida birlamchi motorining (asosan, asinxron motorning, gohida ichki yonuv motorining) mexanik energiyasi qayta mexanik energiyaga aylantirib beriladi.

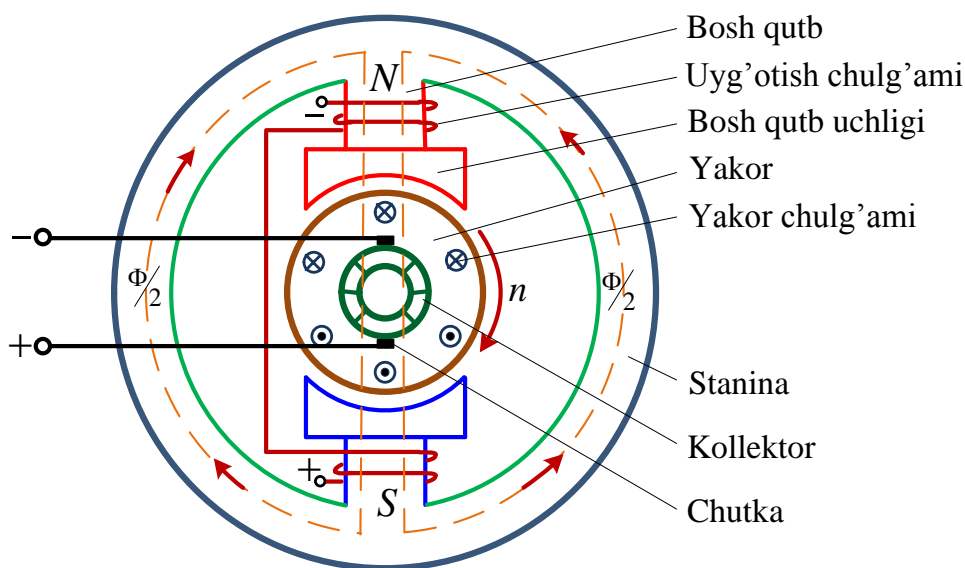
1838 yili akademik B.S.Yakobi o'zgarmas tok motorini amalda ishlatib ko'rsatdi. O'zgarmas tok texnikasi taraqqiy eta borishi bilan o'zgarmas tok mashinalarini ishlab chiqarish o'zgaruvchan tok mashinalariga nisbatan kamaya bordi. Bunga sabab o'zgarmas tok mashinalari konstruksiyasining nisbatan murakkabligi (ayniqsa kollektor va cho'ntakning mavjudligi) va qimmatligi bo'ldi. Shunga qaramasdan, o'zgarmas tokni elektr energiyasidan foydalanishning ma'lum sohalarida o'zgaruvchan tok bilan almashtirib bo'lmasligi hamda u birmuncha afzalliklarga ega bo'lgani uchun shu kunda ham ishlatilib kelinmoqda. Masalan, elektroliz qurilmalarida, akkumulyatorlarni zaryadlashda, avtomatikada, tezlikni keng doirada bir tekis boshqarish hamda katta aylanuvchan moment talab etilgan joylarda, elektr transportida va hokazolarda o'zgarmas tokdan foydalaniladi. Sanoatda o'zgarmas tok generatorlari va motorlarini ko'plab ishlab chiqarish yo'lga qo'yilgan. Shuningdek, o'zgaruvchan tokni yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar yordamida o'zgarmas tokka aylantirish ham keng qo'llanilmoqda

### 6.1. O'zgarmas tok mashinasining tuzilishi va ishlash prinsipi

O'zgarmas tok mashinasi, asosan, qo'zg'almas qism - *stanina*, qo'zg'aluvchan qism - *yakordan* iborat. Stanina yirik mashinalar uchun po'latdan, kichik mashinalar uchun cho'yandan quyib yasaladi va unga qutblarning o'zaklari o'rnatiladi (6.1-rasm).

Bosh qutblar stanining ichki sirtiga o'rnatilgan bo'lib, unga *uyg'otish chulgamlari* o'ralgan. Bosh qutb mashinaning asosiy magnet maydonini hosil qiladi. Magnet maydonning tekis tarqalishi uchun bosh qutbga uchlik o'rnatilgan.

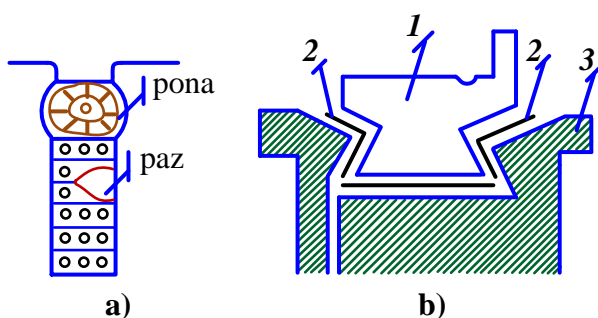
Yakor silindrsimon o'zak bo'lib, o'qqa o'rnatiladi. Yakor qalinligi 0,35-0,5 mm li elektrotexnik po'lat plastinkalar to'plamidan tayyorlanadi. Uyurma toklarga bo'ladigan quvvat isrofini kamaytirish maqsadida plastinkalar bir-biridan izolyatsiya qilinadi.



**6.1-rasm.**

Aylanuvchan yakorning chulg'amlarida o'zgaruvchan EYuK hosil qilinib, kollektor va cho'tkalar yordamida generatordan o'zgarmas tok olinadi.

Yakor chulg'ami izolyatsiyalangan mis simdan iborat bo'lib, u alohida-alohida seksiya qilinib yasalgandan so'ng yakorning o'zagidagi pazlar orasiga joylashtiriladi. Chulg'am yakorning o'zagidan yaxshilab izolyatsiya qilinadi va maxsus yog'och ponalar yordamida pazlarda mahkamlanadi (6.2- a rasm).



**6.2-rasm.**

Chulg'amning uchlari kollektor plastinkalariga biriktiriladi.

*Kollektor* silindr shaklida bo'lib, misdan yasalgan alohida-alohida plastinkalardan iborat. Uning tuzilishi.6.2- b rasmda ko'rsatilgan.

Plastinkalar bir-biridan va korpusdan mikanit manjeta vositasida izolyatsiyalanadi. Korpusdagi tutqichga o'rnatilgan cho'tkalar yordamida kollektordan tok olinadi. Cho'tkalar ko'mir, grafit, mis yoki bronzadan yasaladi.

Mashinaning yakori birlamchi motor yordamida o'zgarmas tezlik bilan aylantirilganda (generator rejimi) uning chulg'am o'ramlarini bosh magnit kuch chiziqlari kesib o'tish natijasida, elektromagnit induksiyasi qonuniga binoan, EYuK induksiyalanadi, ya'ni

$$E=s.p.F, \quad (6.1)$$

bu yerda  $s$ -o'zgarmas koeffitsient;  $p$ -yakorning aylanish tezligi, ayl/min;  $F$ -bosh qutblarning magnit oqimi. *Vb*.

Induksiyalangan EYuK ning yo'nalishi «o'ng qo'l» qoidasiga ko'ra aniqlash mumkin. Yakorda EYuK induksiyalanish hodisasi o'zgarmas tok mashinasining motor rejimida ham sodir bo'ladi. Biroq bunda generatorda induksiyalangan EYuK tokni generatorga ulangan tashqi zanjirda hosil qilinadi. Motorda esa bu EYuK unga berilgan kuchlanishga teskari yo'naltirilgandir.

## 6.2. O'zgarmas tok hosil qilishda kollektorning ahamiyati

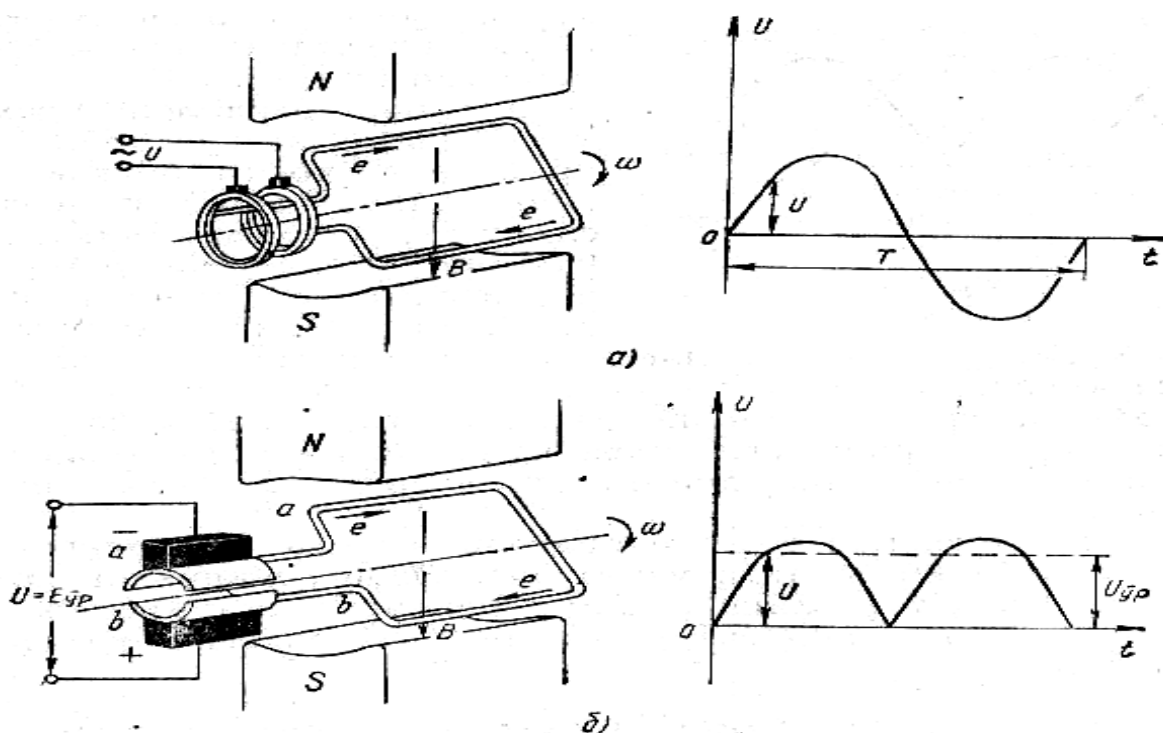
O'zgarmas tok hosil bo'lish jarayonini tushunish uchun avval 6.3-rasm, *a* ga, so'ngra 6.3-rasm, *b* ga murojaat qilaylik. 6.3-rasm, *a* da ramka shaklidagi o'tkazgich magnit maydonida aylanganda unda qanday elektr hodisalari ro'y berishini ko'rib chiqaylik. Ramkaning *a* va *b* o'tkazgichlari (ya'ni sterjenlar) ikkita halqaga birlashtirilgan bo'lib, *a* o'tkazgich *N* qutbning, *b* o'tkazgich *S* qutbning ta'sirida turibdi. Ramkaning aylanishi mobaynida *a* o'tkazgich *S* qutbning, *b* o'tkazgich esa *N* qutbning ta'siriga o'tadi. Demak, o'tkazgich qaysi qutb ta'sirida bo'lsa, u birlashtirilgan ramka va cho'tka ham shu qutb ta'sirida bo'lar ekan. Ramkadan ko'rinib turibdiki, ramka aylanganda unda hosil bo'lgan EYuK sinusoidal o'zgaruvchandir. Xar bir ramka o'z halqasi bilan elektr bog'langanligi uchun undagi potentsiallar ayirmasi, ya'ni kuchlanish ham sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi. Bu kuchlanishning o'zgarishi 6.3-rasm, *a* ning o'ng tomonida ko'rsatilgan. Shuning uchun bunday holda tashqi zanjirdan o'zgaruvchan tok

o'tadi. Demak, bunday sxema bo'yicha ishlaydigan mashina o'zgaruvchan tok generatoridir.

Endi yuqoridagi sxemani biroz o'zgartirib ramkaning boshlanish va oxirini bir-biridan izolyatsiya qilingan ikkita yarim halqaga ulaymiz (6.3-rasm, *b*) va mashinaning cho'tkalarida potentsiallar ayirmasining o'zgarishini kuzatamiz.

Ramkaning yarim aylanishi davomida har bir o'tkazgichida EYuK, shuningdek teng ta'sir etuvchi EYuK ham noldan maksimal qiymatgacha ortadi va yana nolgacha kamayadi.

Birinchi yarim aylanish davomida qo'zg'almas 1-cho'tka ostida  $N$  qutb ta'siridagi  $a$  o'tkazgich biriktirilgan yarim halqa (ya'ni yakor) sirpansa, 2-cho'tka ostida  $S$  qutb ta'siridagi  $b$  o'tkazgich biriktirilgan yarim halqa sirpanadi. Ikkinchi yarim aylanish davomida esa  $a$  o'tkazgich  $N$  qutbning ta'siridan chiqib,  $S$  qutbning ta'siriga kira boshlaydi,  $b$  o'tkazgich esa  $S$  qutbning ta'siridan chiqib,  $N$  qutbning ta'siriga kira boshlaydi.

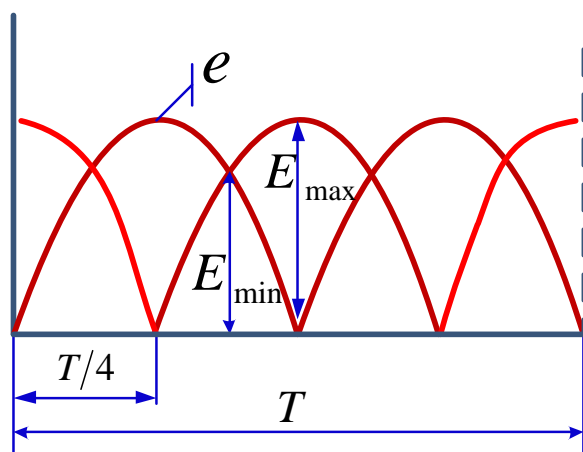


10.3-rasm.

Demak, 1-cho'tka ostida doimo  $N$  qutbning, 2-cho'tka ostida esa  $S$  qutbning ta'siridagi potentsiallar bo'lar ekan. Shunga ko'ra, EYuK ning yo'nalishi hamda tashqi zanjirdagi kuchlanishning yo'nalishi o'zgar olmaydi. Bunday kuchlanishning

o'zgarish xarakteri 6.3-rasm,  $b$  ning o'ng tomonida ko'rsatilgan. Bunda tashqi zanjirdagi tokning yo'nalishi o'zgarmas bo'ladi. Ammo u qiymat jihatdan pulslanuvchidir. Agar yarim halqalar va ramkalar sonini (ya'ni mashinaning kollektor plastinkalari va yakor chulg'amidagi o'ramlar sonini) ikki baravar ko'paytirsak, yakorning halqasi bo'ylab bir-biridan  $90^0$  ga surilgan, ketma-ket ulangan ikkita o'ram (yoki ramka) hosil bo'ladi. Bunday surilish natijasida o'ramlar hosil bo'lgan EYuK ham faza jihatdan chorak davrga surilgan bo'ladi.

Har bir parallel o'ramdagi teng ta'sir etuvchi EYuK ayrim o'ramlarda hosil bo'lgan EYuK oniy qiymatlarining yig'indisiga teng. Bunday kuchlanishning o'zgarish xarakteri 6.4-rasmda ko'rsatilgan.



6.4-rasm.

Egri chiziqdan ko'rinadiki, mashinaning chulg'amidagi o'ramlar soni va kollektor plastinkalarining soni ortganda kuchlanishning pulslanishi qisman kamayar ekan. Demak, chulg'amning o'ramlar sonini va kollektor plastinkalarining sonini ko'paytirish yo'li bilan kuchlanishning pulslanishini kamaytirish va uning

doimiy xarakterga ega bo'lishini ta'minlash mumkin. Demak, o'zgarmas tok generatori aslida o'zgaruvchan tok mashinasi bo'lib, undagi o'zgaruvchan EYuK keyinchalik kollektor yordamida to'g'rilanib, tashqi zanjirga o'zgarmas tok berilar ekan. Bunda kollektor mexanik to'g'rilagich vazifasini bajaradi.

### 6.3. O'zgarmas tok mashinasining chulg'amlari

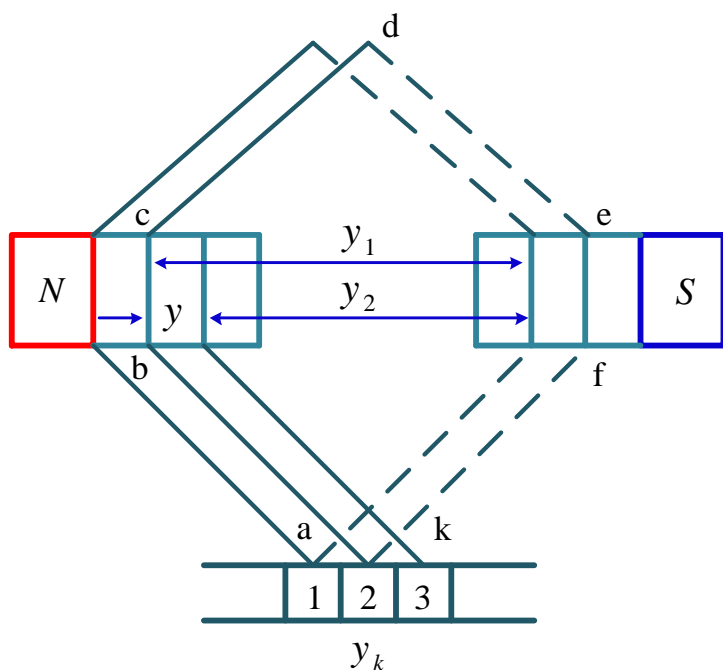
Dastlabki o'zgarmas tok mashinalarining yakori halqa shaklida bo'lib, unga halqasimon chulg'am joylashtirilgan edi. Halqasimon yakorlar bir qancha kamchiliklarga ega bo'lgani uchun (chulg'amni tashkil qilgan o'tkazgich uzunligining yarmidan ko'pi EYuK hosil qilishmay, yakor tashqarisidagi simlarning o'zaro ulanishi uchun xizmat qiladi) keyinchalik baraban turidagi



yakorlar bilan almashtirildi. Baraban turidagi yakorlarda chulg`amni andazalar yordamida tayyorlab, ochiq pazlarga joylashtirish mumkin. Chulg`am bir qancha o`tkazgichlardan iborat bo`lib, ular birlashtirilganda yopiq zanjir hosil bo`ladi va ularda hosil bo`ladigan EYuK lar qo`shiladi.

Ulanishiga qarab sirtmoqli yoki parallel, to`lqinsimon yoki ketma-ket chulg`amlar bo`ladi.

Sirtmoqli chulg`amda (6.5-rasm) shimoliy N qutb ostida bo`lgan birinchi o`tkazgichning oxiri janubiy S qutb ostida bo`lgan ikkinchi o`tkazgichning oxiriga ulanadi. Ikkinchi o`tkazgichning boshi (janubiy qutb ostida bo`lgan) shimoliy qutb ostida bo`lgan uchinchi o`tkazgichning boshiga ulanadi. Shu tartibda ulangan



**6.5-rasm.**

joylashtirilgandir. Seksiyaning aktiv tomonlari yakorning chekkasida o`zaro birikadi. Seksiya bitta yoki bir nechta o`ramlardan iborat bo`lishi mumkin. Demak, chulg`am bir yoki ikki qavatli bo`lishi mumkin. Asosan, ikki qavatli chulg`am ishlatiladi.

Seksiyaning aktiv tomoni bitta o`tkazgichdan iborat bo`lsa, bunday chulg`am sterjenli chulg`am deyiladi. Agar seksiyaning aktiv tomoni bir necha o`tkazgichdan iborat bo`lsa, bunday chulg`am g`altakli chulg`am deyiladi.

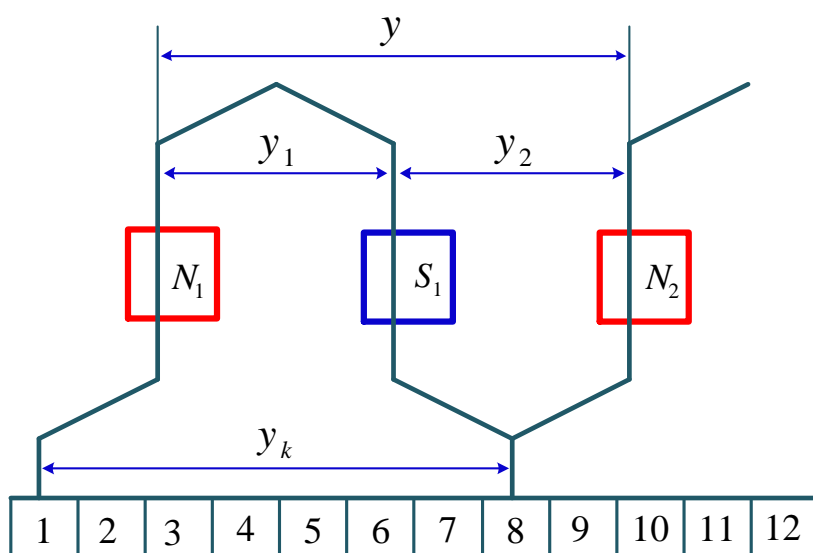
barcha o`tkazgichlar sirtmoq hosil qilib, joylashtiriladi.

Yakor chulg`amining asosiy elementi seksiyadir. Seksiya-chulg`amining sxemasi "abcdefk" bo`ylab bir-biri bilan ketma-ket keluvchi ikkita kollektor plastinkalari orasidagi chulg`amning bir qismidir. Har bir seksiyaning ikkita aktiv tomoni bor bo`lib, yakor pazlarining ichiga

Chulg'am seksiyasi chulg'am odimi bilan xarakterlanadi. Chulg'amning birinchi odimi "y<sub>1</sub>"elementar pazlar soni bilan ifodalangan bo'lib, o'sha seksiyaning birinchi va ikkinchi aktiv tomonlari o'rtasidagi oraliq masofani ifodalaydi. Chulg'amning ikkinchi odimi "y<sub>2</sub>"elementar pazlar soni bilan ifodalangan bo'lib, ikkinchi aktiv seksiya bilan birinchi aktiv seksiyadan keyin chulg'am sxemasi bo'ylab ketgan seksiya o'rtasidagi oraliq masofadir. Yakunlovchi odim "y"elementar pazlar soni bilan o'lchanib, chulg'am sxemasi bo'ylab ketma-ket keladigan ikki seksiyaning aktiv tomonlari o'rtasidagi oraliq masofadir.

$$y=y_1+y_2.$$

To'lqinsimon chulg'amda N<sub>1</sub> shimoliy qutb ostida bo'lgan birinchi o'tkazgichning oxiri janubiy qutb S<sub>1</sub> ostida bo'lgan ikkinchi o'tkazgichning oxiri



**6.6-rasm.**

aylanasi bo'ylab to'lqin shaklida joylashadi. To'lqinsimon chulg'amda yakunlovchi odim  $y=y_1+y_2$  ga teng.

Kollektorning bo'ylama odimi kollektor plastinkalari orasidagi masofani ko'rsatib,  $y_k$  bilan belgilanadi. Umuman,  $y_k=y$  bo'ladi.

bilan birlashtiriladi (6.6-rasm). Janubiy qutb S<sub>1</sub> ostida bo'lgan ikkinchi o'tkazgichning boshi shimoliy qutb ostida bo'lgan uchinchi o'tkazgichning boshi bilan birlashtiriladi va hokazo. Shunday usulda birlashtirilgan barcha o'tkazgichlar yakor

#### 6.4. Yakorda induksiyalangan E.Yu.K.

O'zgarmas tok mashinasining yakori aylanganida uning chulg'am o'ramlari qutblarning magnit kuch chiziqlarini kesib o'tishi natijasida elektromagnit induksiyasi qonuniga ko'ra unda EYuK induksiyalanadi. Yakor chulg'amida induksiyalangan EYuK formulasini chiqarish uchun 6.1-rasmga murojat qilaylik. Rasmda ikkita qutbli mashinaning magnit sistemasi ko'rsatilgan.

Agar bir qutbning magnit oqimini  $F$ , qutblar juftining sonini  $r$ , yakorning diametrini  $d$  va uzunligini  $l$  deb belgilasak, u holda yakor yuzasiga to'g'ri kelgan o'rtacha magnit induksiya

$$B_{o'r} = \frac{F_p}{\pi \cdot d \cdot l}$$

Yakor  $n$  [ayl/min] tezlik bilan aylanayotganda yakor chulg'amining har bir sterjenida induksiyalangan EYuK ning o'rtacha qiymati:

$$E_{o'r} = V_{o'r} l v = \frac{F_p}{\pi d l} \cdot l \cdot \frac{\pi d n}{60} = p f \frac{n}{60}$$

Generatorning elektor yurituvchi kuchi yakor chulg'amining bitta parallel tarmog'idagi teng ta'sir etuvchi EYuK ga teng.

Agar yakor chulg'amidagi umumiy sterjenlar sonini  $N$  deb, parallel tarmoqlar sonini  $a$  orqali belgilasak, yakorda induksiyalangan EYuK:

$$E = E_{o'r} \frac{N}{a} = \frac{N}{a} \cdot p \Phi \frac{n}{60} = \frac{PN}{60a} \cdot \Phi = c \cdot n \cdot \Phi$$

yoki

$$E = c \cdot n \cdot \Phi,$$

bu yerda:  $c$  - o'zgarmas koeffitsient bo'lib, mashinaning konstruksiyasiga bog'liq kattaliklarni o'z ichiga oladi.

Demak,  $p$ ,  $N$ ,  $a$  larning qiymati o'zgarmasdir.  $F$  ning qiymatini esa uyg'otish chulg'amidagi tokni boshqarish yo'li bilan o'zgartirish mumkin oqim bilan yakorning aylanish tezligiga proporsionaldir.

## 6.5. Tormozlovchi va aylantiruvchi momentlar

O'zgarmas tok mashinasidagi generatorning tormozlovchi momenti va motorning aylantiruvchi momenti Amper qonuniga asosan juda qulay topiladi.

Yakor chulg'ami parallel tarmoqdan tashkil topganligi uchun yakor toki ular orasida bo'linadi. Demak, yakorning har bir o'tkazgichidan  $I = \frac{I_{ya}}{2a}$  tok o'tadi.

O'tkazgichdagi tok bilan magnit maydonning o'zaro ta'siridan elektromagnit kuch hosil bo'ladi:

$$F = BIl = V \frac{I_{ya} l}{2a}$$

Bu kuch magnit induksiyasi  $V$  ga nisbatan o'tkazgichning qutb ostidagi holatiga qarab o'zgaradi.

Agar biz bitta qutb induksiyaning o'rtacha qiymatini olsak:

$$F_{o'r.} = B_{o'r.} L \frac{I_{ya}}{a}$$

Bu kuchga to'g'ri keladigan moment:

$$M_{o'r.} = F_{o'r.} D,$$

bu yerda  $D$  - yakorning diametri.

Yakorning butun  $N$  simlarida hosil bo'lgan moment, albatta, katta bo'ladi:

$$M = M_{o'r.} N = B_{o'r.} l D \frac{I_{ya}}{2a} N.$$

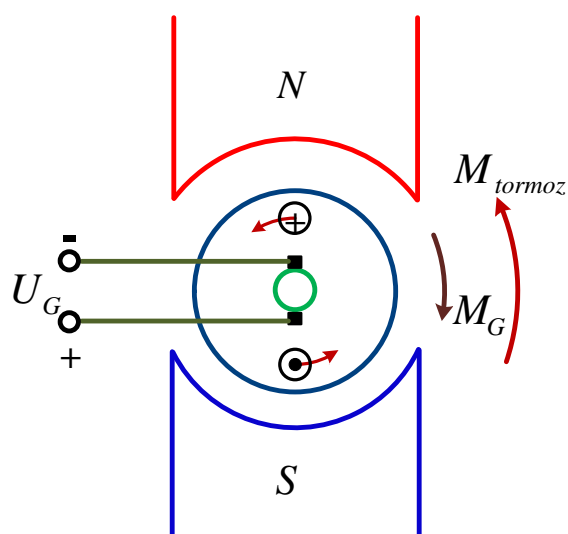
Yakor bitta qutbning magnit oqimi kesib o'tayotgan yuza  $S = \frac{\pi D l}{2a}$  ga tengdir. Shu yuzaning o'rtacha induksiyasiga ko'paytmasi bir qutbning magnit oqimini beradi:

$$\Phi = B_{o'r.} \frac{\pi D l}{2p}; \quad B_{o'r.} l D = \frac{2\Phi p}{\pi}.$$

Bu qiymatni moment formulasiga qo'ysak:

$$M = \frac{2\Phi p}{\pi} \frac{I_{ya}}{2a} N = \frac{I}{\pi} \cdot \frac{p}{2a} N \Phi I_{ya}.$$

U holda



6.7-rasm.

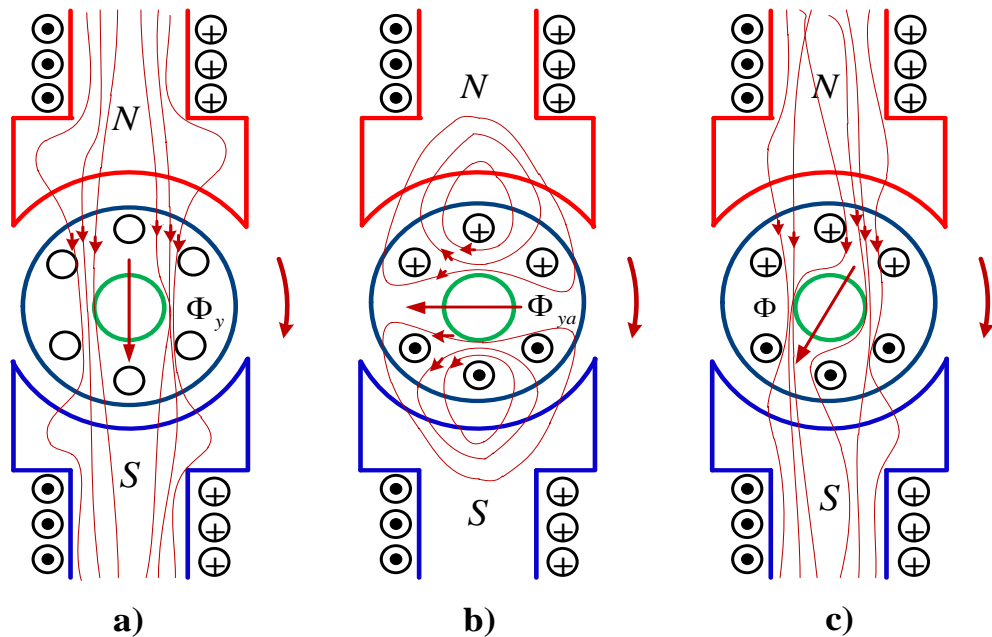
$$M = k_m \cdot \Phi \cdot I_{ya}$$

bu yerda  $R_M$ , berilgan mashina uchun o'zgarmas qiymat.

Bu moment generatorda tormozlash vazifasini bajarsa, motorda aylantirish vazifasini bajaradi (6.7-rasm). Generatorning yakorini aylantiradigan birlamchi motor ana shu tormozlovchi momentni yengishi kerak.

### 6.6. Yakor reaksiyasi

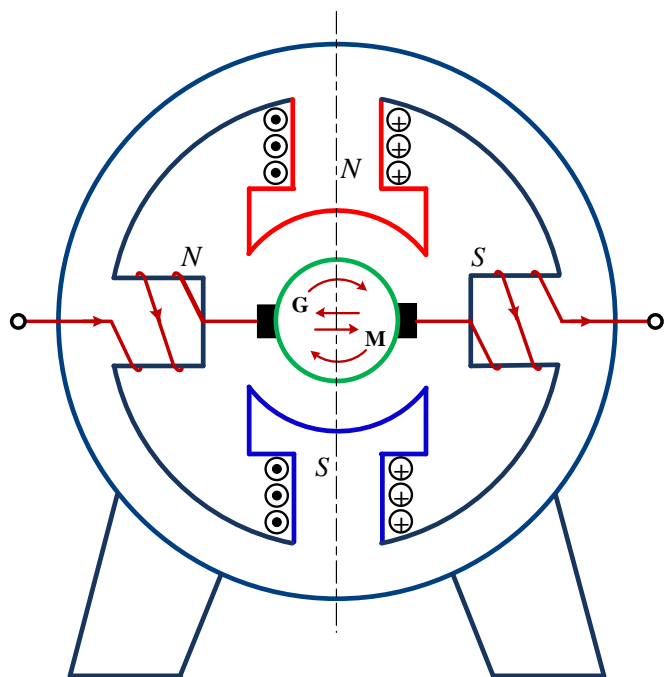
Generator salt ishlaganda bosh qutb hosil qiladigan asosiy magnet oqimi  $F$  mavjud bo'ladi (6.8-rasm, a). Unga yuklama ulanganda yakor o'tkazgichlardan tok o'tib, yakorning magnet maydoni mashinasining bosh qutblari hosil qilgan asosiy magnet oqimiga ta'sir ko'rsatadi va uning yo'nalishini o'zgartiradi (6.8-rasm, b). Rasmdan yakor toki hosil qilgan magnet maydonning yo'nalishi asosiy magnet oqimining yo'nalishi bilan mos bo'lgan joylarda umumiy magnet maydonining kuchayganligini, yo'nalishi qarama-qarshi bo'lgan joylarda esa kuchsizlanganligini ko'rish mumkin. Ba'zi joylarda esa yakor tokining magnet maydoni asosiy magnet maydoniga tik yo'nalgan. Umuman, yakor magnet maydonining asosiy magnet maydoniga ta'sir etib, uning yo'nalishini o'zgartirish hodisasi *yakor reaksiyasi* deyiladi.



6.8-rasm.

Yakor reaksiyasi natijasida mashinaning asosiy magnet oqimi deformatsiyalanadi (6.8-rasm, v). Demak, qutblarning bir tomonida magnet chiziqlarining zichligi ortsa, ikkinchi tomonidan kamayadi.

Yakorning o'ramlar qutb ostidagi magnet kuch chiziqlari ko'p joydan (yoki yakor reaksiyasi natijasida magnet induksiyasi kuchaygan yerdan) o'tganda induksiyalangan EYuK qiymati birmuncha ko'payadi. Bu ortiqcha EYuK



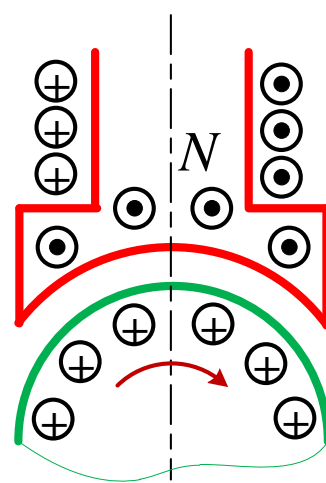
6.9-rasm.

plastinalar orasida uch kun hosil qilib, kollektor bo'ylab olov paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Bu esa mashinaning normal ishlashini buzadi, yuklama ortganda generatorning EYuK ini kamaytirib, generatorning uchlaridagi kuchlanishning qo'shimcha pasayishiga olib keladi. Yakor reaksiyasining ta'siri asosiy qutblar orasidagi geometrik neytral chiziqqa qo'shimcha qutblar o'rnatish yo'li bilan kamaytiriladi

(6.9-rasm). Bu chulg'am yakorning chulg'ami bilan ketma-ket ulanadi.

Mazkur chulg'am shunday o'raladiki, bunda uning magnet maydoni yakorning magnet maydoniga yakorning magnet maydoniga qarama-qarshi yo'naladi.

150 kVt dan yuqori quvvatli mashinalarda yakorning butun aylanasi bo'ylab yakor reaksiyasini kamaytirish maqsadida bosh qutb uchliklariga kompensatsiyalovchi chulg'am o'rnatiladi (6.10-rasm). Bu chulg'am yakor chulg'ami va qo'shimcha qutbning

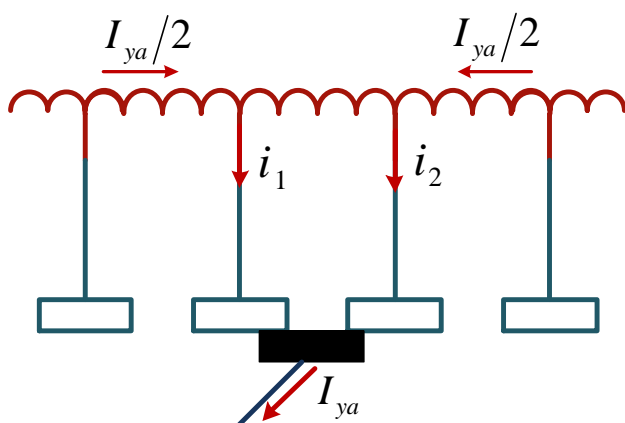


6.10-rasm.

chulg`ami bilan ketma-ket ulanadi. Kompensatsiyalovchi chulg`amning magnit maydoni yakorning magnit maydoniga qarama-qarshi bo`lib, qutb uchligi zonasida yakor reaksiyasini kompensatsiyalash uchun xizmat qiladi. Kichik quvvatli mashinalarda esa qo`shimcha qutb o`rniga cho`tkalarni geometrik neytral chizig`idan surib qo`yish usuli qo`llaniladi. Natijada cho`tkalarning ta`siridan uchqunlanish birmuncha kamayadi.

### 6.7. Yakor kommutatsiyasi

O`zgarma tok mashinasi ishlaganda cho`tka bilan kollektor o`rtasida uchqun paydo bo`ladi. Kuchli uchqun mashinaning normal ishlashiga xalaqit beradi. Uchqun chiqishiga mexanik kamchiliklar (kollektor yuzasining notekisligi, cho`tka bosimining bo`shligi, kollektorning ifloslanganligi va cho`tka bilan kollektor orasidagi urinishning buzulishiga olib keladigan boshqa kamchiliklar) sabab bo`ladi. Natijada kollektor kuchayib, yemiriladi. Uchqun hosil bo`lishi kollektor plastinkalarining cho`tka ortidan o`tish tezligiga bog`liq.



6.11-rasm.

Yakor aylanganida kollektor plastinkalari cho`tka navbatma-navbat tegib o`tadi. Juda qisqa vaqt ichida cho`tkaga kollektorning bir plastinkasidan ikkinchi plastinkasiga o`tishi natijasida seksiyadagi tok  $+\frac{I_{ya}}{2}$  dan  $-\frac{I_{ya}}{2}$  gacha o`zgarishi kerak (6.11-rasm). Seksiyadagi tokning juda tez o`zgarishi (0,001÷0,003 s) natijasida

o`zinduksiya EYuK ( $e_L$ ) paydo bo`ladi. Yakorning tezligi orta borgan sari bu qiymat ko`paya borib, cho`tka bilan kollektorning navbatdagi plastinka va chiqib ketayotgan plastinkasi orasida uchqun hosil bo`ladi.

Cho`tka bilan tutashgan yakor chulg`ami seksiyalaridagi tok yo`nalishining o`zgarishi bilan bog`liq bo`lgan hodisalar majmuiga kommutatsiya deyiladi.

Seksiyaning kommutatsiyalanish vaqtiga kommutatsiya davri ( $T$ ) deyiladi. Cho'tka qanchalik keng bo'lib, mashina shunchalik sekin aylansa,  $T$  ning qiymati orta boradi:

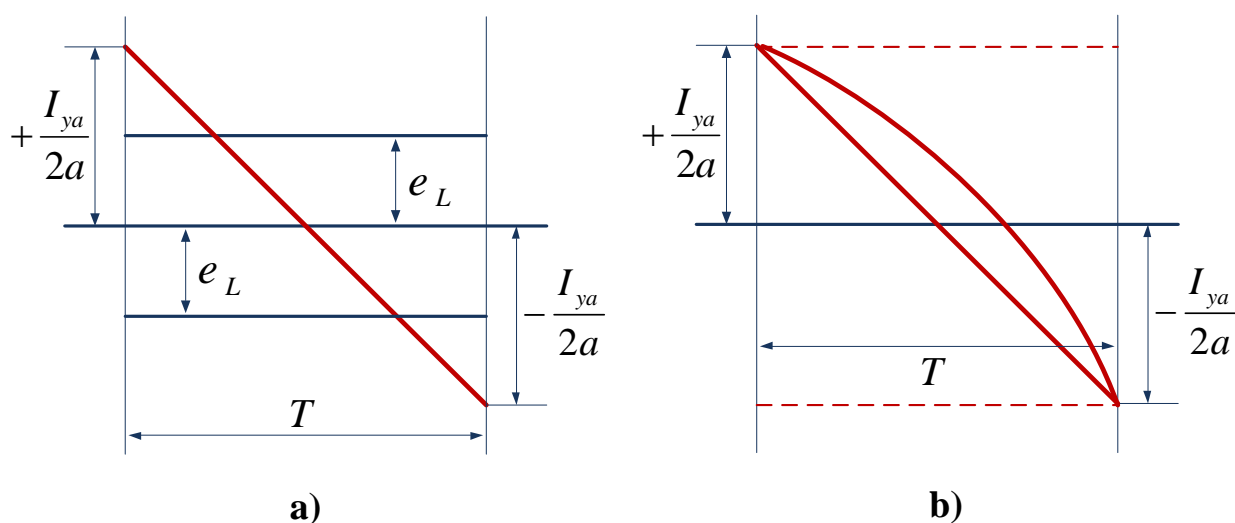
$$T = \frac{b_r}{v_R},$$

bu yerda  $b_r$ - cho'tkaning eni;  $v_R$ - kollektorning aylanma tezligi.

Yaxshi kommutatsiya faqat, kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tokning o'zgarmas jarayoni kollektor plastinkalari bilan cho'tka o'rtasidagi o'tkinchi qarshilik orqali aniqlanishi mumkin. Bu qarshilik kommutatsiya qarshiligi deyiladi. B hodisa yakor birmuncha sekin aylanganda sodir bo'ladi.

O'zinduksiya EYuK  $e_L$  ni kompensatsiya qilish uchun qo'shimcha qutblar hosil qilgan kommutatsiyalovchi EYuK  $e_k$  dan foydalaniladi. Bu qutbning chulg'ami yakorga ketma-ket ulanadi.

Sof kommutatsiya  $e_L + e_k = 0$  bo'lganda ya'ni,  $e_L, e_k$  ni to'la kompensasiya qilganda sodir bo'ladi. Kommutatsiyalanuvchi seksiyadagi tok  $+\frac{I_{ya}}{2}$  dan  $-\frac{I_{ya}}{2}$  gacha (6.12- a rasm) o'zgargani uchun kommutatsiya chiziqli hisoblanadi. Agar kommutatsiya davrida  $e_L > e_k$  bo'lsa, o'zinduksiya EYuK  $e_L$  tokining o'zgarishini sekinlashtiradi. Shuning uchun kommutatsiya davri ortib, u sekinlashgan kommutatsiya hisoblanadi (6.12- b rasm).



6.12-rasm.



Kommutatsiyaning yaxshi kechishi (uchqunning kam bo'lishi) uchun:

1. Cho'tka va kollektorning holatini doimo kuzatib turish kerak.
2. Quvvati 1 kVt dan yuqori bo'lgan o'zgarmas tok mashinilariga qo'shimcha qutblar o'rnatish kerak.
3. Ana shunday hodisani kichik quvvatli mashinalarda ham hosil qilish uchun cho'tkani fizik neytral holatidan generatorlarda yakorning aylanish yo'nalishi bo'yicha, Motorda esa teskarisiga bo'lishi kerak.

### **6.8. Magnit maydonini uyg'otish usuliga ko'ra o'zgarmas tok generatorlarini tasniflash**

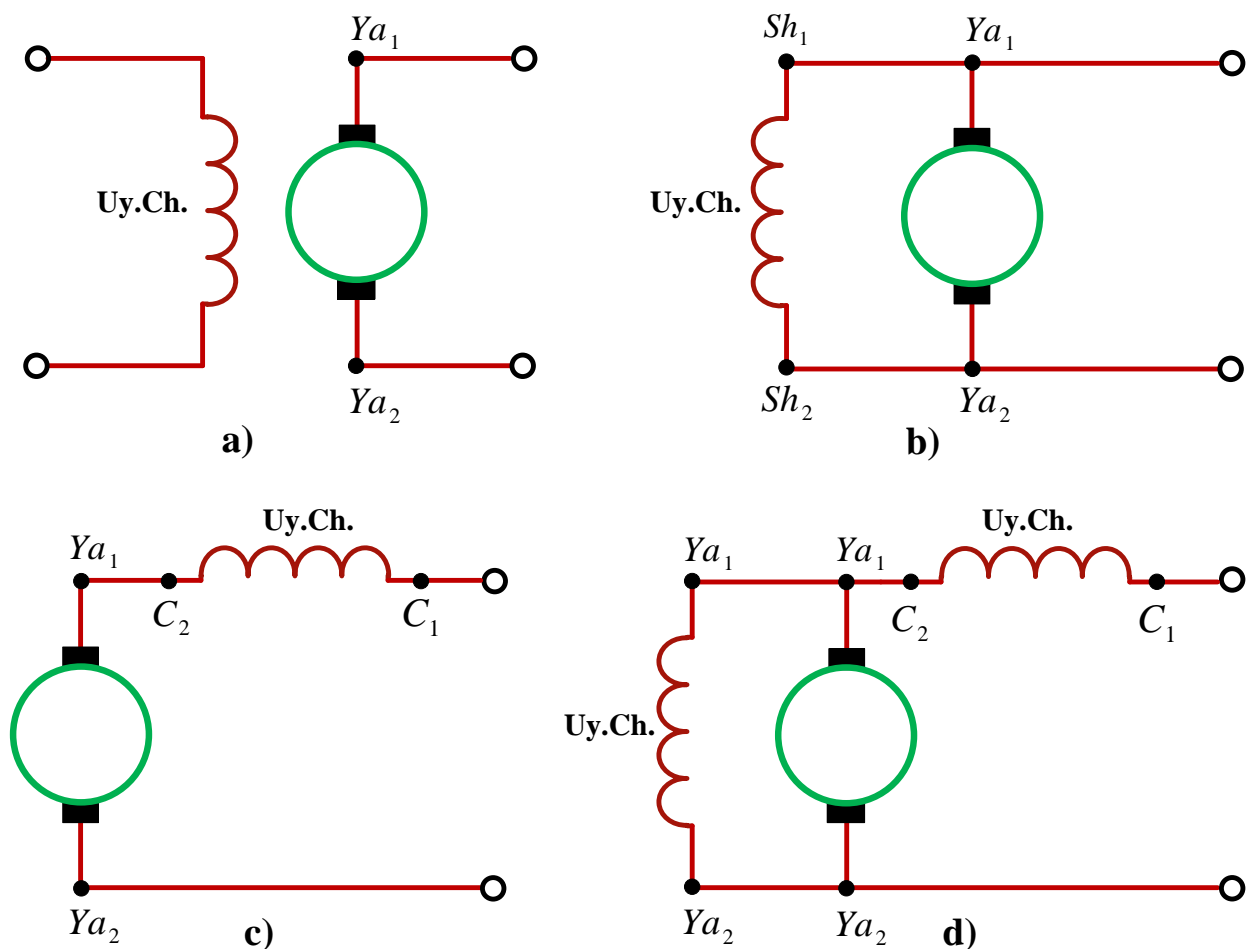
O'zgarmas tok generatorlarining xususiyatlari ularning uyg'otish sxemasiga qarab, ya'ni bosh qutbning uyg'otish chulg'amlariga qanday yuborilishiga qarab turlicha bo'ladi.

O'zgarmas tok generatorlari magnit maydonni uyg'otish usuliga qarab, mustaqil uyg'otishli va o'z-o'zidan uyg'otishli bo'ladi. Mustaqil uyg'otishli generatorlarning uyg'otish chulg'amlariga yuboriladigan tok tashqi manba (akkumulyator batareyasi yoki boshqa generator) dan olinadi. (6.13- *a* rasm). O'z-o'zidan uyg'otishli generatorlarning uyg'otish chulg'amlariga yuboriladigan tok bevosita generatorning o'zida (yakoridan) olinadi. O'z-o'zidan uyg'otishli generatorlar uch xil bo'ladi:

- a*) parallel uyg'otishli yoki shunt uyg'otishli generatorlar;
- b*) ketma ket uyg'otishli yoki series generatorlar;
- v*) aralash uyg'otishli yoki kompaund generatorlar.

Parallel uyg'otishli generatorlarda uyg'otish chulg'ami yakor chulg'amiga parallel qilib ulangan (6.13-*b* rasm). Ketma ket uyg'otishli generatorlarda esa uyg'otish chulg'ami yakor chulg'amiga ketma-ket ulanadi (6.13- *c* rasm). Aralash uyg'otishli generatorlarning uyg'otish chulg'ami ikkita bo'ladi. Ulardan biri yakor chulg'amiga parallel, ikkinchisi esa tashqi yakor shoxobchasiga ketma ket qilib ulanadi (6.13- *d* rasm). Agar ushbu generatorning parallel chulg'amidan o'tuvchi

o'zgina tok hisobga olinmasa, ketma ket uyg'otish chulg'amini ham yakor chulg'amiga ketma ket ulangan, deb hisoblasa bo'ladi.



6.13-rasm.

### 6.9. O'zgarmas tok generatorlarining o'z-o'zidan uyg'otilishi

O'zgarmas tok generatorlarining o'z-o'zidan uyg'otish zanjirida ishlatiladigan quvvati juda kichik (yakorda iste'mol qilinadigan quvvatning  $3 \div 5\%$  qismini tashkil qiladi). Uyg'otish zanjirini ta'minlash uchun alohida mustaqil manba ishlatish juda noqulay. Shuning uchun amalda uyg'otish chulg'amini yakordan olingan tok bilan ta'minlaydigan o'z-o'zidan uyg'otish generatorlari ko'proq ishlatiladi.

Parallel uyg'otishli generatorlarda uyg'otish chulg'ami roslash qarshiligi orqali yakorga parallel qilib ulanadi. Parallel uyg'otishli generatorning sxemasi 6.14 rasmda ko'rsatilgan. Bunday generatorning yakori qismlaridagi kuchlanish.

$$U_{ya} = E - I_{ya}R_{ya} = U, \quad (6.3)$$

bu yerda  $I_{ya}R_{ya}$  - yakor qarshiligidagi kuchlanishning pasayishi.

6.14-rasmda ko'rsatilganidek, yakor ham tashqi elektr shoxobchasini, ham uyg'otish zanjirini tok bilan ta'minlaydi, ya'ni

$$I_{ya} = I + I_u \quad (6.4)$$

Generator normal ishlaganida uning uyg'otish chulg'amidan o'tadigan tokning miqdori:

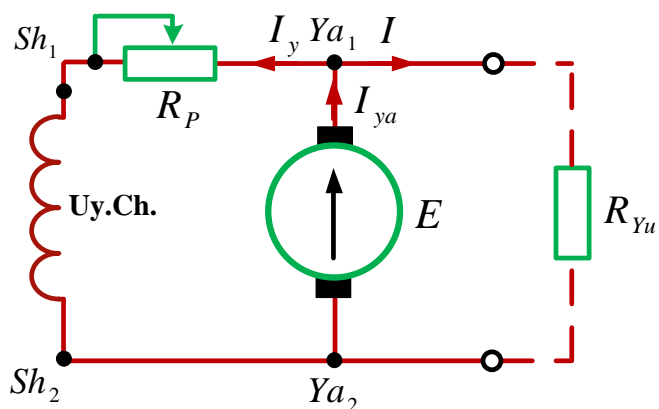
$$I_u = \frac{U_u}{R_u + R_r} = \frac{U_{ya}}{R_u + R_r}, \quad (6.5)$$

bu yerda  $U_u$  - uyg'otish kuchlanishi (u yakor qismlaridagi kuchlanishga teng);  $R_u$

– uyg'otish chulg'amining qarshiligi;  $R_r$  – roslash reostatining qarshiligi.

Yuklama bo'lmaganida, ya'ni  $I = 0$  da  $I_{ya} = I_u$ .

Uyg'otish toki yakorning nominal tokiga nisbatan juda oz bo'lganligi uchun yakor kuchlanishining pasayishini



6.14-rasm.

e'tiborga olmasa ham bo'ladi, ya'ni  $U_{ya} \approx E = cn\Phi$  bo'ladi. Bunda

$$F = \frac{I_y \omega_y}{R_M}$$

$$\Phi = \frac{I_y \omega_y}{R_M}. \quad (6.6)$$

Yakorning aylanish tezligi o'zgarmas bo'lganida yakor qismlaridagi kuchlanish uyg'otish tokigagina bog'liq bo'ladi, ya'ni

$$U_{ya} = E = f(I_y).$$

$$U_a = E = f(I_y). \quad (*)$$

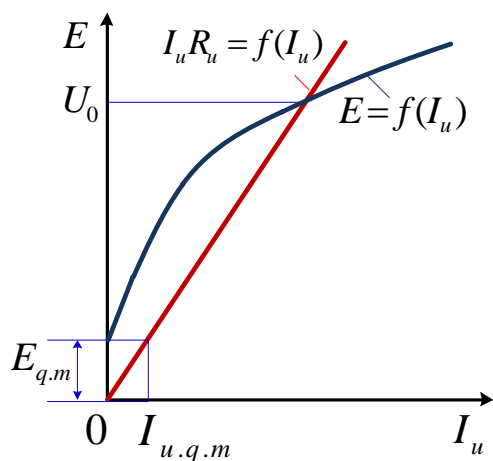
(6.7) ifodaga muvofiq uyg'otish tokini hosil qilish uchun yakor qismlarida kuchlanish bo'lishi kerak. (\*) ifodaga ko'ra yakor qismlarida kuchlanish hosil qilish uchun uyg'otish toki bo'lishi kerak.

Dastlab yakor birlamchi motor vositasida aylantirila boshlaganda uyg'otish toki va uyg'otish tokini hosil qiluvchi yakor qismlarida hech qanday kuchlanish bo'lmaydi. Shunday bo'lsa, mashinada kuchlanish va tok qanday hosil bo'ladi? Bunday generatorda EYuK paydo bo'lishi o'z-o'zidan uyg'otish prinsipiga asoslangan.

Generator ishlashi yoki o'z o'zidan uyg'onishi uchun uning magnit sistemasi (qutblar va stanina) da qoldiq magnetizm  $F_{q.m}$  bo'lishi shart. Mashinada bunday qoldiq magnetizm dastlab zavodning o'zida tashqi tok manbai yordamida vujudga keltiriladi. Qoldiq magnetizm  $F_{q.m}$  yakor chulg'amlarida biroz bo'lsa ham EYuK  $E_{q.m}$  ni induksiyalaydi (6.15-rasm). Shu EYuK uyg'otish chulg'amlarida  $I_{u.q.m}$  tokini hosil qiladi

$$I_{u.q.m} = \frac{E_{q.m}}{R_{ya} + R_u + R_p} = \frac{E_{q.m}}{R_u + R_p}, \quad (6.7)$$

bunda yakorning qarshiligi e'tiborga olinmaydi, chunki u uyg'otish chulg'aming



**6.15-rasm.**

qarshiligiga qaraganda ancha kichik bo'ladi.  $I_{u.q.m}$  uyg'otish toki magnit maydonini hosil qiladi. Ushbu magnit maydoni tomon yo'nalanadi. Agar ular bir tomonga yo'nalmasa, generator o'z-o'zidan uyg'onmaydi va ishlay olmaydi. Bunday generator yakorini teskari yoki uyg'otish zanjiridagi tokning yo'nalishi o'zgartirishga to'g'ri keladi. Buning uchun uyg'otish zanjirining yakor chulg'amlariga ulangan uchlarini almashtirish kerak.

Uyg'otish tokini hosil qiluvchi magnit maydonni qoldiq magnetizmning magnit maydoni tomon yo'nalgan bo'lsa, jami magnit maydoni va induksiyalanuvchi EYuK osha boradi. Bu jarayon uyg'otish zanjiridagi kuchlanish

induksiyalanuvchi EYuK ni muvozanatlagunga qadar davom etadi. (6.15-rasmdagi  $a$  nuqta). Ammo, magnit to'yinishi tufayli kuchlanishning o'sish jarayoni cheklangan bo'ladi.

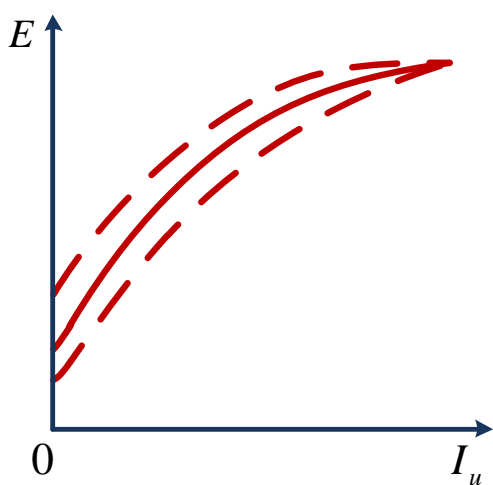
### 6.10. Parallel uyg'otishli o'zgarmas tok generatorining xarakteristikalarini

Elektr mashinalarining xossalari ularning xarakteristikalarini yordamida oson tushunish mumkin. Bu xarakteristikalar mashinaga oid barcha kattaliklar o'zgarmay turib, faqat ikki asosiy parametr o'zgarganda ular orasidagi bog'lanishni ifoda etuvchi egri chiziqdan iborat. Amalda generator uchun yakorning aylanishlar chastotasi o'zgarmas, yakor uchidagi kuchlanish, yakor toki va uyg'otish toki esa o'zgaruvchan kattaliklar hisoblanadi. Parallel uyg'otishli o'zgarmas tok generatorini tekshirganda uning uchta asosiy xarakteristikasi olinadi.

**1. Salt ishlash xarakteristikasi.** Ushbu xarakteristika yakor qismalaridagi kuchlanishning (yakorning tashqi zanjiri ochiq bo'lganda) uyg'otish tokiga qanday bog'liq bo'lishini ko'rsatadi. Bunda,  $I_{ya} = I + I_u$  va  $n = const$  bo'ladi. Salt ishlash xarakteristikasining analitik ifodasi

$$U = f(I_u); I_{ya} = 0; n = const.$$

$I_{ya} = I + I_u = 0$  bo'lganda  $U = E$  bo'ladi, binobarin  $E = f(I_u)$  bo'ladi.



6.16-rasm.

$n = const$  bo'lganligi uchun  $E = cn\Phi$

formulasini  $E = K\Phi$  ko'rinishda,  $E = f(I_u)$  analitik ifodani

$$\Phi = f(I_u w_u) \text{ yoki } B = f(H)$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bu esa magnitlanish xarakteristikasining analitik ifodasidir. Parallel uyg'otish o'zgarmas tok generatorining salt ishlash xarakteristikasi

6.16 rasmda ko'rsatilgan.

Shunday qilib, salt ishlash xarakteristikasining egri chizig`i mashina magnet xossalari bilan belgilanadi. Uyg`otish toki ko`payganida EYuK ortadi. EYuK maksimal qiymatga erishgandan so`ng uyg`otish toki asta sekin kamaytira borilsa, uyg`otish tokining avvalgi qiymatlariga to`g`ri kelganda hosil bo`ladigan EYuK avvalgidan ortiqroq bo`ladi. Mashini qutb va korpuslaridagi qoldiq magnetizm shunga sabab bo`ladi.

Odatda, nazariy salt ishlash xarakteristikasi ishlatiladi. Bu xarakteristika haqiqiy xarakteristikaning yuqori va pastki tarmoqlari o`rtasidan o`tgan egri chiziqdir (6.16-rasmda uzluksiz chiziq bilan ko`rsatilgan).

Salt ishlash xarakteristikasi uch qismdan iborat. Birinchi qism xarakteristikaning to`g`ri chizikli boshlang`ich qismidir. Bu qismda mashina hali magnet jihatdan to`yinmagan bo`lib, magnet induksiyasi ancha kam bo`ladi. Ikkinchi qism xarakteristikaning egri chizikli qismi bo`lib, “*tirsak*” deb ataladi. Bu qismda mashina magnet to`yinish arafasida bo`ladi. Uchinchi qism xarakteristikaning yotiq va to`g`ri chizikli qismlari bo`lib, bunda mashina to`yingan, ya`ni uyg`otish tokining ortishi yangi magnet kuch chiziqlarini hosil qilmaydi.

Nominal kuchlanishning ish qismi, albatta, xarakteristikaning egri chizikli (*tirsak*) qismida bo`lishi kerak, chunki bu holda kuchlanishini rostlash qulayroq.

**Tashqi xarakteristika.** Uyg`otish zanjirining qarshiligi va aylanish tezligi o`zgarmas bo`lganida generator yakori qismalaridagi kuchlanishning yuklama toki bilan qanday bog`langanligini ko`rsatuvchi egri chiziq tashqi xarakteristika bo`ladi:

$$U = f(I_{ya}); R_u = const; n = const.$$

Parallel uyg`otishli generatorlarning tashqi xarakteristikasini olishda uyg`otish zanjirining qarshiligi  $R_u = const$  bo`ladi. Yuklama toki  $I$  ortganda yakordagi tok  $I_{ya}$  ham ortadi. Bu esa yakordagi kuchlanish pasayishi ( $I_{ya}R_{ya}$ ) hamda yakor reaksiyasi tufayli yakor qismalaridagi kuchlanishning pasayishiga sabab bo`ladi. Demak, uyg`otish toki

$$I_u = \frac{U}{R_u} \quad (6.8)$$

kamayadi. Bu esa mangit oqimi

$$\Phi = \frac{I_u \omega_u}{R_m} \quad (6.9)$$

ning hamda induksiyalanuvchi EYuK

$$E = c\Phi n$$

va yakor qismalaridagi kuchlanish

$$U = E - I_{ya}R_{ya}$$

ning kamayishiga sabab bo'ladi.

Shunday qilib, parallel uyg'otishli generator kuchlanishining pasayishiga ta'sir ko'rsatuvchi sabablar quydagilardan iborat:

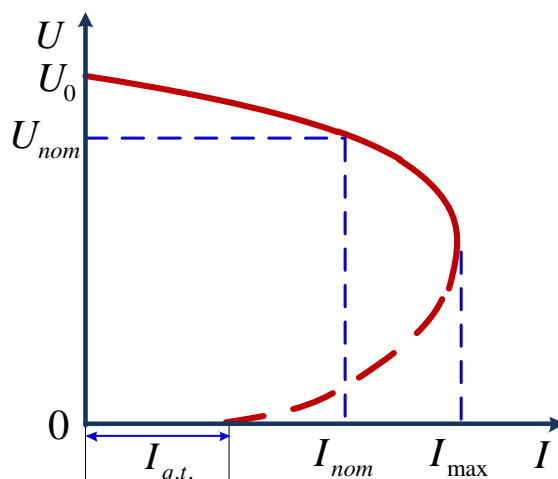
1. Kuchlanish  $I_{ya}R_{ya}$  ning yakor qarshiligida pasayishi.
2. Yakor reaksiyasi.
3. Uyg'otish tokining kamayishi.

Parallel uyg'otishli generatorda nisbiy kuchlanishning pasayuvi:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100\%. \quad (6.10)$$

O'rtacha quvvatli qo'shimcha qutbli mashinalarda  $\Delta U\% = 8 \div 15$  bo'ladi.

Xarakteristikadan ko'rinishicha, parallel uyg'otishli generatorni faqat aniq bir chegaraga ( $I_{tax}$  gacha) yuklash mumkin. Ushbu tok *kritik tok* deb ataladi (6.17-rasm). Tokni bu darajaga kuchaytirish mumkin emasligining sababi shuki, tok orta borsa, kuchlanish pasayishining yuklama toki  $I$  ni kamaytirish ta'siri tashqi qarshilik  $R$  ta'siriga qaraganda ko'proq bo'ladi;



**6.17-rasm.**

tashqi qarshilikning kamayishi yuklama toki  $I$  ni kuchaytiradi:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0 - \Delta U}{R}. \quad (6.11)$$

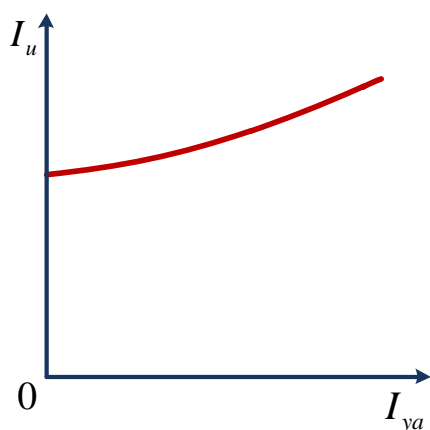
Tashqi qarshilik nolga teng bo'lganida  $I$  toki qisqa tutashuv toki  $I_{q.t.}$  bo'ladi. Xarakteristikada ko'rinishicha, qisqa tutashuv toki uncha ko'p emas. Bu tokni qoldiq magnetizm oqimi induktivlagan EYuK hosil qiladi.

**Rostlash xarakteristikasi** generator qismlaridagi kuchlanish va yakorning aylanish tezligi o'zgarmas bo'lganida uyg'otish tokining yuklama toki bilan qanday bog'langanligini ko'rsatuvchi egri chiziqdir:  $U_G = const$  va  $n = const$  bo'lganda  $I_u = f(I_{ya})$ .

Elektr energiyasi iste'molchilari (elektr motorlari, lampalar va b.) ning yaxshi ishlashi uchun manbadan olinadigan kuchlanish yuklama o'zgarishiga bog'liq bo'lmay nominal qiymatga teng bo'lishi kerak.

Shuntli generatorlarda yuklama o'zgarishi bilan kuchlanishni miqdor jihatdan bir xil saqlash imkoniyati bor. Buning uchun uyg'otish zanjiridagi rostlash reostati (6.14-rasm) yordamida uyg'otish toki  $I_u$ , shuningdek, magnit oqimi  $F$  va EYuK  $E$  o'zgartirilib, kuchlanishni  $U=const$  tarzida ushlab turiladi. Barcha generatorlar kuchlanish rostlagichi bilan jihozlanadi.

Demak, rostlash xarakteristikasi (6.18-rasm) turli yuklamalarda generatorlarning qismlaridagi kuchlanishni bir xil (o'zgarmas) qilib ushlab turish uchun uyg'otish tokini qancha o'zgartirish kerakligini ko'rsatadi.



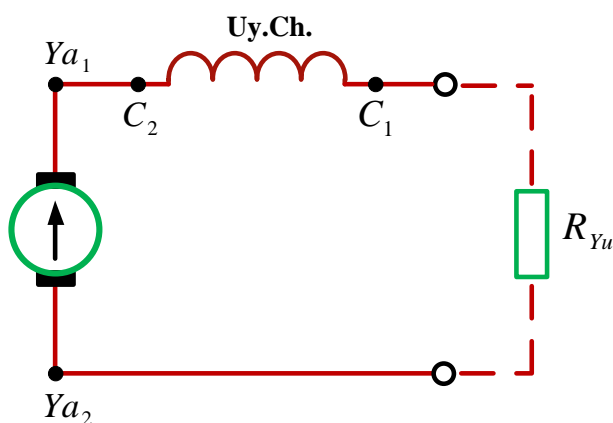
**6.18-rasm.**

O'zgarmas tok generatori sanoat qurilmalarining (elektroliz va galvanik qurilmalari) past kuchlanishli o'zgarmas tok iste'mol qiladigan manbalari hisoblanadi. Undan sinxron generatorning uyg'otgichi sifatida ham foydalaniladi. Ayniqsa, maxsus o'zgarmas tok generatorlari (payvandlashda, poezdlarni yoritish uchun ishlatiladigan generatorlar, o'zgarmas tok kuchaytirgichlari, akkumulyatorlarni zaryadlash uchun generatorlar) keng tarqalgan.



## 6.11. Ketma-ket uyg'otishli generator

Ketma-ket uyg'otishli generatorlarda magnit oqimi hosil qilish uchun yuklama tokidan foydalanish mumkin, buning uchun generatorning uyg'otish chulg'ami yakor bilan o'zaro ketma-ket ulanadi (6.19-rasm).



6.19-rasm.

Bunday generatorlarda yakor toki bilan uyg'otish toki qiymat jihatdan yuklama tokiga teng bo'ladi,

ya'ni;

$$I_{ya} = I_u = I.$$

Demak, generatorni faqat yuklama bo'lgan holdagina uyg'otish mumkin. Shuning uchun bunday

generatorlarning salt ishlash xarakteristikasini olib bo'lmaydi. Generatorlarda yuklama bo'lmaganda  $I_u = I = 0$  bo'ladi, generator qismlaridagi kuchlanish faqat qoldiq magnetizm hisobiga hosil bo'ladi. Agar generatorning salt ishlash xarakteristikasini olish talab etilsa, uning uyg'otish chulg'amiga tashqaridan (alohida manbadan) tok yuboriladi.

Generator qismlaridagi kuchlanish yakorda induksiyalangan EYuK dan yakor va uyg'otish chulg'amlaridan kuchlanishning pasayishi miqdoricha kichik bo'ladi:

$$U = E - I_{ya}(R_{ya} + R_u) \quad (6.12)$$

bunda

$$E = c\Phi n \quad \Phi = \frac{I_u \omega_u}{R_m}$$

Kuchlanishning yuklamaga qarab o'zgarishi ferromagnit materiallarning magnitlanish qonuniga yaqin bo'ladi, chunki magnit oqimi  $\Phi$  ning uyg'otish toki  $I_u$  ga qarab o'zgarishi magnitlanish xarakteristikasi  $B = f(H)$  dan iborat.

Yuklama toki ortishi bilan magnit oqim ko'payadi, kuchlanish ortadi. Ammo tok katta bo'lsa, to'yinish hodisasi tufayli magnit oqimi deyarli ko'paymaydi. Yakor va uyg'otish chulg'amlari kuchlanishning pasayishi ortadi, shuningdek,

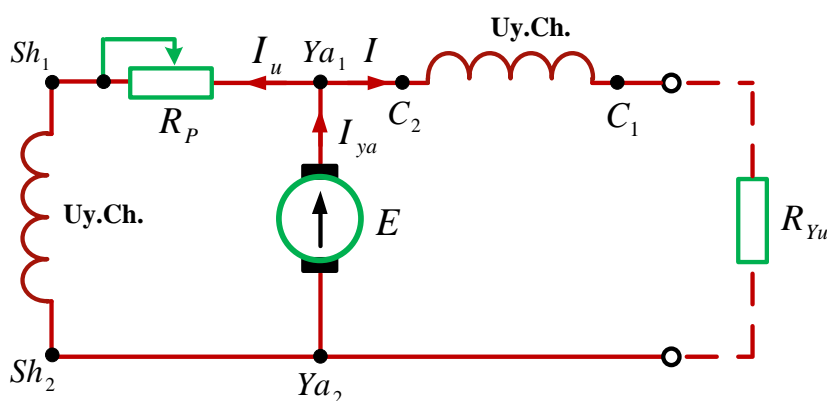
yakor reaksiyasi ham kuchayadi. Natijada mashina qismlaridagi kuchlanish pasaya boshlaydi.

Elektr energiyasining odatdagi iste'molchilari uchun bunday xarakteristika to'g'ri kelmaydi, chunki ular kuchlanishning o'zgarmas bo'lishini talab etadi. Shuning uchun o'zgarmas tok olishda bunday generator ishlatilmaydi. U faqat maxsus sxemalarda volt qo'shuvchi mashinalar tarzida qo'llaniladi.

Ketma-ket uyg'otishli generatorlar uchun rostdash xarakteristikasi olinmaydi.

### 6.12. Aralash uyg'otishli generator

Aralash uyg'otishli generatorlarda ikkita uyg'otuvchi chulg'am bo'lib, ularning asosiy chulg'am deb atalgani yakorga parallel, yordamchi chulg'am deb atalgan ikkinchisi esa tashqi zanjirga ketma-ket ulanadi (6.20-rasm). Chulg'amlar moslab



6.20-rasm.

ulangan ketma-ket ulangan yordamchi chulg'am asosiy chulg'amning magnit maydonini kuchaytiradi, ya'ni ularning magnit maydonlari o'zaro qo'shiladi  $\Phi = \Phi_{Sh} +$

$\Phi_C$ . Chulg'amlar qarama-qarshi ulangan ketma-ket ulangan yordamchi chulg'am asosiy chulg'amning magnit maydonini susaytiradi, ya'ni ularning magnit maydonlari bir-biridan ayriladi  $\Phi = \Phi_{Sh} + \Phi_C$ . Odatdagi sharoitda o'zgarmas tok olish uchun chulg'amlar moslab ulanadi. Chulg'amlarni qarama-qarshi ulash juda kam ishlatiladi, masalan, elektr payvandlash mashinalarida qo'llaniladi.

Endi aralash uyg'otishli generatorlarning asosiy xarakteristikalarini qarab chiqamiz.

**Salt ishlash xarakteristikasi.** Yuklama bo'lmaganda ketma-ket ulangan chulg'amdan tok o'tmaydi va u parallel uyg'otishli mashinadan farq qilmaydi.

Binobarin, mazkur hol uchun bu mashinalarning salt ishlash xarakteristikasi parallel uyg'otishli mashinalar xarakteristikalarining aynan o'zidir.

**Tashqi xarakteristika** parallel uyg'otish zanjirining qarshiligi va yakorning aylanish tezligi o'zgarmas bo'lganida generator qismlaridagi kuchlanishning yuklama tokiga qanday bog'lanishini ko'rsatuvchi egri chiziqdir:

$$U = f(I_u); R_{par.u.} = const; n = const.$$

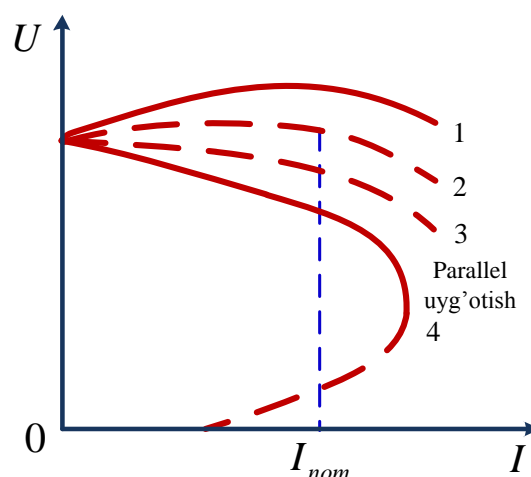
Yuklama tokini ko'paytirganda yakor toki ortadi, bunda yakor zanjiridagi kuchlanish ko'proq pasayadi, u

$$I_{ya}R_{ya} + IR_{u\ k\ k}$$

ga teng bo'ladi. Shuningdek, EYuK ni kamaytiruvchi yakor reaksiyasining magnitsizlanish ta'siri ko'payadi. Bu esa generator qismlaridagi kuchlanishni kamaytiradi:

$$U = E - I_{ya}R_{ya} - IR_u$$

Ammo shu bilan birga teng ta'sir etuvchi magnet oqimi ko'payadi, chunki ketma-ket uyg'otish chulg'amidan o'tgan yuklama toki qo'shimcha magnet yurituvchi kuch hosil qiladi. Bu esa generator qismlaridagi kuchlanishni ko'rsatadi. Ketma-ket ulangan chulg'amning o'ramlar soniga qarab kuchlanish ko'proq yoki ozroq ko'tariladi (6.21-rasm). Odatda, o'ramlar soni kuchlanish deyarli o'zgarmaydigan qilib hisoblanadi (6.21-rasm, 2-egri chiziq). Bu ketma-ket uyg'otish chulg'ami hosil qilgan qo'shimcha magnet yurituvchi kuch yakor zanjiridagi kuchlanishning pasayishi va yakor reaksiyasining magnitsizlanish ta'sirini kompensatsiya qilganida bajariladi.

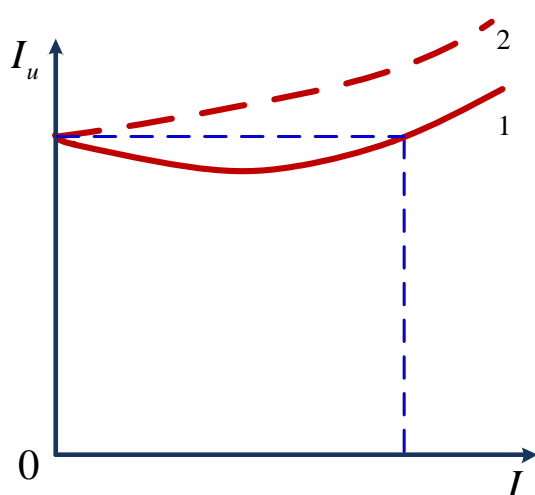


**6.21-rasm.**

Mashinaning magnet to'yinishi tufayli bunday kompensatsiya to'la bo'lmaydi. Ammo yuklama o'zgarganda aralash uyg'otishli generator qismlaridagi kuchlanishning o'zgarishi (1 va 2-egri chiziq) parallel uyg'otishli generatordagidan (3-egri chiziq) ancha oz bo'ladi.

Uygʻotish chulgʻamlar qarama-qarshi ulanganda yuklama oʻzgarishi bilan generator qismlaridagi kuchlanish juda tez pasayadi, chunki ketma-ket chulgʻamdan oʻtgan tok magnit maydonni kuchsizlantiradi (6.21-rasm, 4-egri chiziq). Generator tez-tez qisqa tutashuv sharoitiga duch kelganda shunday xarakteristika zarurdir.

**Rostlash xarakteristikasi.** Generator qismlaridagi kuchlanishni oʻzgarmaydigan qilib saqlash uchun parallel uygʻotishli generatoridagi EYuK ni oʻzgartirish lozim. Bu parallel uygʻotish chulgʻamidagi tokni oʻzgartirish yoʻli bilan bajariladi. Kuchlanish oʻzgarmay turishi uchun uygʻotish tokini qanday oʻzgartirish lozimligini koʻrsatuvchi egri chiziq rostlash xarakteristikasi deb



6.22-rasm.

ataladi:

$$U = const; \quad n = const; \quad I_u = f(I).$$

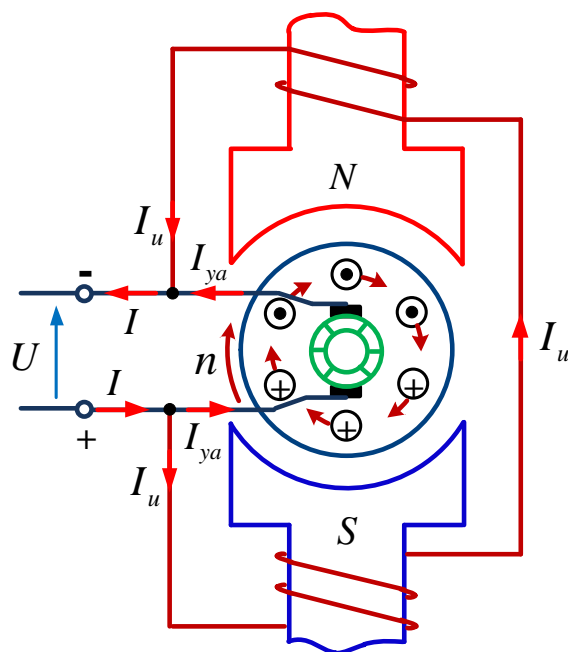
Yuklama oʻzgarganda parallel uygʻotishli generatoridagiga qaraganda aralash uygʻotishli generatorida kuchlanish kamroq pasayganligi uchun aralash uygʻotishli generatorlarda uygʻotish toki kamroq oʻzgartiriladi (6.22-rasm).

### 6.13. Oʻzgarmas tok motorlari

Oʻzgarmas tok elektr mashinalari boshqa elektr mashinalari kabi qaytuvchanlik xususiyatlariga ega boʻlib, ham generator, ham motor rejimlarida ishlay oladi. Shuning uchun motorning tuzilishi oʻzgarmas tok generatorlarining tuzulishidan farq qilmaydi. Generatorga oʻxshab motorlar ham uygʻotish chulgʻamining yakoriga ulanish sxemasi boʻyicha farqlanadi. Oʻzgarmas tok motorlari aylanish tezligining keng doirada boshqarilishi va maxsus mexanik xarakteristikalarini olish mumkinligi tufayli keng qoʻllanadi. Bular prokat stanlarida, transportda, kemalarda eshkak vintlarini harakatga keltirish uchun ishlatiladigan oʻzgarmas tok motorlaridir.

Yagona P seriyali o'zgaras tok motorlarining quvvati 0,2 dan 6800 kVt gacha bo'lib, aylanish tezligi 24 dan 3000 ayl/min gacha bo'lgan dipazonni tashkil etadi.

**Motor rejimi.** O'zgaras tok mashinasi motor rejimida ishlashi uchun uyg'otish tokini shunday kamaytirish kerakki, natijada yakorda induksiyalanayotgan EYuK tarmoq kuchlanishidan kam bo'lsin. Tarmoq kuchlanishi ortiq bo'lgani uchun yakordagi tokning yo'nalishi teskarisiga o'zgaradi. Berilgan kuchlanish ta'sirida uyg'otish chulg'amidan tok o'ta boshlaydi, ammo uning yo'nalishi o'zgaraydi (6.23-rasm).



6.23-rasm.

Yakor chulg'amlaridan o'tayotgan tok  $I_{ya}$  bilan uyg'otish chulg'aming magnit oqimi  $\Phi$  ning o'zaro ta'siridan elektromagnit kuch  $F$  hosil bo'ladi, uning yo'nalishi chap qo'l qoidasiga ko'ra aniqlanadi. Mazkur kuch aylantiruvchi momentni yuzaga keltiradi:

$$M = k\Phi I_{ya}.$$

Natijada yakor aylana boshlaydi. Elektromagnit moment  $M$  valning qarshilik momenti  $M_q$  ni yengadi va elektr mashina motor rejimida ishlay boshlaydi.

Yakor aylanganda chulg'amdagi o'ramlar magnit kuch chiziqlarini kesib o'tadi va ularda EYuK  $E = c\Phi n$  induksiyalanadi. O'ng qo'l qoidasidan foydalanib, har bir o'ramda induksiyalangan bu EYuK ning undan o'tayotgan tokka teskari yo'nalganligiga ishonch hosil qilish mumkin.

Demak, yakor chulg`amida induksiyalangan EYuK unga berilgan tashqi kuchlanishga qarama-qarshi yo`nalgan. Shuning uchun bu EYuK *teskari EYuK*  $E_t$  nomini olgan.

Kuchlanish  $U$  va  $E_t$  ning qarama-qarshi yo`nalganligini hisobga olib, yakor zanjiridagi tok uchun quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$I_{ya} = \frac{U - E_T}{R_{ya}} = \frac{U - c\Phi n}{R_{ya}}$$

yoki

$$U = E + I_{ya}R_{ya}$$

Motor qismlariga berilgan kuchlanish  $U$  teskari EYuK ni va kuchlanishning yakor chulg`aming qarshiligi  $R_{ya}$  dagi pasayuvchi kompensatsiya qiladi. Motor normal ishlaganda  $I_{ya}R_{ya}$  ning qiymati nisbatan kichik va teskari EYuK tarmoq kuchlanishi  $U$  ning 90-95% ni tashkil etadi.

Parallel uyg`otishli motorning tarmoqdan iste`mol qilayotgan toki yakor va uyg`otish chulg`amlaridan o`tayotgan toklarning yig`indisiga teng, ya`ni

$$I = I_{ya} + I_u$$

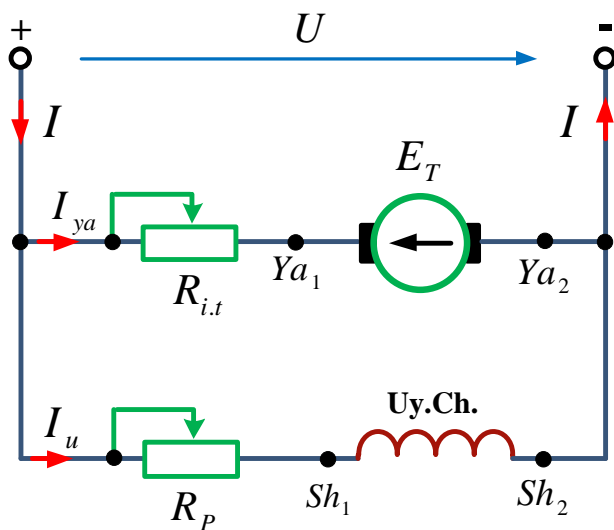
**Motorni ishga tushirish.** O`zgarmas tok motorning yakoridagi tok

$$I_{ya} = \frac{U - E_T}{R_{ya}} = \frac{U - c\Phi n}{R_{ya}}$$

formula bilan ifodalangan edi. Agar motorni kuchlanishi  $U$  bo`lgan tarmoqqa ulasak, ishga tushirishning boshlang`ich lahzasida yakor o`zining tinch holatidagi inersiyasini saqlashi  $n = 0$  tufayli  $E_T = 0$  bo`lib, motorning toki yakorning qarshiligi bilan cheklanadi, ya`ni

$$I_{i.t.} = I_{q.t.} = \frac{U}{R_{ya}}$$

Bu tok yakorning qisqa tutashish toki  $I_{q.t.}$  ham deyiladi.  $U$  (18 ÷ 20)  $I_{ya.nom}$  ga teng. Yakor chulg`amini bunday o`ta katta tokdan saqlash maqsadida yakor chulg`amiga ketma-ket qilib ishga tushirish reostati  $R_{i.t}$  ulanadi (6.24-rasm).



6.24-rasm.

U holda ishga tushirishning boshlang'ich lahzasida yakordagi tok  $I_{ya} = U / (R_{ya} + R_{i,t})$ . Ishga tushirish vaqti qisqa bo'lishi uchun ishga tushirish tokining joiz qiymati  $I_{i,t} = (1,5 \div 2) I_{ya,nom}$  bo'lishi kerak. Shu bilan bir vaqtda ishga tushirish momenti  $M_{i,t}$  ham nominal moment  $M_{nom}$  dan  $1,5 \div 2$  marta katta bo'ladi. Motorning aylanish tezligi

orta borgan sari teskari EYuK  $E_T$  ning ham qiymati orta borib, yakordagi tok va aylantiruvchi moment kamaya boradi. Aylanuvchi momenti bir me'yorda ushlab turish uchun ishga tushirish reostatining qarshiligi bir tekis kamaytira boriladi va motor nominal tezlikka erishganda ( $R_{i,t} = 0$  da) yakor zanjiridan uzib qo'yiladi. Demak, motorni har gal tarmoqdan ajratganda ishga tushirish reostatini qayta boshlang'ich holatga keltirib qo'yish kerak.

**Motorning o'z-o'zidan rostlanish prinsipi.** Motorning o'z-o'zidan rostlanish prinsipini tushuntirish uchun yakor zanjiridagi tok formulasiga murojaat qilamiz:

$$I_{ya} = \frac{U - E_T}{R_{ya}} = \frac{U - c\Phi n}{R_{ya}}$$

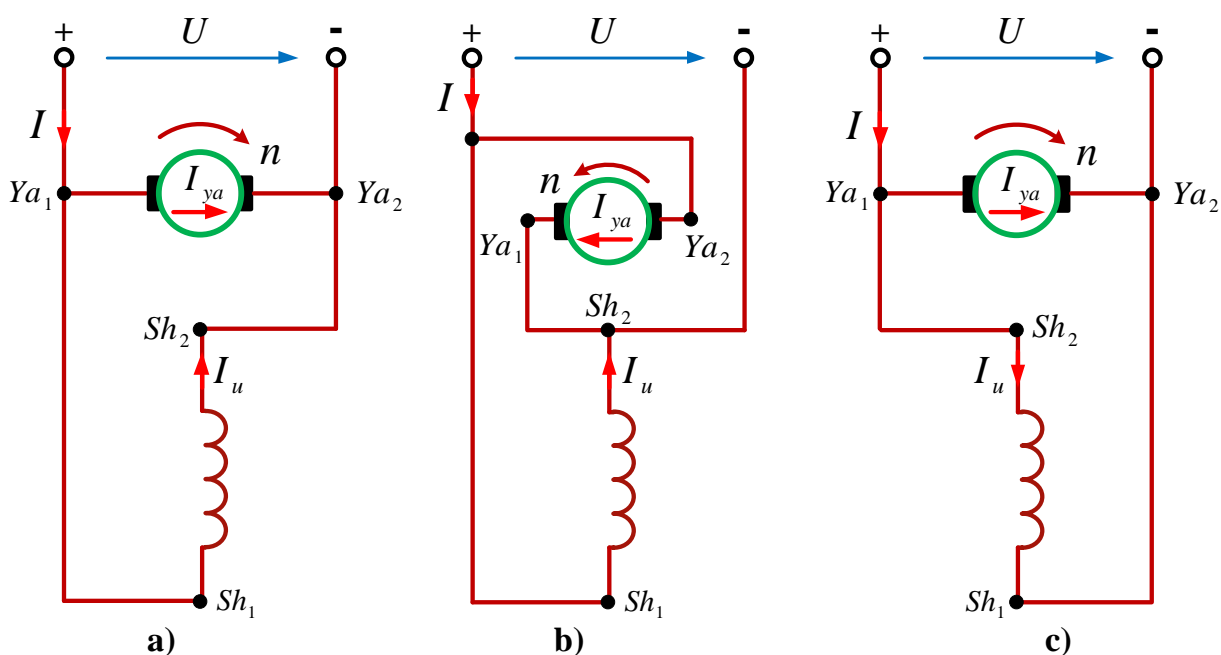
Agar qarshilik momenti  $M_q$  ortsa, motorning aylanish tezligi  $n$  va teskari EYuK  $E_T = c\Phi n$  kamayadi. Natijada yakor toki  $I_{ya}$  va u bilan birgalikda aylantiruvchi moment  $M = k\Phi I_{ya}$  yangi qarshilik momenti bilan tenglashguncha ortadi. Aksincha, qarshilik momenti  $M_q$  bilan tenglashuviga qadar kamayadi. Demak, o'zgarmas tok motori yuklama o'zgarganda tashqi ta'sirsiz o'z-o'zidan rostlanish xususiyatiga ega ekan. Bu jarayonni quyidagicha ifodalash ham mumkin:

$$\rightarrow M_q \uparrow \rightarrow n \downarrow \rightarrow E_t \downarrow \rightarrow I_{ya} \uparrow \rightarrow M \uparrow$$

yoki

$$\rightarrow M_q \downarrow \rightarrow n \uparrow \rightarrow E_t \uparrow \rightarrow I_{ya} \downarrow \rightarrow M \downarrow$$

**Motorni reverslash.** O'zgarmas tok motorining aylanish yo'nalishini o'zgartirish (reverslash) uchun yakor yoki uyg'otish zanjiridagi tokning yo'nalishini teskarisiga o'zgartirish kerak. Buning uchun yakorning  $Ya_1$  va  $Ya_2$  yoki uyg'otish zanjirining  $Sh_1$  va  $Sh_2$  uchlarini motorni ishga tushirish sxemasiga binoan o'zaro o'rnini almashtirish kerak.



6.25-rasm.

6.25- a rasmda o'zgarmas tok motorining chulg'amlarini ulashning prinsipial sxemasi (reverslagunga qadar), 6.25- b va c rasmlarda esa motorning aylanish yo'nalishini o'zgartirishning sxemalari ko'rsatilgan.

**Motorning aylanish tezligi.** Motorning yakor toki formulasi  $I_{ya} = \frac{U - E_T}{R_{ya}} = \frac{U - cF\Phi n}{cF}$  dan uning aylanish tezligini ifodalovchi formula

$$n = \frac{U - I_{ya}R_{ya}}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi} \quad (6.14)$$

ni olish mumkin. (6.14) formuladan ko'rinadiki, motorning aylanish tezligi kuchlanishga to'g'ri, magnet oqimiga teskari proporsional. Agar tarmoq kuchlanishni motorning ish jarayonida o'zgarmas deb hisoblasak, uning aylanish



tezligini faqat magnit oqimi orqali boshqarish mumkin bo'ladi. Magnit oqimi bilan uyg'otish toki  $I_u$  ning  $F=I_y\omega_y / R_m$  bog'lanishini hisobga olsak, motorning aylanish tezligi uyg'otish zanjirining parametrlariga bog'liq bo'ladi. Odatda, motor uchun  $W_y$  va  $R_m$  lar o'zgarmas bo'lgani uchun uning tezligi uyg'otish tokigagina bog'liq bo'ladi.

#### 6.14. Parallel uyg'otishli o'zgarmas tok motorining xarakteristikalari

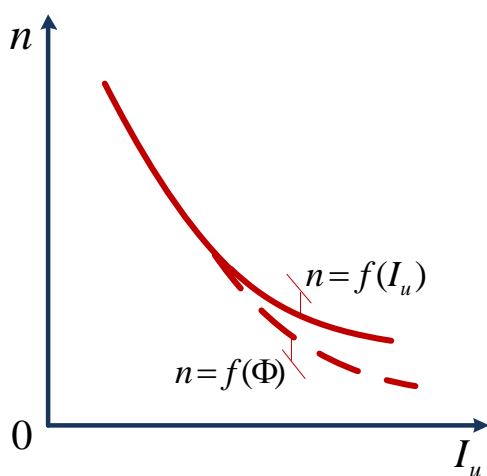
Parallel uyg'otishli o'zgarmas tok motorining xususiyatlarini batafsil bilish uchun uning xarakteristikalari bilan tanishib chiqamiz.

**Salt ishlash xarakteristikasi** Motor qismalaridagi kuchlanish o'zgarmas va uning o'qidagi foydali quvvat  $P_2 = 0$  bo'lganda yakor aylanish tezligining uyg'otish tokiga bog'liqligini ifodalaydi. Buni quyidagicha ifodalash mumkin:  $U = const, P_2 = 0$  bo'lganda  $n = f(I_u)$ .

Motorning aylanish tezligi va magnit oqimi formulalarga murojaat qilamiz:

$$n = \frac{U - I_{ya}R_{ya}}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi} \quad \Phi = \frac{I_u\omega_u}{R_M}$$

Ushbu ifodalardan ko'rinib turibdiki, motorning aylanish tezligi magnit oqimi  $\Phi$  ga, u esa o'z navbatida, uyg'otish toki  $I_u$  ga bog'liq. Uyg'otish tokining dastlabki qiymatlarida mashinaning magnit sistemasi to'yinmagan bo'lib, magnit toki uyg'otish tokiga proporsionaldir.



6.26-rasm.

Agar uyg'otish toki kuchli bo'lsa, mashinaning magnit sistemasi to'yingan bo'ladi va uyg'otish tokining bundan keyingi ortishi magnit oqimini yanada kamaytiradi. Magnit to'yinishi tufayli  $n = f(I_u)$  kuchli uyg'otish toklarida absissa o'qiga deyarli parallel holda bo'ladi.  $n = f(I_u)$  giperbolik xarakterga ega. Motorning salt ishlash xarakteristikasi 6.26-rasmida ko'rsatilgan.

Xarakteristikadan ko'rinib turibdiki, motorning tezligini keng doirada boshqarish mumkin. Bu rejimda uyg'otish zanjirining ishonchliligiga alohida e'tibor berish kerak. Chunki motor ishlayotganda uyg'otish zanjirida uzilish sodir bo'lsa,  $I_u = 0$  va u bilan bog'liq magnit oqimi  $\Phi$  va teskari EYuK  $E_T$  ham nolga tenglashib, motor uchun xavfli bo'lgan o'ta katta aylantiruvchi moment yuzaga keladi.

**Tashqi (yuklanish) xarakteristikasi** uyg'otish toki (aniqrog'i  $R_r = const$ ) va kuchlanish o'zgarmas bo'lganda, motor aylanish tezligining yakor tokiga bog'liqligini ko'rsatuvchi egri chiziqdir. Binobarin,  $I_u = const$  ( $R_r = const$ ),  $U = U_{nom} = const$  bo'lganda  $n = f(I_{ya})$ .

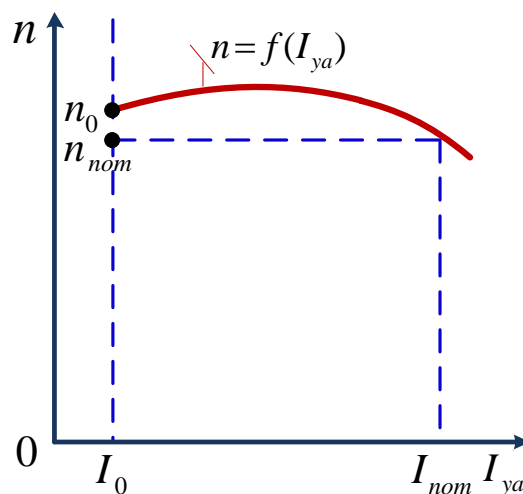
Yuklanish o'zgarganda yakorning aylanish tezligi qanday o'zgarishini ko'rish uchun motorning aylanish tezligini ifodalovchi formulaga murojat qilamiz:

$$n = \frac{U - I_{ya}R_{ya}}{c\Phi}$$

Ushbu ifodadan ko'rinadiki, yuklanish ortishi bilan yakordagi kuchlanishning pasayuvi ( $I_{ya}R_{ya}$ ) ortadi. Bu esa yakorning aylanish tezligini kamaytiradi, shuningdek yakor reaksiyasining ortishiga sabab bo'ladi. Natijada teng ta'sir etuvchi magnit oqimi biroz kamayib, motorning tezligi ortadi. 6.27-rasmda motoring tashqi xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Yakordagi kuchlanishning pasayuvi yakor reaksiyasining magnitsizlash ta'siridan kuchli bo'lgani uchun motorning aylanish tezligi biroz kamayadi. Aylanish tezligining o'zgarishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta n\% = \frac{n_0 - n_{nom}}{n_{nom}} \cdot 100$$

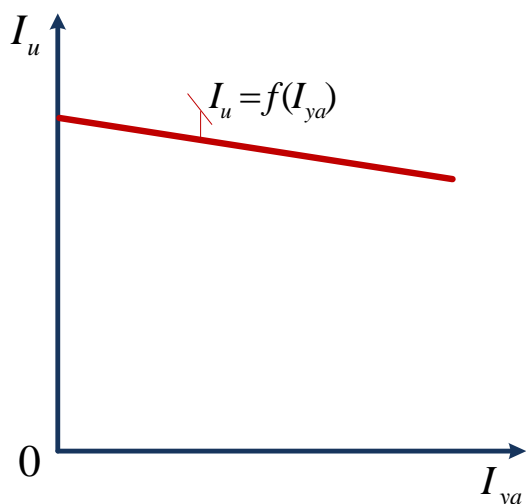


6.27-rasm.

bu yerda  $n_{nom}$  - motorning nominal yuklama bilan aylanish tezligi;  $n_0$  - motorning salt ishlashdagi aylanish tezligi.

Parallel uyg'otishli motorlarda  $\Delta n = (2 \div 5)\%$  ni tashkil etadi. Yuklama o'zgarganda aylanish tezligining ozgina qiymatiga o'zgarishi, parallel uyg'otishli motorning o'ziga xos xususiyati bo'lib, uning xarakteristikasi "qattiq" hisoblanadi.

**Rostlash xarakteristikasi** motorning aylanish tezligi va tarmoq kuchlanishi o'zgarmas bo'lganda uyg'otish tokining yakor tokiga bog'liqligidir, ya'ni  $n = const, U = const$  bo'lganda  $I_u = f(I_{ya})$ .



**6.28-rasm.**

Ushbu xarakteristika (6.28-rasm) motorning salt ishlashidan to nominal yuklamagacha bo'lgan oraliqda uning aylanish tezligi o'zgarmas bo'lishini ta'minlash uchun uyg'otish tokini qay darajada o'zgartirish kerakligini ko'rsatadi. Haqiqatdan ham, yuklama ortganda Motorning aylanish tezligi kamayadi, ammo  $n = const$  shartini bajarish uchun magnit oqimi  $\Phi$  ni, ya'ni uni hosil qiluvchi

uyg'otish toki  $I_u$  ni biroz kamaytirishi kerak bo'ladi.

### 6.15. Ketma-ket uyg'otishli o'zgarmas tok motorining xarakteristikalari

Ketma-ket uyg'otishli o'zgarmas tok motorida uyg'otish chulg'ami bilan yakor chulg'ami o'zaro ketma-ket ulangani uchun  $I_u = I_{ya} = I$  bo'ladi. Barcha tok uyg'otish chulg'amidan o'tganligi uchun uning kesimi katta va o'ramlari soni oz bo'ladi.

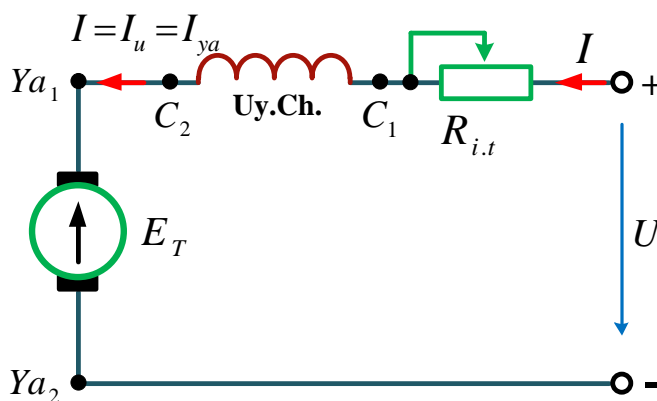
Motor salt ishlaganda yoki yuklama kam bo'lganda uning tarmoqdan iste'mol qiladigan toki  $I_u$  va u hosil qiladigan magnit oqimi  $\Phi$  kichik bo'ladi:

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_{ya}(R_{ya} + R_y)}{c\Phi}$$

Bunda motorning aylanish tezligi nominaldagidan 3-4 marta ortiq bo'radi. Shuning uchun bunday motorni yuksiz ishlatish va o'zgaruvchan yuklamaga ulash mumkin emas.

Ketma-ket uyg'otishli motorning elektr tarmog'iga ulanish sxemasi 6.29-rasmda ko'rsatilgan.

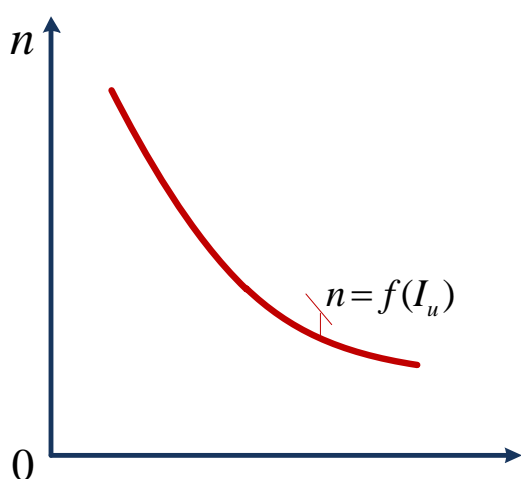
Uyg'otish toki yuklama tokiga teng  $I_u = I_{ya}$  bo'lgani uchun mazkur motorning salt ishlash va rostlash xarakteristikalarini olib bo'lmaydi. Faqat  $U = const$  bo'lganda tashqi xarakteristikasi  $n = f(I_u)$  ni olish mumkin. Bu bog'lanish quyidagi formula bilan ifodalanadi:



6.29-rasm.

$$n = \frac{U - I_{ya}(R_{ya} + R_u)}{c\Phi}; \quad \Phi = f(I_u) = f(I).$$

Demak, yuklama toki ortishi bilan magnit oqimi  $\Phi$  ortadi, tezlik esa kamayadi. Bu bog'lanish mashinaning magnit sistemasi to'yinmagan holatda

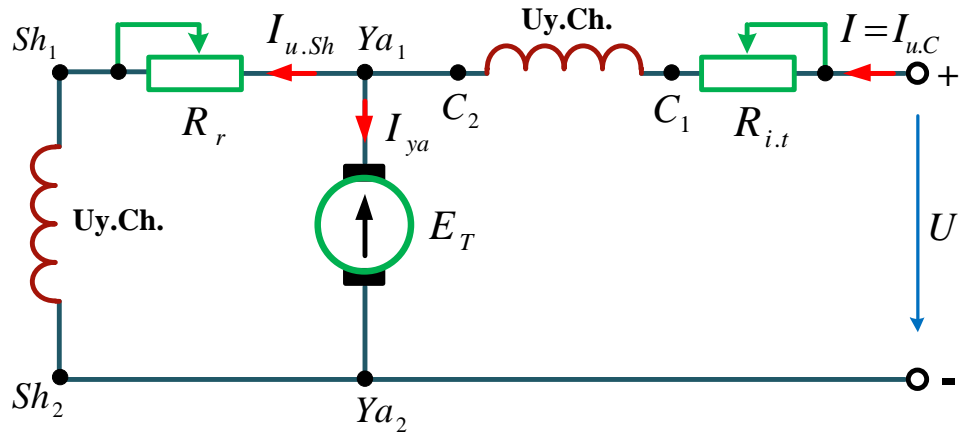


6.30-rasm.

parallel uyg'otishli motornikiga o'xshash bo'lib, giperbolikdir. Motorning tashqi xarakteristikasi 6.30-rasmda ko'rsatilgan. Katta yuklamada mashinaning magnit sistemasi to'yingan bo'lib, magnit oqimi  $F$  ning va aylanish tezligi  $n$  ning o'zgarishi kam bo'lganidan xarakteristika abssissalar motorlar xarakteristikasining "yumshoq"ligi bilan ajralib turadi. Bu motorlar ko'proq elektr transportida va kranlarda ishlatiladi.

### 6.16. Aralash uyg'otishli o'zgarmas tok motorining xarakteristikalari

Bunday motorlarda ikkita uyg'otish chulg'ami bo'lib, ulardan biri yakorga ketma-ket ulansa, ikkinchisi parallel ulanadi. Mazkur motorning prinsipial sxemasi 6.31-rasmda ko'rsatilgan. Ketma-ket chulg'am parallel chulg'am bilan mos qilib ulanadi, shundagina ularning magnit oqimlari qo'shiladi.



6.31-rasm.

Bu holda motor parallel va ketma-ket uyg'otishli motorning “o'rtacha” xususiyatlariga ega bo'ladi. Uyg'otish chulg'amlari qarama-qarshi ulanganda motor o'zgarmas tezlikka erishishi mumkin. Bunday xarakteristika “qattiq” hisoblanadi.

**Salt ishlash xarakteristikasi.** Yuklama toki  $I = 0$  bo'lganda, ketma-ket uyg'otish chulg'amidan o'tadigan ozgina tokni hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda motor parallel uyg'otishli motorning salt ishlash xarakteristikasidan farq qilmaydi.

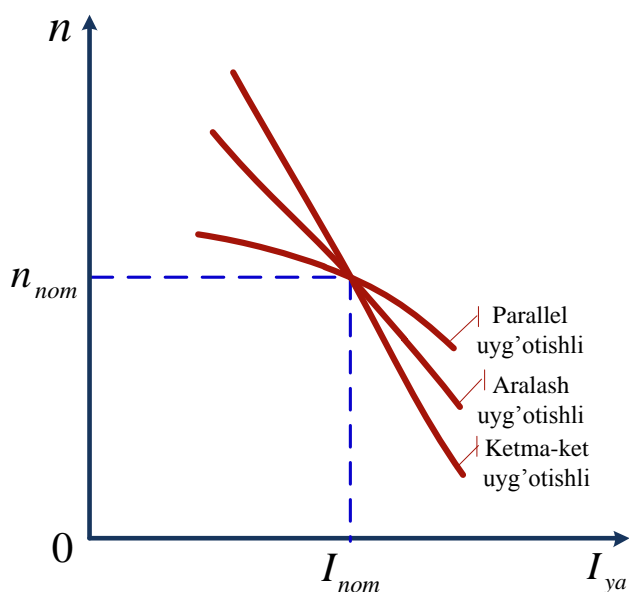
**Tashqi (yuklanish) xarakteristikasi** kuchlanish va parallel uyg'otish zanjiridagi tok  $I_{u.Sh}$  (aniqrog'i, shu zanjirdagi rostlanish reostatining qarshiligi  $R_r$ ) o'zgarmas bo'lganda motor aylanish tezligining yakor tokiga bog'liqligini ifodalovchi egri chiziqdir, ya'ni  $I_{u.Sh} = const$ ,  $U = const$  bo'lganda  $n = f(I_{ya})$ . Bunda:

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_{ya}(R_{ya} + R_c)}{c(\Phi_{sh} + \Phi_c)} \quad (6.15)$$

$$\Phi_{Sh} = \frac{I_{u.Sh}\omega_{Sh}}{R_M}; \quad \Phi_c = \frac{I_{y.c}\omega_c}{R_M}.$$

bu yerda  $\Phi_{Sh}$  va  $\Phi_c$  - tegishlicha parallel (shuntli) va ketma-ket (seriesli) chulg`amning hosil qilgan magnit oqimi.

Yuklama ortganda yakor toki va ketma-ket uyg`otish chulg`amining toki ( $I_{kk.} = I_{u.s}$  va  $u$  bilan birgalikda  $F_s$  ham) ortib, motorning aylanish tezligi kamayadi. Motorning tashqi xarakteristikasi 6.32-rasmda ko`rsatilgan.



**6.32-rasm.**

### Rostlash xarakteristikasi.

Ushbu xarakteristika motorning aylanish tezligini rostlash kerak bo`lgan joylardagina ishlatiladi. Shuning uchun mazkur motorning rostlash xarakteristikasi olinmaydi.

Aralash uyg`otishli motorlar elektr poyezdlarda, kompressorlarda, nasoslarda, yo`nish dastgohlarida, prokat stanlarida, umuman katta

moment va tezlanish kerak bo`lgan joylarda ishlatiladi.

### 6.17. O`zgarmas tok motorlarining nominal kattaliklari va FIK

Bunday motorning nominal kattaliklariga quyidagilar kiradi:

- ❖  $P_{nom}$ - nominal quvvat, [kVt];
- ❖  $U_{nom}$ - nominal kuchlanish,[V];
- ❖  $I_{nom}$ - nominal tok, [A];
- ❖  $n_{nom}$ - nominal aylanish tezligi, [ayl/ min].

Nominal quvvat  $P_{nom}$ - motorni ishlab chiqargan zavod tomonidan normal sharoitlar uchun belgilanadi. Motorning haqiqiy quvvati uning validagi qarshilik momenti bilan aniqlanadi.

Motorning quvvati  $R$  (kVt), aylantiruvchi momenti ( $N.m$ ) va aylanish tezligi (ayl/min) o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$P_M = \frac{M.n}{9550} \quad (6.16)$$

Motor ishlaganda quyidagi quvvat isroflari bo'ladi: yakor chulg'amidagi quvvat ( $\Delta P_{ya} = I_{ya}^2 R_{ya}$ ); uyg'otish zanjiridagi quvvat isrofi ( $\Delta P_u = I_u^2 R_u$ ); magnit maydoni hosil qilishdagi (po'latdagi) quvvat isrofi ( $\Delta P_p$ ); mexanik quvvat isrofi ( $\Delta P_{mex}$ ).

Motor iste'mol qiladigan elektr quvvati mexanik foydali quvvati  $P$  dan quvvat isroflari  $\sum \Delta P$  qiymaticha katta, ya'ni

$$P_E = P_M + \sum \Delta P = P + \Delta P_{ya} + \Delta P_u + \Delta P_p + \Delta P_{mex}.$$

U holda motorning foydali ishi koeffitsienti quyidagicha ifodalanadi:

$$\eta = \frac{P_i}{P} \cdot 100\% = \frac{P_M}{P + \sum \Delta P} \cdot 100\%$$

Umuman, o'zgarmas tok mashinasining quvvati ortgan sari uning foydali ish koeffitsienti ham ortadi. O'ta kichik quvvatli mashinalarning FIK  $30 \div 40\%$  bo'lsa, katta quvvatlilarniki  $83 \div 96\%$  atrofidadir.

## VII BOB. ELEKTRONIKA. YARIM O`TKAZGICH ASBOBLAR VA QURILMALAR

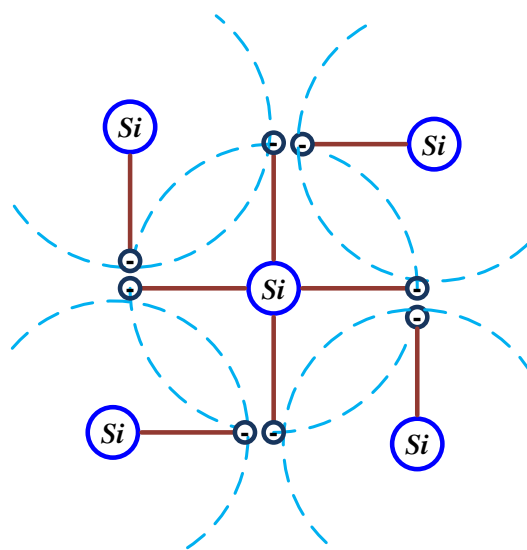
### 7.1. Umumiy tushunchalar.

Elektr tokining o`tkazgichi bo`lgan har qanday metall strukturada bir atomdan ikkinchi atomga erkin o`tib yuradigan elektronlar bo`ladi.

Yarim o`tkazgichlar elektronikasi solishtirma elektr o`tkazuvchanligi o`tkazgich va dielektriklarning elektr o`tkazuvchanliklari orasida bo`lgan maxsus moddalar xususiyatidan foydalanishga asoslangan. Bunday moddalar *yarim o`tkazgichlar* deb ataladi.

Oddiy temperaturada yarim o`tkazgichlar atomlardagi elektronlarning energiyasi ularning yadrodan uzoqlashib, elektr toki hosil qilishga yetarli bo`lmaydi.

Biroq, potentsiallar ayirmasi ta`sirida bu elektronlar tartiblangan harakatga kelib, elektr tokini hosil qila oladi. Yarim o`tkazgichlarda bir yo`nalishdagi o`tkazuvchanlikning hosil bo`lishini quyidagi keng tarqalgan modelda ko`rsatamiz. Ma`lumki, yarim o`tkazgichlar kristall strukturaga ega, ya`ni ularning atomlari bir-biri bilan kristall panjara hosil qilib bog`langan. 7.1-rasmda to`rt valentli



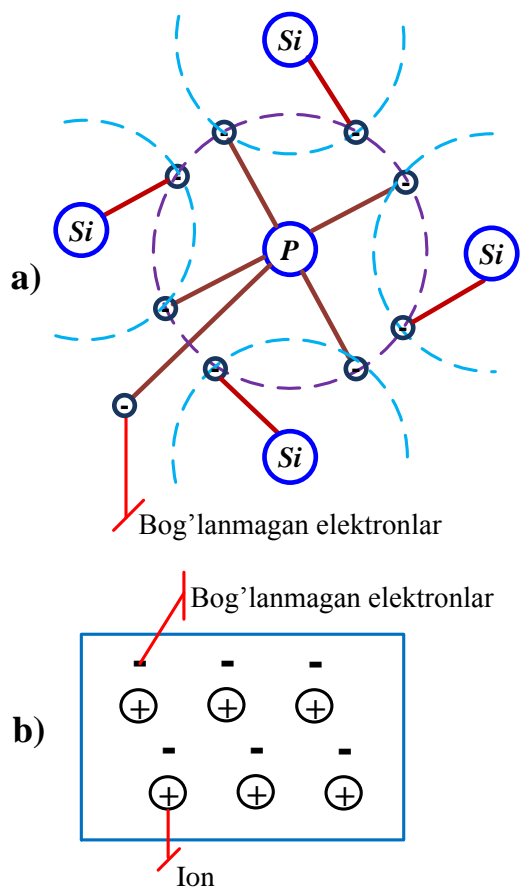
7.1-rasm.

kremniyning atomlararo bog`lanishining modeli tasvirlangan. 7.2-rasmda fosfor aralashgan kremniyli yarim o`tkazgich kristall panjarasining modeli: 7.2-a rasmda panjaraning strukturasi; 7.2- b rasmda esa  $n$  tipdagi yarim o`tkazgichning tasviri berilgan.

Kremniy atomining yadrosi atrofidagi orbitada joylashgan to`rtta valent elektroni boshqa to`rtta atomning elektronlari bilan elektron juftlar hosil qiladi. Atomlarga tashqi ta`sir (issiqlik, nurlanish) bo`lmasa, ularning strukturasi



o'zgaraydi va har bir atom elektr jihatdan neytralligicha qoladi. Bundan yarim o'tkazgich esa tokni o'tkazmaydi.



**7.2-rasm.**

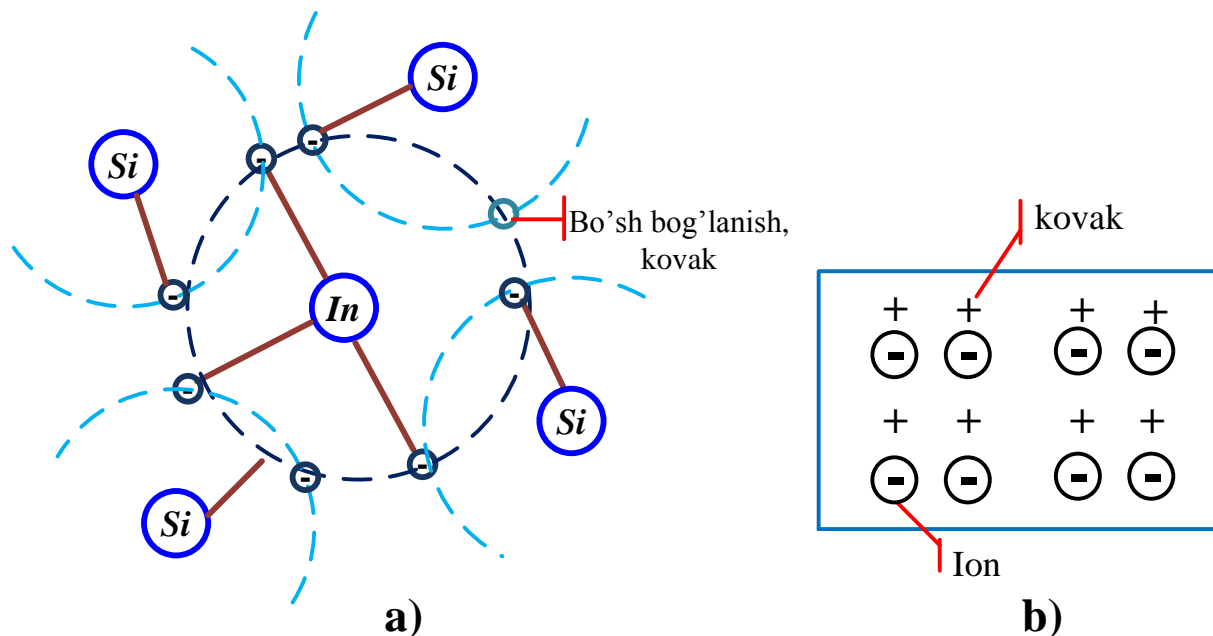
Agar kremniy monokristaliga valent elektronlari soni kremniydan ko'p yoki kam bo'lgan boshqa kimyoviy element kiritilsa (masalan beshinchi yoki uchinchi gruppada elementi), ahvol keskin o'zgaradi. 7.2-a rasmda besh valentli fosforning to'rt valentli kremniy bilan hosil qilgan kristall panjarasining modeli ko'rsatilgan. Bu birikmada elektron juftlar hosil bo'lganida, har bir fosfor atomi musbat ion bo'ladi. Yarim o'tkazgich esa ana shu elektron hisobiga o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, n-tipidagi yarim o'tkazgich deb ataladi. Uning sxematik belgilanishi 7.2- b rasmda ko'rsatilgan. Bunday yarim o'tkazgich tashqi issiqlik hamda nurlanishlarga

ta'sirchan bo'ladi va agar o'zgaras kuchlanish manbaiga ulansa, o'zidan tokni o'tkazadi.

Yarim o'tkazgichning elektro'tkazuvchanligi, unga valent elektronlari soni kam bo'lgan kimyoviy element kiritish bilan ham orttirsa bo'ladi. 7.3- a rasmda uch valentli indiy ( $I_n$ ) qo'shilgan kremniyning kristall panjarasi ko'rsatilgan.

Kristall panjarada indiyning atrofidagi to'rtta kremniy atomidan birining elektroni bilan elektron juft hosil qilish uchun indiyning elektroni etishmaydi. Etishmagan elektron o'rnida «kovak» hosil bo'ladi, biroq bu kovak qo'shni valent bog'lanishidagi elektron bilan to'latilishi mumkin. Agar shunday bo'lsa (masalan tashqi issiqlik ta'sirida) indiy atomi manfiy ionga aylanadi, elektronini yo'qotgan «valent bog'lanish» esa «kovakka» ega bo'ladi. Bu «kovak» o'z navbatida uchinchi valent bog'lanishidagi elektron bilan to'ldirilishi mumkin va hokazo.

Shunday qilib bitta hosil bo'lgan «kovak» yarim o'tkazgich bo'ylab tartibsiz ravishda hakatlanib, kovakli o'tkazuvchanlikni hosil qiladi. Bunday yarim o'tkazgich  $p$ -tipidagi yarim o'tkazgich deyiladi, uning tasviri 15- b rasmda ko'rsatilgan.



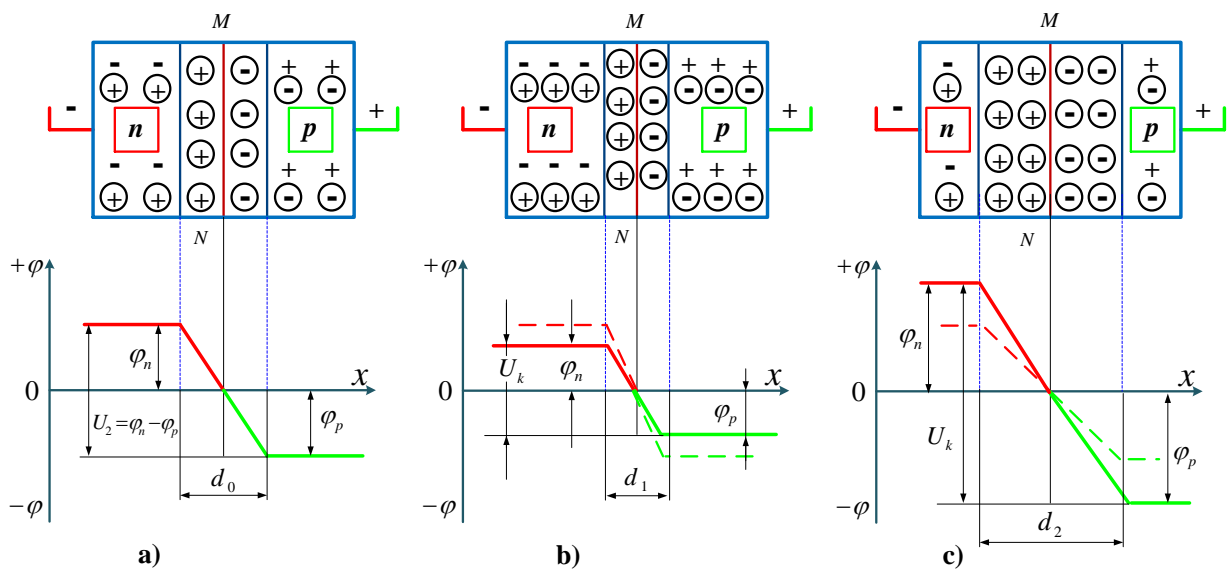
**7.3-rasm.**

Elektronli ( $n$ -tipidagi) va kovakli ( $p$ -tipidagi) yarim o'tkazgichlarning modelini ko'rib chiqib, ulardagi erkin zaryadlar - elektronlar va kovaklar, metallar kabi elektr o'tkazuvchanlikni ta'minlay olmasligini ko'ramiz. Yarim o'tkazgichlarda erkin zaryad tashuvchilar soni qo'shimchalarning massasi bilan aniqlanadi. Shuning uchun alohida olingan  $n$  va  $p$  -tipdagi yarim o'tkazgichlar yaxshi o'tkazgich hisoblanmaydi, biroq ular dielektrik ham emas.

### **7.2. Yarim o'tkazgichli asboblarning ish jarayonlari**

Amalda birida elektronli o'tkazuvchanlik, ikkinchisida kovakli o'tkazuvchanlik kuchli bo'lgan ikki yarim o'tkazgich kontaktda turganida sodir bo'ladigan hodisalar katta ahamiyatga ega. Bunda (7.4- a rasm) tutashish chegarasida  $n$ -tipi yarim o'tkazgichdagi me'yordan ko'p elektronlar  $p$ -tipdagi yarim o'tkazgichga,  $p$ -tipi yarim o'tkazgichdagi me'yordan ko'p kovaklar  $n$ -tipdagi yarim o'tkazgichga o'tadi Bu  $n - p$  o'tish deyiladi. O'tgan elektron va kovaklar bir-birlari bilan to'qnashib kombinatsiyalanadi, ya'ni bir-birini

kompensatsiyalaydi. Shu tufayli MN chegara bo`ylab chapda «ochilib» qolgan musbat ionlar (masalan, o`zining ortiqcha elektronlarini yo`qotgan fosfor atomlari), o`ngda esa «ochilib» qolgan manfiy ionlar (masalan, fosfor elektronlari bilan o`z kovaklarini to`ldirgan indiy atomlar) vujudga keladi. Bu esa o`z navbatida  $\varphi_n$  va  $\varphi_p$  potentsiali hajmiy zaryad hosil bo`lishiga olib keladi (7.4- a rasm). Bu zaryadlar ayirmasi  $U_K = \varphi_n - \varphi_p$  kontakt potentsiallar ayirmasi deyiladi va zaryadlarning diffuziyalanishiga yo`l qo`ymaydigan potensial to`siqni hosil qiladi. Natijada  $p - n$  o`tishda tok hosil bo`lmaydi.



**7.4-rasm.**

Agar yarim o`tkazgichning  $p$  va  $n$  qatlamlariga ma`lum qutblanishdagi kuchlanish ulansa,  $p - n$  o`tishda keskin o`zgarish ro`y beradi. Tashqi kuchlanishning musbat qutbi  $p$  qatlamga, manfiy qutbli  $n$  qatlamga ulansa, bu kuchlanish ta`sirida  $p$  qatlamning manfiy ionlari chegara oldi qatlamni tark etadi, bunda manfiy hajmiy zaryad va  $\varphi_n$  kamayadi. Xuddi shunga o`xshash tashqi manbaning manfiy qutbi potentsiali ta`sirida musbat hajmiy zaryad va  $\varphi_n$  kamayadi. Hajmiy zaryadlar kamayishi hisobiga  $n - p$  qatlam ham kichrayadi, ya`ni  $d_1 < d_0$  (7.4- b rasm) bo`ladi. Tashqi kuchlanishning bunday ulanishi to`g`ri ulanish deyiladi va u yarim o`tkazgichlarda to`g`ri o`tkazuvchanlik tokini hosil qiladi. Yarim o`tkazgichlar esa o`tkazgichlar xususiyatiga ega bo`lib qoladi.

Tashqi kuchlanishning musbat qutbini  $n$  qatlamga, manfiy qutbini esa  $p$  qatlamga ulaymiz. Bunda erkin elektronlar manbaning musbat qutbiga, kovaklar esa manfiy qutbga tomon harakatlanadi. Chegara oldi qatlamda esa «ochilib» qolgan musbat va manfiy ionlar ko'payib, hajmiy zaryadlar,  $\varphi_n$  va  $\varphi_p$  potentsiallari ortadi. Potensial to'siq  $U_K = \varphi_n - \varphi_p$  ham ortadi.  $n-p$  o'tishning kengligi ham ortadi, ya'ni  $d_2 > d_0$  (7.4-c rasm) bo'ladi. Bunday ulangan kuchlanish teskari kuchlanish, u tufayli yuzaga kelgan juda kichik tok teskari o'tkazuvchanlik toki deyiladi. Keskin ortgan potensial yarim o'tkazgichni izolyatorga aylantiradi.

Yarim o'tkazgichli diodda yuqorida ko'rib o'tilgan elektron kovakli o'tishning aynan o'zi sodir bo'ladi. Uning volt-ampere xarakteristikasi 7.5-c rasmda keltirilgan.

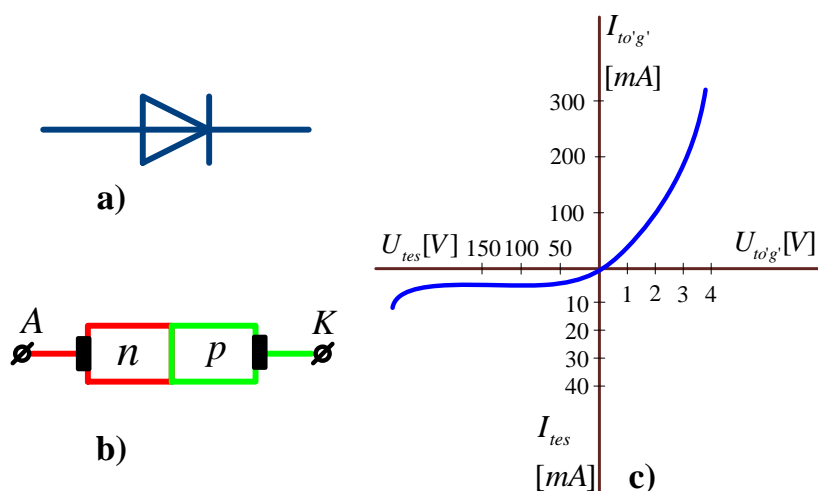
### 7.3. Yarim o'tkazgich asboblari va ularning volt-ampere tavsiflari

**Yarim o'tkazgichli diod.** Yarim o'tkazgichli diod bu bitta  $n-p$  o'tishli ikkita elektrodli, tokni bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega elektron asbobdir. Katta bo'lmagan to'g'ri kuchlanish ulanganda dioddan katta miqdordagi to'g'ri tok o'tadi, teskari tok esa katta teskari kuchlanishlarda ham kichik miqdorda bo'ladi. Diodning to'g'ri kuchlanishga qarshiligi Ohm ning ulushlaridan (katta quvvatli asboblarda) bir necha Ohmgacha (kichik quvvatli asboblarda), teskari kuchlanishga

qarshiligi esa yuz va minglab Ohm ga teng bo'ladi.

7.5-rasmda yarim o'tkazgichli diodning volt-ampere xarakteristikasi va uning sxematik belgilanishi ko'rsatilgan.

Xarakteristikaning

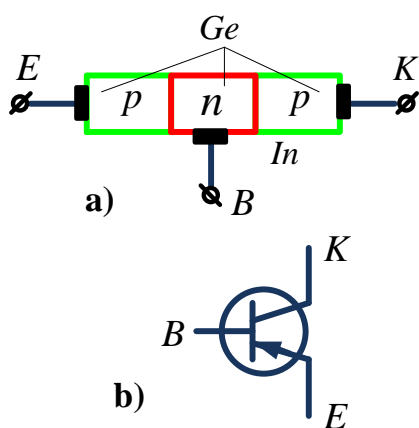


7.5-rasm.

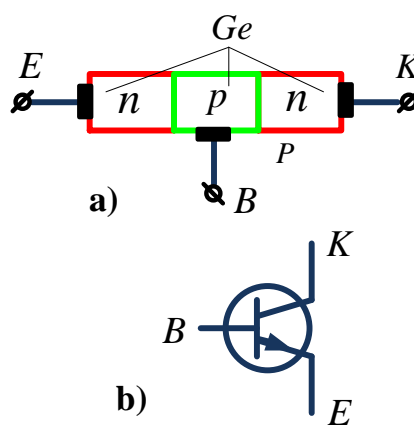
boshlanish qismida bog`lanish chiziqli emas. Bu to`g`ri kuchlanish ortganida yopuvchi (chegara oldi) qatlam qarshiligining kamayishi bilan tushuntiriladi. Teskari kuchlanish katta qiymatlarga erishganda juda kichik teskari tok hosil bo`ladi. Lekin teskari kuchlanishning haddan tashqari ortishiga ruxsat etilmaydi, chunki bunda diod shikastlanishi (teshilishi) va ishdan chiqishi mumkin.

Elektronli va yarim o`tkazgichli diodlar o`zgaruvchan tokni o`zgarmas tokka aylantirish uchun ishlatiladi. To`g`rilash sxemalari va zanjirlari keyinroq alohida ko`rib chiqiladi.

**Tranzistor.** Ikkita elektron-kovak o`tishli, uch qatlamli yarim o`tkazgich asbob tranzistor deb ataladi. Tranzistor turli elektr tebranishlarni generatsiyalash yoki kuchaytirish uchun xizmat qiladi. Oddiy  $p - n - p$  yoki  $n - p - n$  o`tishli bipolyar tranzistor 7.6 va 7.7-rasmlarda ko`rsatilgan.



7.6-rasm.

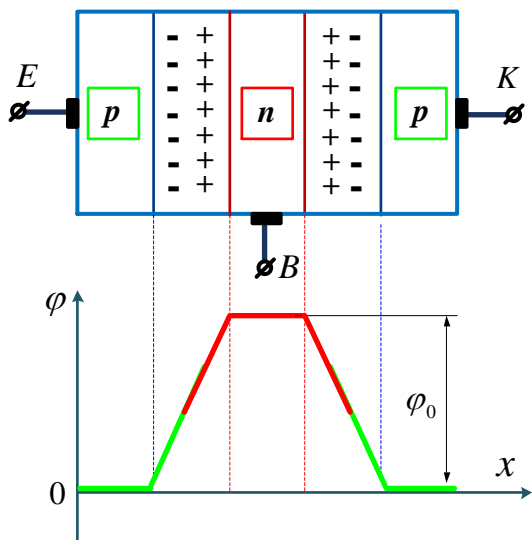


7.7-rasm.

$p - n - p$  tipdagi elektron-kovak o`tishli tranzistor (7.6- a rasm) ikki tomoniga uch valentli element (masalan, indi In) qo`shilgan yarim o`tkazgichdan, masalan, germaniy plastinka (Ge) dan iborat. Bu tranzistorning sxematik tasviri 7.6- b rasmda ko`rsatilgan.

$n - p - n$  tipdagi elektron-kovak o`tishli tranzistor ikki tomoniga besh valentli element, masalan, fosfor P qo`shilgan yarim o`tkazgichdan, masalan, germaniy (Ge) plastinkadan iborat. Tranzistorning tuzilishi 7.7- a rasmda, uning sxematik tasviri esa 7.7- b rasmda ko`rsatilgan.

Elektrodlar boʻlmish  $E$  (emitter),  $B$  (baza) va  $K$  (kollektor) lar orasidagi toklar ikki xil ishorali zaryad tashuvchilar – erkin elektronlar va kovaklar yordamida hosil boʻlgani uchun bunday tranzistor bipolyar, yaʼni ikki qutbli tranzistor deyiladi.

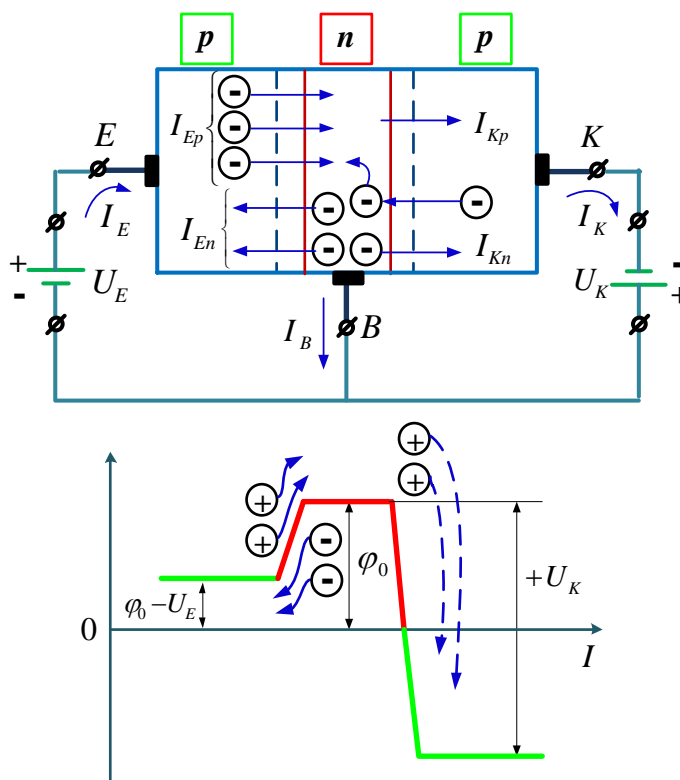


7.8-rasm.

ionlar hosil boʻlib, ular potentsiallar ayirmasi  $\varphi_0$  boʻlgan potensial toʻsiq hosil qiladi (12-rasm).

$U_e$  va  $U_K$ , oʻzgarmas kuchlanishlarni tranzistorning elektrodlariga 13-rasm, a da koʻrsatilgandek ulaymiz. Sxemaning chap tomonini toʻgʻri kuchlanishga ulangan diodga, oʻng tomonini esa teskari kuchlanishga ulangan diodga oʻxshatamiz. Lekin zaryad tashuvchilar (elektron va kovaklar) p-n-p qatlamlar orasidan bemaol oʻta olishi murakkab fizik jarayonlar hosil boʻlishiga olib keladi. Emitterning valent zonasidagi elektronlari  $U_e$  kuchlanish

Ayrim elektrodlarda toklarning hosil boʻlishi ularning bir-biriga taʼsiri va tok, kuchlanish hamda quvvatni kuchaytirish effektining vujudga kelishini p-n-p tipdagi tranzistor misolida koʻrib chiqamiz (7.8 va 7.9-rasmlar). «Tinch» holatda elektrodarga tashqi kuchlanish ulanmaydi, bunda p-n va n-p qatlamlar chegarasida elektronlar va kovaklar qisman rekombinatsiyalanadi. Natijada «ochilib» qolgan musbat va manfiy



7.9-rasm.

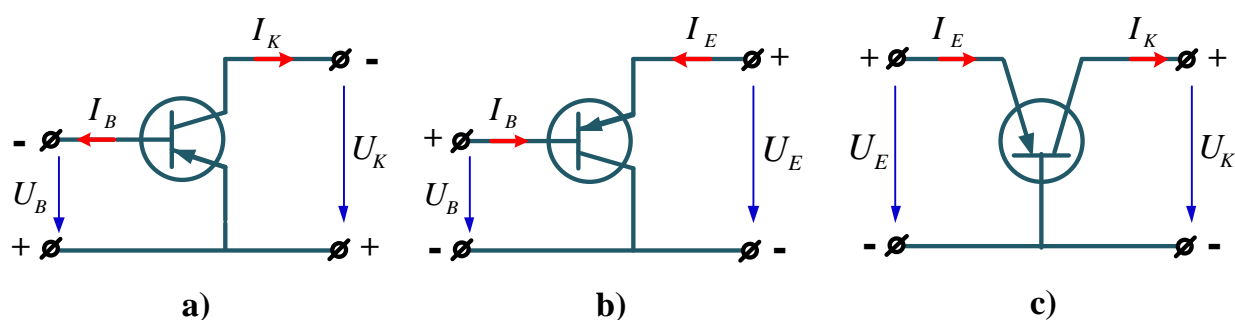
boʻlishiga olib keladi. Emitterning valent zonasidagi elektronlari  $U_e$  kuchlanish

ta'sirida tashqi zanjirga o'tadi, natijada hosil bo'lgan kovaklar baza sohasiga o'tadi. Bu zaryadlarning natijaviy harakati esa emitter toki  $I_e$  ni hosil qiladi. Kovaklar bazada qisman germaniyning erkin elektronlari bilan rekombinatsiyalanadi, asosiy qismi esa p-n-p o'tishning elektr maydoni ta'sirida kollektorga o'tib, unda  $I_K$  tokini hosil qiladi. Emitterdan chiqib bazadan o'tayotgan kovaklar kollektorga yaxshiroq yig'ilishi uchun kollektor o'tishining yuzasi emitter o'tishining yuzasidan kattaroq qilinadi (10-rasm, a, 11-rasm, a).

Emitter kovaklari bilan rekombinatsiyalangan elektronlar o'rniga bazaga tashqi zanjirdan yangi elektronlar oqib keladi va baza toki  $I_b$  hosil bo'ladi:

$$I_o = I_e - I_k \quad I_b = I_e - I_k$$

Tranzistorning boshqarilish xususiyati shundaki, uncha katta bo'lmagan  $U_e$  kuchlanish ta'sirida hosil bo'lgan emitter toki  $I_e$  o'ziga deyarli teng bo'lgan tok  $I_k$  ni hosil qiladi. Bu tok esa teskari ulangan va  $U_e$  kuchlanishdan ancha katta bo'lgan  $U_K$  kuchlanishni o'zgartiradi ( $U_K > U_e$ ). Bipolyar tranzistorning ishlashi emitterdan baza orqali kollektorga zaryad tashuvchilar oqimining o'tkazilishidan iborat. Ikkinchi tomon, tranzistorning strukturasi ikkita p-n o'tishga emitter - baza va kollektor - bazaga ajratsak, birinchi o'tishga elektr bilan ta'sir etib, ikkinchi o'tishning qarshiligini o'zgartirishimiz mumkin. Shunga asosan, asbobning nomi ham ikkita inglizcha so'z (*transfer* - o'zgartirmoq, *resistor* - qarshilik) dan kelib chiqadi.



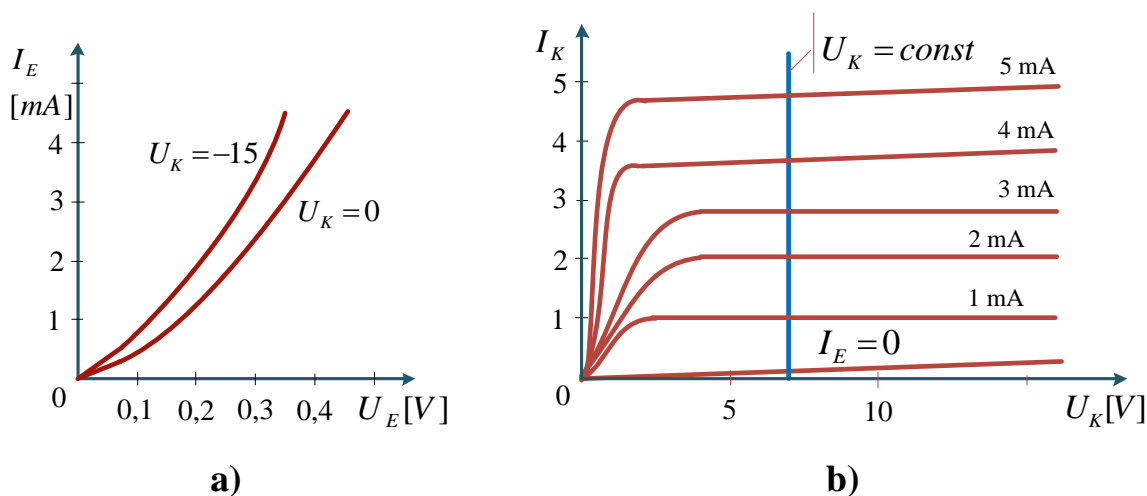
7.10-rasm.

Yarim o'tkazgichli bipolyar tranzistor uchta sxema bo'yicha ulanishi mumkin: a) umumiy emitter bilan; b) umumiy kollektor bilan; c) umumiy baza bilan (7.10-rasm). Bu sxemalar p-n-p tipdagi tranzistorning asosiy ish

xarakteristikalarini olish uchun qo'llaniladi. 15-rasm, a va b da umumiy baza (UB) bilan ulangan bipolyar tranzistorning kirish [ $I_e = f(U_e)$ , bunda  $U_k = const$ ] va chiqish [ $I_k = f(U_k)$ , bunda  $U_e = const$ ] xarakteristikalari ko'rsatilgan.

Kirish xarakteristikasidan ko'rinadiki, kuchlanish  $U_e$  o'zgarmaganida ham kollektorning manfiy kuchlanishga ulanishi ( $U_k < 0$ ) emitter tokining ma'lum darajada ortishga olib keladi. Bu esa elektr maydonning kollektor - baza o'tishdagi emitter injeksiyalayotgan kovaklarga ko'rsatayotgan qo'shimcha ta'sirini bildiradi.

$I_k = f(U_k)$  xarakteristikalari orqali tokning uzatish koeffitsienti



7.11-rasm.

$\alpha = \frac{\partial I_k}{\partial I_e} \approx \frac{\Delta I_k}{\Delta I_e}$  ni aniqlash mumkin, bu koeffitsient kollektor kuchlanishining belgilangan o'zgarmas miqdori uchun aniqlanadi.

Xarakteristikasi 15-rasm, b da ko'rsatilgan tranzistor uchun  $\alpha = 0,95$

Tranzistor umumiy emitterli (UE) sxema bo'yicha ulanganda (14-rasm, a) tokning uzatish koeffitsienti (bu sxema juda ko'p qo'llaniladi):  $\beta = \frac{\partial I_K}{\partial I_6} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_6}$ . Agar

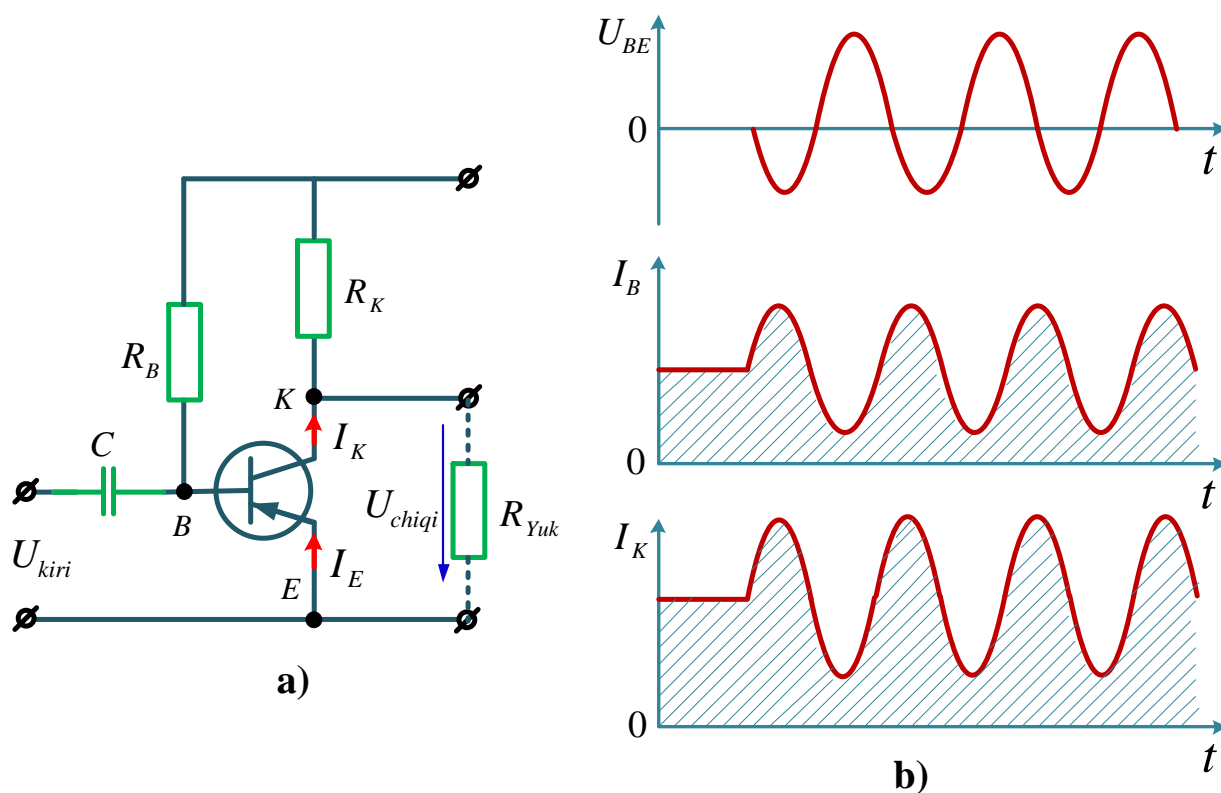
$\Delta I_6 = \Delta I_e - \Delta I_K$  ekanligini hisobga olsak,

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_e - \Delta I_K} = \frac{\Delta I_K / \Delta I_e}{1 - \frac{\Delta I_K}{\Delta I_e}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

ligini aniqlaymiz.



Agar  $\alpha = 0,95 \div 0,98$  bo'lsa,  $\beta = 20 \div 50$  bo'ladi, ya'ni UE sxemasi bo'yicha ulanganda baza tokiga proporsional bo'lgan kirish signali tranzistor yordamida  $\beta$  marta kuchaytirilishi mumkin.



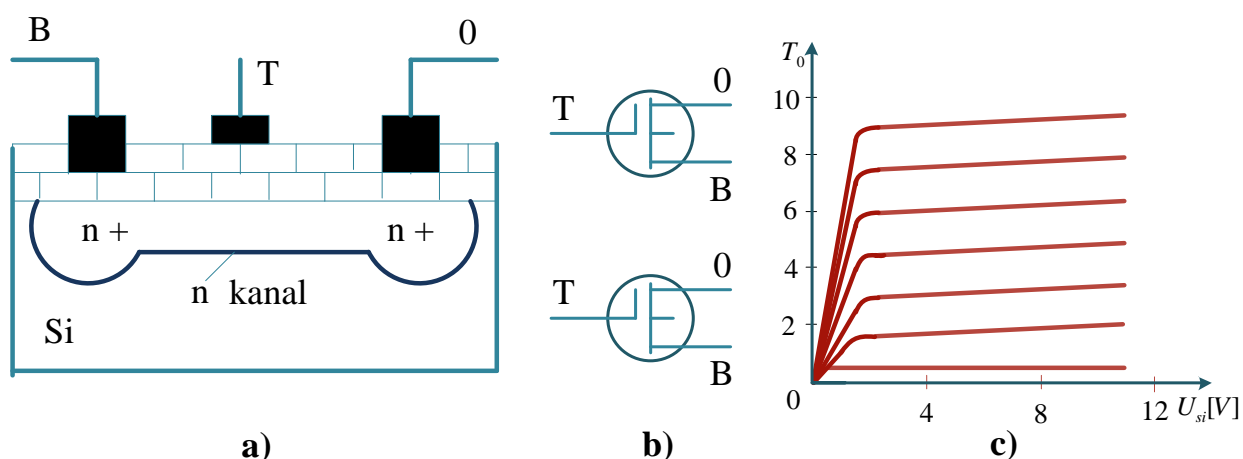
7.12-rasm.

Bitta manba E ga UE sxema bo'yicha ulangan p-n-p tipdagi tranzistorda sinusoidal signalning kuchaytirilishini ko'rib chiqamiz (7.12- a rasm). Baza va kollektor zanjirlaridagi  $R_B$  va  $R_K$  qarshiliklar qiymatlari triodning ish xarakteristikalaridagi boshlang'ich nuqtalarni aniqlab beradi.

7.12 – a rasmda UE sxemali tranzistorning oddiy sxemasi, b da esa signal kuchayishining fizikaviy modeli ko'rsatilgan.

Ajratuvchi kondensator S manba E tokining boshqaruv signal zanjiriga o'tishidan saqlaydi. Kirishdagi sinusoidal kuchlanish  $U_{kir} = U_{be} = U_m \sin \omega t$  musbat yarim davrlarda emitterning musbat potensialini kamaytiradi, manfiy yarim davrda esa orttiradi, baza toki  $I_b$  kuchaytirilayotgan signal bilan qarama-qarshi fazada bo'ladi. Signalning kuchayish qonuni  $I_k = \beta \cdot I_b$  ga binoan chiqishdagi kuchlanish iste'molchining qarshiligiga bog'liq, ya'ni  $U_{chiq} = I_K \cdot R_H$ .

Hozirgi vaqtda elektron sxemalarda bipolyar, ya'ni qutbli tranzistorlar bilan bir qatorda maydonli yoki bir qutbli tranzistorlar keng ishlatiladi. Ulardagi tok faqat bir ishorali zaryad tashuvchilar (elektronlar yoki kovaklar) hisobiga o'tadi. Bunday tranzistorlardan o'tayotgan tokning miqdori shu tok o'tayotgan kanalning o'tkazuvchanligi bilan aniqlanadi. Bir qutbli tranzistorlar ikki qutblilarga qaraganda sodda va arzon bo'ladi.



7.13-rasm.

Bir qutbli tranzistorlar birinchi marta 1952 yilda V.Shokli tomonidan yaratilgan va keyinchalik bir necha bor qayta ishlab chiqilgan. Ular kanalining turiga qarab 1) p-n o'tishli, 2) ichiga o'rnatilgan kanalli va Z) induksiyalangan kanalli tranzistorlarga bo'linadi. Ikkinchi va uchinchi turdagi tranzistorlar MOP (metall-oksidi – yarim o'tkazgich) yoki MDP tranzistorning tuzilishi 7.13- a rasmda, sxematik belgilanishi esa 17- b rasmda va, nihoyat, chiqish xarakteristikalarini 17- c rasmda ko'rsatilgan.

Tranzistorning zaryad tashuvchilar harakati boshlanuvchi elektrodi chiqish, ular etib boruvchi elektrodi *kirish elektrodi* deb ataladi. Tranzistorning zaryad tashuvchilar oqib o'tadigan qismi *kanal* deyiladi. Kanal chetida zatvor deb ataluvchi metall elektrod joylashadi. Zatvor va yarim o'tkazgich bir-biridan yuqqa kremniy oksidi qatlami bilan ajratilgan bo'lib, kanalning qarshiligi kattadir. Tranzistordan tok o'tishini kanalning suv oqimiga qiyoslash mumkin. Manbadan oqib kelayotgan suv to'g'ondan o'tadi. To'g'on tambasi yuqoriroq ko'tarilsa, to'g'ondan ko'proq suv o'tadi, tamba pastroq tushirilsa, suv oqimi kamayadi,

tamba butunlay yopib qo'yilsa, suv o'tolmaydi. Kanalning qarshiligini o'zgartiruvchi tamba sifatida  $U_{z.i}$  kuchlanish ishlatiladi.

$U_{z.i}$  kuchlanish nolga teng bo'lsa,  $U_{s.i}$  kuchlanish qanday bo'lishidan qat'i nazar, kanal qarshiligi katta bo'ladi. Tok  $I_c$  tranzistordan o'tmaydi. Zatvorga (tambaga) musbat kuchlanish berilganida kanalning dielektrikka yaqin qismida tok o'ta boshlaydi.  $U_{z.i}$  kuchlanish orttirilsa, kanalning tok o'tkazuvchi qismi kengayadi, tranzistorning chiqish qarshiligi kamayadi.

Bir qutbli tranzistorning chiqish xarakteristikasi  $I_c = f(U_{s.i})$  elektron lampalar xarakteristikasiga o'xshaydi (17-rasm). Bir qutbli tranzistorning kirish qarshiligi  $10^{12} \div 10^{14}$  Ohmga kirish elektrodi-zatvor xarakteristikasining tikligi  $0,3 \div 7 \text{ mA/V}$ , kirish toki 50 mA va kirish-chiqish kuchlanishi 50 V gacha bo'ladi.

Bir qutbli tranzistorlar ikki qutbli tranzistorlar kabi uch xil sxema bo'yicha ulanadi: umumiy oqavali (UO), umumiy boshli (UB), umumiy tambali (UT).

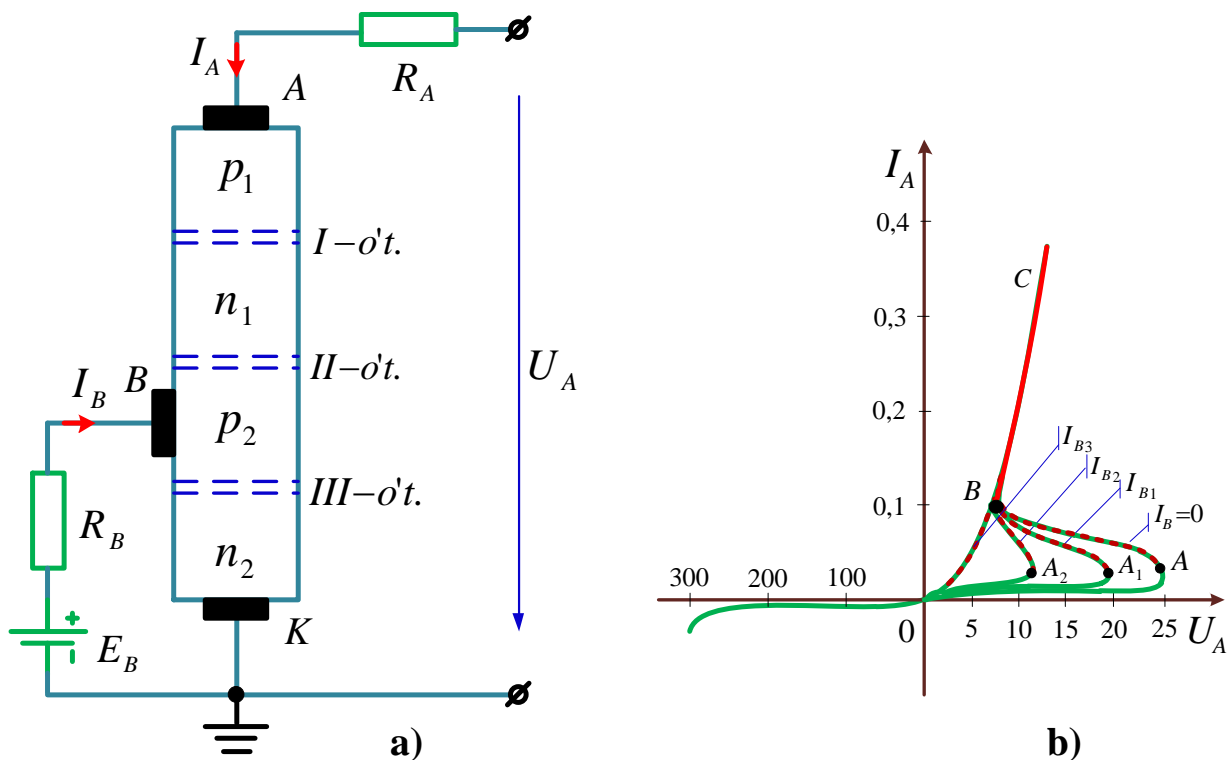
#### **7.4. Impuls bilan boshqariladigan yarim o'tkazgich diod. Tiristor**

Yarim o'tkazgichli tiristor tiratron kabi ishlaydi. Tiristor – to'rt qatlamli, uch " $P_1 - n_1$ ", " $n_1 - P_2$ ", " $P_2 - n_2$ ", o'tishli yarim o'tkazgich asbob (7.14-rasm).

7.14- a rasmda boshqariladigan yarim o'tkazgichli diod tiristorning sxemasi rasm b da esa volt-ampere xarakteristikasi ko'rsatilgan. Birinchi va uchinchi o'tishlarga manbaning EYuK  $E_A$  si to'g'ri ulanadi va bu o'tishlar *emitter* yoki *katod o'tishi* deyiladi. Manbaning musbat qutbiga ulangan kontaktlar *anod* deb ataladi. O'rtadagi " $n_1 - P_2$ " (ikkinchi) o'tish kollektor o'tishi;  $P_2$  qatlamga ulangan elektrod *boshqaruvchi elektrod* deb ataladi.

Anodga katodga nisbatan musbat kuchlanish ulanganida birinchi va uchinchi o'tishlar ochiq bo'lib, ularning qarshiligi kichik. Demak,  $U_A$  kuchlanish asosan " $n_1 - P_2$ " o'tishga berilgan bo'lib, bu o'tish uchun teskaridir. O'tishning teskari kuchlanishiga qarshiligi katta bo'lgani uchun  $I_A$ , tokning qiymati kichik. Anod kuchlanishini orttirsak ham anod toki deyarli o'zgarmaydi (7.14-b rasm, OA qismi).  $U_A$  kuchlanish kritik deb ataluvchi ma'lum bir qiymatga erishganida (A

nuqta) " $n_1 - P_2$ " o'tish teshiladi, zaryad tashuvchilar soni ko'chkisimon ortadi, o'tishning qarshiligi keskin kamayadi, anod kuchlanishi va tok keskin kamayadi (7.14- b rasm, AB qismi) kuchlanish va tokning qiymatlari keyinchalik BC chiziq bo'yicha o'zgaradi.



7.14-rasm.

Tiristorlarda teshilish asbob strukturasi buzilishiga olib kelmaydi va o'tishning qarshiligi anod kuchlanishi o'chirilganidan so'ng juda tez (10-20 mikrosekunddan keyin) qayta tiklanadi. Agar " $P_2 - n_2$ "- o'tishga qo'shimcha  $E_6$  boshqaruvchi kuchlanish bersak, " $n_1 - P_2$ " o'tishning teshilish shartlari o'zgaradi.  $E_6$  kuchlanish ta'sirida  $E_A$  kuchlanishga bog'liq bo'lmagan  $I_b$  toki o'tadi. Bu tok " $P_1 - n_1$ " o'tishda elektronlar va kovaklar injeksiyasini kuchaytiradi va " $n_1 - P_2$ " o'tishning qarshiligi kamayishiga olib keladi. Teshilish kuchlanishi kamayadi va tiristor  $U_A$  kuchlanishning kichikroq qiymatidan ochiladi ( $A_1$  nuqtasi, 7.14- b rasm). boshqaruvchi toki  $I_b$  qancha katta bo'lsa, tiristordan tok o'tishini ta'minlovchi  $U_A$  kuchlanish shuncha kichik bo'ladi.

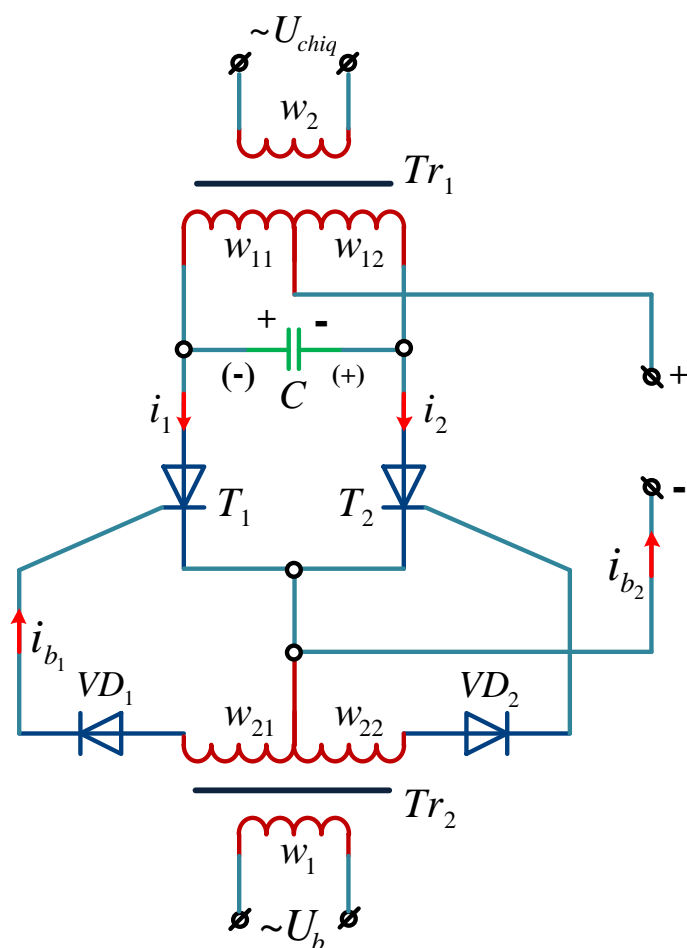
Agar tiristorga kuchlanishni teskari ulasak (manfiysini anodga, musbatini katodga), " $n_2 - P_2$ " va " $n_1 - P_1$ " o'tishlar teskari " $P_2 - n_1$ " o'tish to'g'ri ulanadi.

Ikki teskari ulangan o'tishning teshilish kuchlanishi to'g'ri ulangan o'tish kuchlanishidan o'n martaqa yaqin katta bo'ladi.

Tiristorning qo'llanilishini berilgan chastotadagi davriy impulslar hosil qiluvchi kuchlanishning avtonom invertori (KAI) misolida ko'rib chiqamiz.

O'zgarmas kuchlanishni aniq chastotadagi o'zgaruvchan sinusoidal kuchlanishga aylantiruvchi qurilma inverter deb ataladi. Eng oddiy kuchlanish invertori ikkita cho'lg'amli transformator ( $T_p-1$  va  $T-2$ ) orqali davriy  $U_b$  kuchlanish yordamida boshqariladigan  $VT_1$  va  $VT_2$  ikki tiristor va doimiy EYuK  $E_0$  dan iborat (7.15-rasm).

7.15-rasmda kuchlanish avtonom invertorining sxemasi ko'rsatilgan.



7.15-rasm.

Dastlabki holatda ikkala tiristor yopiq va kondensator  $S$  zaryadlanmagan  $t = t_0$  vaqtda transformator  $T_p-2$  ning  $W_1$  birlamchi cho'lg'amiga o'zgaruvchan boshqaruv kuchlanishi  $u_b = U_{bm} \sin \omega t$  beriladi. Kuchlanishning o'zgarish chastotasi  $\omega$ . Shu signal birinchi yarim to'lqini  $VD_1$  diod orqali o'tib,  $i_b$  boshqaruv tokini hosil qiladi va  $VT_1$  tiristorni ochadi. O'z navbatida, bu asosiy manba  $E_0$  dan birinchi transformatorning birlamchi cho'lg'amining chap qismidagi  $W_2$  tiristor  $VT_1$  orqali  $i_1$  toki o'tishiga olib keladi.

Bu tok transformatorning hamma cho'lg'amlari ( $W_{11}, W_{12}$  va  $W_2$ ) da EYuK ni induksiylaydi.  $W_{11}$  va  $W_{12}$  cho'lg'amlarining natijaviy EYuK, taxminan  $2E_0$  ga

teng. Ochiq tiristorning qarshiligi  $R_T \cong 0$  ligini hisobga olib, manbaning EYuK  $E_0$  va  $W_{11}$  cho'lg'amga berilganligini ko'ramiz. Shunday qilib kondensatorning qismlarida ham  $U_c = 2E_0$  kuchlanish hosil bo'ladi. Bu kuchlanish ta'sirida kondensator tiristor  $VT_1$  ochiq bo'lgan vaqt ichida zaryadlanadi.

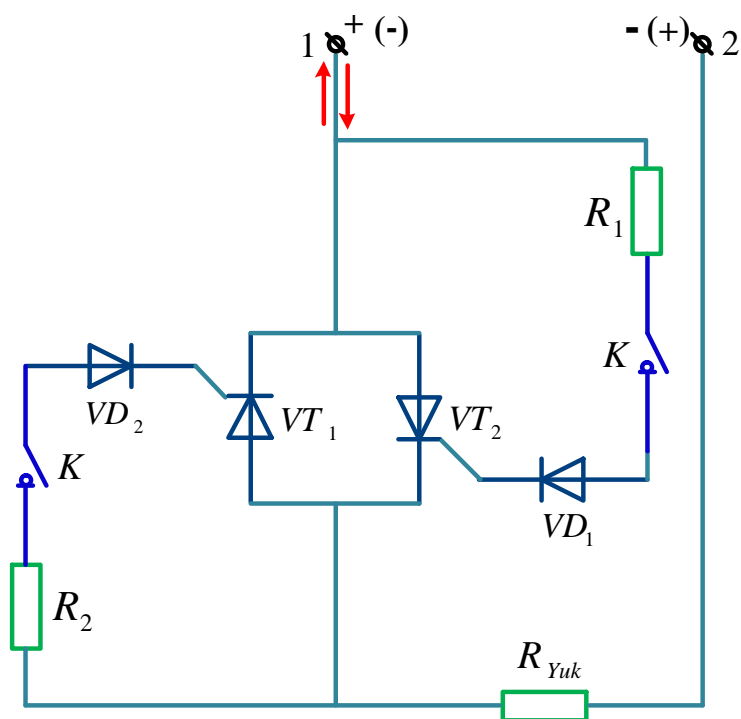
$U_b$  kuchlanishning yo'nalishi o'zgarishi bilan tiristor  $VT_1$  yopiladi, tiristor  $VT_2$  diod  $VD_2$  orqali  $i_{b2}$  tok o'tishi hisobga olinadi. Asosiy manba  $E_0$  zanjirida tiristor  $VT_2$  va  $W_{12}$  cho'lg'am orqali  $i_2$  tok o'tadi.  $W_{12}, W_{11}$  va  $W_2$  cho'lg'amlarida bu tok  $i_1$  tokini hosil qilgan EYuK teskari yo'nalishdagi EYuK ni hosil qiladi. Invertorning chiqishidagi  $U_{chiq}$  kuchlanishning yo'nalishi ham teskariga o'zgaradi. Teskari qutblanishdagi kuchlanish ta'sirida kondensator birlamchi cho'lg'amning  $W_{11}$  va  $W_{12}$  qismlari orqali qayta zaryadlanib, invertordan kuchlanishni oshiradi. Tok  $i_{b2}$  nolga teng bo'lganida  $i_{b1}$  toki paydo bo'lib, sikl davom etadi. Chiqish kuchlanishining chastotasi  $f_{chiq}$  boshqaruvchi kuchlanishning chastotasi bilan aniqlanadi.  $U_b$  signalni hosil qilish uchun yarim o'tkazgichlar asosida yig'ilgan kichik quvvatli avtogenerator ishlatish mumkin.

### 7.5. Tiristorli kontaktorlar

Kuch zanjirlarini kommutasiyalovchi (uzib-ulovchi) elektromagnitli apparatlar – kontaktorlar, magnitli ishga tushirgichlar va boshqa shunga o'xshash elementlarning eng muhim kamchiligi ulardagi kontaktlar ishonchliligining pastligidir. Katta toklarning kommutasiyasi kontaktlar orasida yoyning vujudga kelishi bilan bog'langan. Bu esa ularning qizishiga, erishiga va natijada kommutasiyalovchi apparatlarning ishdan chiqishiga olib keladi. Kuch zanjirlari tez-tez ulab-uzib turiladigan qurilmalarda kommutasiyalovchi apparatlar kontaktlarining ishonchsiz ishlashi butun qurilmaning ishlashiga salbiy ta'sir qiladi. Tiristorlar asosida yaratilgan tiristorli kontaktorlar yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklardan xolidir. Tiristorli kontaktorlar o'zgaruvchan va o'zgarmas tokda ishlaydigan xillarga bo'linadi.

Bir fazali tiristorli o'zgaruvchan tok kontaktorlarining sxemasi 7.16-rasmda ko'rsatilgan. Bu sxemadan qarshiligi  $R_{Yuk}$  bo'lgan iste'molchini bir fazali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulab-uzishda foydalaniladi. Mazkur sxemaning ishlash prinsipi bilan tanishib chiqamiz.

Kontaktor vazifasini o'zaro qarama-qarshi ulangan tiristorlar  $VT_1$  va  $VT_2$  bajaradi. Bunda  $VT_1$  ning katodi  $VT_2$  ning anodiga ulangan.  $VT_1$  va  $VT_2$  lar yuklama qarshiligi  $R_{Yuk}$  bilan ketma-ket ulanadi. Tiristor  $VT_1$  ning boshqaruvchi elektrodi diod  $VD_1$ , kalit  $K$ , rezistor  $R_1$  orqali tiristor  $VT_1$  ning anodiga, tiristor  $VT_2$  ning boshqaruvchi elektrodi esa diod  $VD_2$ , kalit  $K$  va rezistor



7.16-rasm.

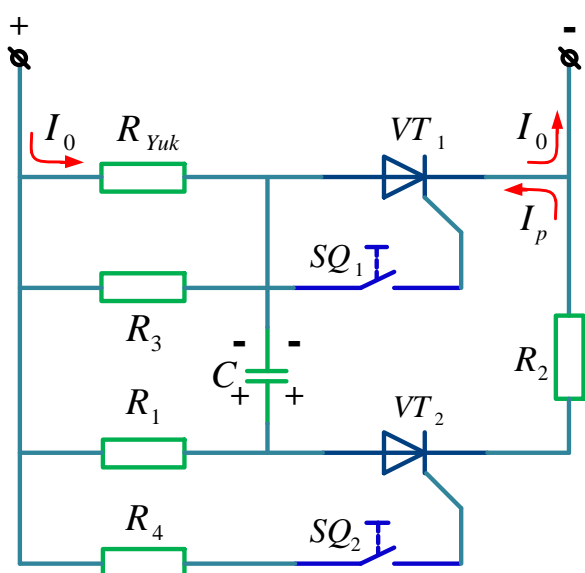
$R_2$  orqali tiristor  $VT_2$  ning anodiga ulangan. Bunday ulash tiristor anodi musbat bo'lganda uning boshqaruvchi elektrodi katodga nisbatan musbat bo'lishini ta'minlaydi. Bu esa tiristorning ishlashiga (ochilishiga) qulay sharoit yaratadi.

Kontaktorni ulash va iste'molchi zanjiriga kuchlanish berish uchun kalit  $K$  ni ulash kerak, uning kontaktlari tiristorlar  $VT_1$  va  $VT_2$  ning boshqarish zanjirlarini ulaydi. Shu vaqtda agar qisman 1 da musbat potensial (o'zgaruvchan tok sinusoidasining musbat yarim to'lqini) bo'lsa, u holda tiristor  $VT_1$  ning boshqaruvchi elektrodiga rezistor  $R_1$  va  $VD_1$  orqali musbat kuchlanish beriladi. Tiristor  $VT_1$  ochiladi va yuklama  $R_{Yuk}$  dan tok o'tadi. Tarmoq kuchlanishi  $U_m$  ning qutbi almashganda tiristor  $VT_2$  ochiladi. Shunday qilib, yuklama o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanadi. Kalit  $K$  ni uzganda boshqaruvchi elektrod zanjiri uzilib qoladi, natijada tiristorlar ulanmaydi va yuklama tarmoqdan uzib qo'yiladi.

Ko`rib chiqilgan sxemada tiristorni ulash kalit yordamida amalga oshirilishiga qaramasdan, bu tiristorli kontaktorning ishlash ishonchligi elektromagnit kontaktornikidan ancha yuqori, chunki kalit kontaktlari boshqaruvchi elektrodlar zanjirini kommutasiyalaydi, ularga esa yuklama tokidan bir necha million martagacha kichik tok keladi. Kalit o`rnida relening kontaktidan foydalanish mumkin. Tiristorli kontaktorlarni elektron sxemalar yordamida kontaktsiz qilish mumkin. Bir fazali tiristorli kontaktorlar asosida uch fazali tiristorli kontaktorlarni yaratish hech qanday qiyinchilik tug`dirmaydi.

Tiristorli kontaktorlar kabi PT va PTK seriyali tiristorli yuritgichlar ham ishlab chiqilgan. Tiristorli yuritgichlarning PT va PTK seriyalari 16 va 40 A toklarga va 380 V kuchlanishga mo`ljallangan bo`lib, asinxron motorlarni manbaga ulab-uzish uchun xizmat qiladi. PTK seriyadagisi esa motorlarni o`ta yuklanishlardan va fazalarning uzilishidan ham himoya qiladi.

Tiristorli o`zgarmas tok kontaktori o`zgaruvchan tok tiristorli kontaktoridan farqli o`laroq majburiy kommutasiya uzeligiga ega bo`lishi kerak. Chunki, tiristorni yopish uchun boshqaruvchi signalnigina o`chirish kifoya qilmay, balki tiristor tokini ham nolgacha pasaytirish kerak.



7.17-rasm.

Tiristorli o`zgarmas tok kontaktorining prinsipial sxemasi 7.17-rasmda ko`rsatilgan. Tiristor  $VT_1$  yuklama  $R_{Yuk}$  ni ulaydi, tiristor  $VT_2$ , kondensator  $C$ , rezistor  $R_1$  va  $R_2$  lar esa tiristor  $VT_1$  ning majburiy yopilishini ta`minlaydi. Rezistorlar  $R_3$  va  $R_4$  tiristorlarning boshqaruvchi toklarini cheklash uchun xizmat qiladi. Yuklamani ulash uchun knopka  $SQ_1$  ni bosish kerak, bunda tiristor  $VT_1$  ning boshqaruvchi

elektrodiga musbat (katodiga nisbatan) potensial beriladi va u ochiladi, yuklama



$R_{Yuk}$  orqali esa tok  $I_0$  oqib o'tadi. Shu vaqtda kondensator  $C$  zaryadlanish boshlaydi, natijada majburiy kommutatsiya zanjiri ishga tayyorlanadi. Yuklamani tarmoqdan uzish, ya'ni tok  $I_0$  ni nolgacha kamaytirish uchun knopka  $SQ_1$  ni bosish kerak. Bu vaqtda tiristor  $VT_2$  ochiladi va kondensator  $C$  ning rezistor  $R_2$  orqali zaryadsizlanishi boshlanadi. Zaryadsizlanish toki  $I_p$  tok  $I_0$  ga nisbatan qarama-qarshi yo'nalishga ega. Shuning uchun tiristor orqali o'tuvchi natijalovchi tok  $I_0 - I_p$  nolgacha kamayganda yuklama  $R$  tarmoqdan uziladi. Yuklamani qaytadan manbaga ulash uchun yana knopka  $SQ_1$  ni bosish kerak.

### 7.6. Mikroelektronika elementlari

Hozirgi fan-texnika taraqqiyoti sanoatda EHM, avtomatlashtirilgan sistemalarning ishlatilishi bilan bog'liq. EHM va bunday sistemalar juda murakkab elektron elementlarni o'z ichiga oladi. Elementlar ko'paygan sari sistemaning ishonchliligi, uning elementlarining ulanish puxtaligi kamaya boradi. Bunda sistemaning o'lchamlari ham ortib boradi. Shu masalalarni hal qilish yo'lidagi izlanishlar keyingi yillarda elektronikaning yana bir sohasi – mikroelektronikaning vujudga kelishiga sabab bo'ldi. Mikroelektronika o'ta kichraytirilgan elektron bloklarni va qurilmalarni yaratish va ishlatish bilan shug'ullanadi.

Mikroelektronikaning asosiy elementi integral mikrosxema-IMS (integer-butun, chambarchas bog'liq)dir.

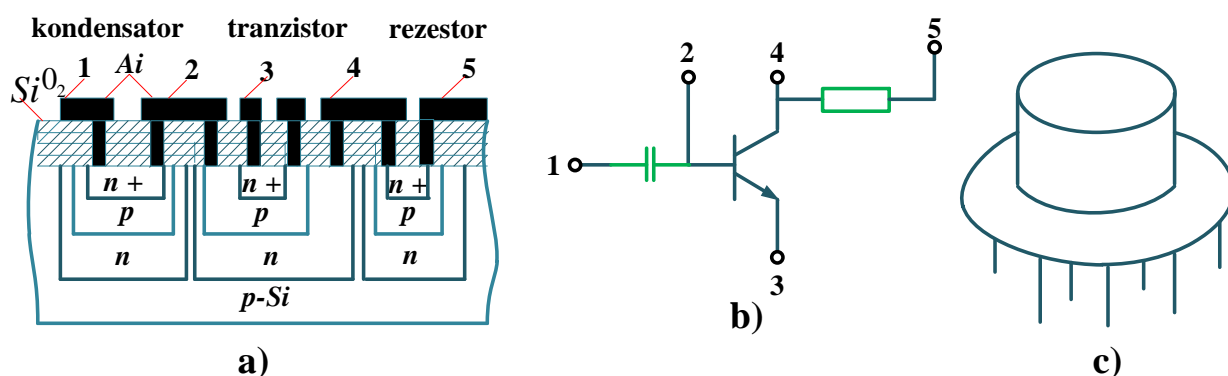
Konstruktiv tugallangan, ma'lum funksiyani bajaruvchi, bir texnologik jarayonda hosil qilinib, bir-biri bilan elektr jihatdan bog'langan elementlardan tashkil topgan kichik qurilma *integral mikrosxema* deyiladi.

IMS (integral mikrosxema) kremniy kristall yoki plastinkasida hosil qilingan va bir-biri bilan sxemaga ulangan tranzistor, diod, rezistor va boshqalardan iborat.

Bajarilishiga qarab IMS lar yarim o'tkazgichli IMS da kremniy plastinkasining ayrim joylari turli elementlar (tranzistor, rezistor, kondensator va

boshqalar) vazifasini bajaradi. Aktiv elementlar – tranzistorlar bo`lib, ularning turiga qarab yarim o`tkazgichli IMS lar bipolyar yoki MDYa (metall, dielektrik, yarim o`tkazgich) mikrosxemalarga bo`linadi. Bipolyar mikrosxemada tranzistor, uch qatlamli diod, ulangan p-n o`tish, rezistor vazifasini p- tipdagi yupqa polosa bajaradi. MDYa mikrosxemalarda, asosan, induksiyalangan kanalli bir qutbli tranzistorlar ishlatiladi.

Har bir elementning egallagan joyi mikrometrlar bilan o`lchanadi. Elementlar bir-biri bilan qisman plastinka ichida, qisman sirdagi metall yo`lakchalar orqali bog`lanadi (7.18-rasm).



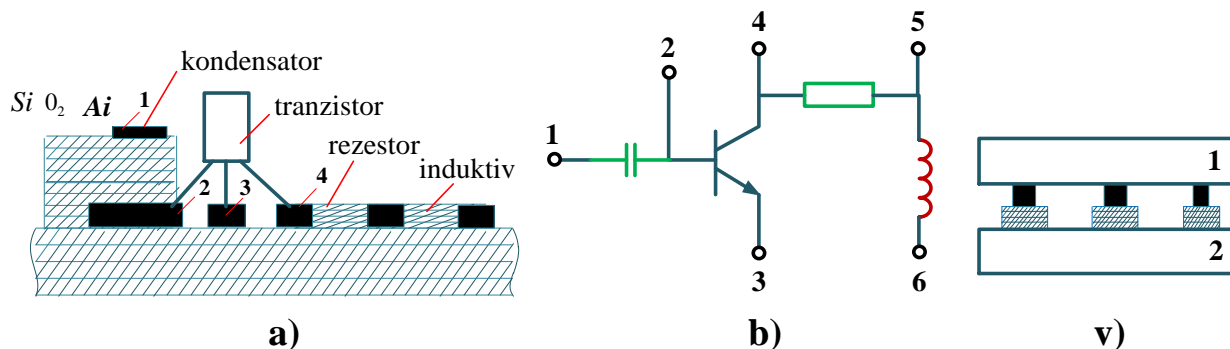
7.18-rasm.

Bir texnologik jarayonda bir necha ming mikrosxema hosil qilinadi. Mikrosxema uchun 0,2-0,3 mm qalinlikdagi, diametri 30 - 50 mm bo`gan kremniy plastinkasi olinadi. Bitta plastinka asosida 300-500 mikrosxema hosil qilinadi.

7.18- a rasmda yar o`tkazgichli IMS ning konstruksiyasi, b rasmda esa sxemasi va, nihoyat, c rasmda umumiy ko`rinishi berilgan.

Yarim o`tkazgichli IMS larda tranzistor va diodlar yaxshi xarakteristikalariga ega. Passiv elementlar, kondensator, rezistorlarning nominal parametrlari esa chegaralangan ( $S=50-400$  pF gacha,  $R=10-30$  kOm gacha) bo`ladi. Bu elementlar parametrlarining o`zgarishi 20% ni tashkil qiladi. Passiv elementlarning parametrlari aniq bo`lishi uchun gibrid IMS lardan foydalaniladi. Gibrid IMS lar plyonkali passiv elementlar va korpussiz tranzistorda tashkil topgan bo`ladi. Oldin

dielektrik taglik (shisha, sopol) va purkash yo`li bilan aktiv qarshilik, kondensator va elementlararo ulanishlar hosil qilinadi, bunda hosil bo`lgan plyonka qalinligi  $10^{-6}$  m bo`ladi. So`ng termokompression payvandlash yo`li bilan tranzistorlar kontakt maydonchalarga payvandlanadi (7.19-rasm).



7.19-rasm.

7.19- *a* rasmda gibriddli IMS ning tuzilishi, *b* da sxemasi, *v* da esa umumiy ko`rinishi berilgan.

Birlashtirilgan MS larda yarim o`tkazgich hajmida aktiv elementlar hosil qilinib, passiv elementlar purkash yo`li bilan plyonka shaklida hosil qilinadi. Bir mikrosxema o`z ichiga olgan elementlar soniga qarab uning integratsiya darajasi aniqlanadi. Agar elementlar soni 100 gacha bo`lsa, bunday IS (integral sxema) lar bazaviy elementlar sifatida ko`paytirish mantiqiy operatsiyalarni bajarish uchun ishlatiladi.

$10^2$ - $10^3$  elementga ega bo`lgan IS lar o`rta darajali (O`DIS) integratsiyaga ega. Schyotchik registor, deshifrator va boshqa murakkab funksional vazifalarni bajara oladi.

Elementlar soni  $10^3$ - $10^4$  gacha bo`lsa, mikrosxema yuqori daraja integratsiyali (KIS) bo`ladi va turli injenerlik hisoblarni bajara oluvchi kalkulyator sifatida ishlatiladi.

Elementlar soni  $10^4$ - $10^6$  gacha bo`lsa, mikrosxema yuqori darajali integratsiyaga ega (O`YUDIS). Ular ko`p ishlovchi mikroprotessorlar sifatida ishlatiladi.

Ish rejimiga qarab IMS lar analogli va raqamli IMS larga bo`linadi.

Analogli IMS lar uzluksiz elektr signallarni o'zgartirish va qayta ishlash uchun mo'ljallangan. Ular generatorlar, kuchaytirgichlar va boshqa qurilmalar sifatida ishlatiladi. Raqamli IMS lar asosan mantiqiy elementlar sifatida ishlatiladi.

IMS lar quyidagi afzalliklarga ega:

- 1) juda ishonchli;
- 2) o'lchamlari va massasi kichik (bir necha grammdan ortmaydi);
- 3) tez ishga tushadi;
- 4) kam quvvat iste'mol qiladi.

Asosiy kamchiligi chiqish quvvati kamligidir.

Integral mikrosxemalarning GOST bo'yicha belgilanishidagi K harfi keng qo'llanishga mo'ljallanganligini ko'rsatadi. Bu harfdan keyingi raqam IMS ning konstruktiv texnologik bajarilishini ko'rsatadi: agar 1, 5, 7 bo'lsa, yarim o'tkazgichli, 2, 4, 6, 8 bo'lsa, gibridli bo'ladi. Bu raqamdan keyin seriyaning nomeri ko'rsatuvchi ikki xonali raqam (00 dan 99 gacha) bo'ladi. Raqamlardan keyingi harflar mikrosxemaning funksional vazifasini ko'rsatadi (UN – kuchlanish kuchaytirgichi, LE – mantiqiy element, UD – differensial kuchaytirgich). Oxiridagi raqam seriyali ishlab chiqarish nomerini ko'rsatadi.

## 7.7. Fotoelektron asboblari

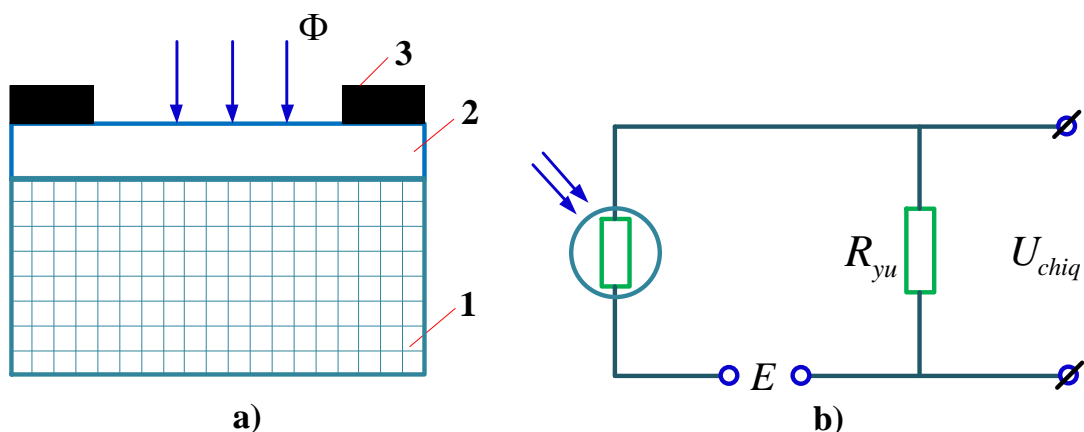
Elektron sxemalarda fotoelektron asboblardan keng foydalaniladi. Ularning ishlashi fotoeffektga, ya'ni elektromagnit nurlanish ta'sirida elektron emissiya hosil bo'lishiga asoslangan. Fotoeffekt 1886 yildan boshlab o'rganila boshlagan. Rus olimi A. G. Stoletov fotoelektron emissiya tufayli hosil bo'lgan tok  $I_f$  va mazkur tok keltirib chiqaruvchi nur oqimi orasidagi bog'lanishni aniqladi:

$$I_f = S \cdot \Phi,$$

bu yerda S-fotokatodning sezgirliigi, mA/lm;  $\Phi$  - yorug'lik oqimi, lm.

1905 yilda A. Enshteyn foton energiyasi ( $h\nu$ ) elektronning chiqish ishiga sarflangan energiya ( $W_0$ ) va uning kinetik energiyasi ( $0,5mv^2$ ) ga sarf bo'lishini aniqladi:

$$h\nu = W_0 + \frac{mv^2}{2}$$

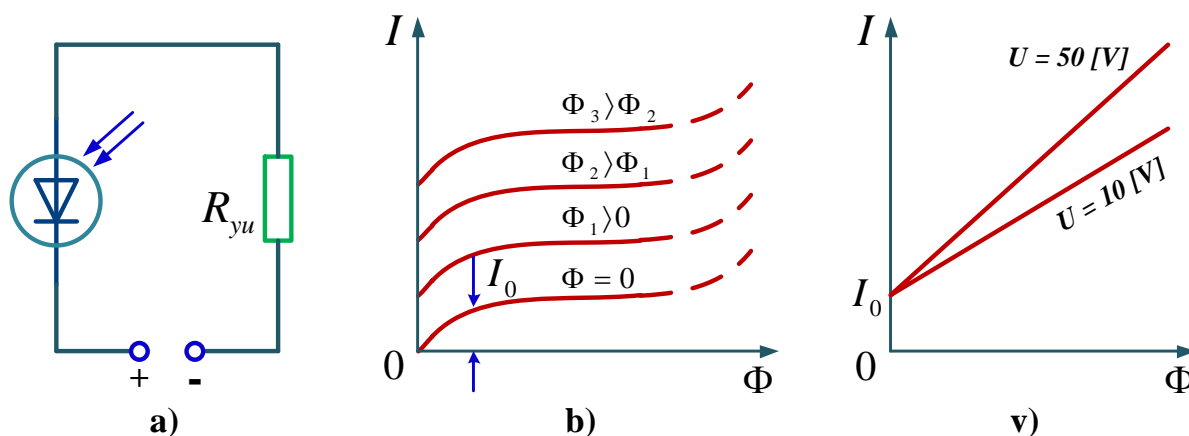


7.20-rasm.

Yarim oʻtkazgichlarda nurlanish taʼsirida zaryad tashuvchilar jufti (elektron va kovaklar) ning hosil boʻlishi kuzatiladi va bu hodisa *ichki fotoeffekt* deyiladi. Fotonlar taʼsirida hosil boʻlgan qoʻshimcha oʻtkazuvchanlik *fotooʻtkazuvchanlik* deb ataladi. Masalan, kadmiy sulfidi yoki kadmiy selenididan tayyorlangan yarim oʻtkazgichli qarshilik nurlanish taʼsirida oʻz qarshiligini oʻzgartiradi. Bunday qarshilik *fotorezistor* deb ataladi. 7.20- a rasmda fotorezistorning tuzilishi, b da ulanish sxemasi, v da esa volt-amper xarakteristikasi koʻrsatilgan. Dielektrik tanglik (1) ga yarim oʻtkazgich (2) ning yupqa qatlami surtilgan. Yarim oʻtkazgich kontaktlar (3) yordamida manbaga ulanadi. Yorugʻlik nuri tushmaganda fotorezistorning qarshiligi katta ( $R_K \leq 10^4 \div 10^7$  Om) boʻlib, *qorongʻilik qarshiligi* deyiladi. Zanjirdan esa qiymati juda kichik boʻlgan qorongʻilik toki oʻtadi. Agar shu yarim oʻtkazgichga yorugʻlik oqimi tushsa, fotonlar energiyasi taʼsirida zaryad tashuvchilar generatsiyasi yuzaga kelib, qarshilik kamayadi va zanjirdan oʻtuvchi tok ortadi. Fotorezistorlar ventill xususiyatiga ega emas, yaʼni tokni ikkala yoʻnalishda ham oʻtkaza oladi. Fotorezistorlar, asosan, avtomatik sxemalarda ishlatiladi.

**Fotodiod** bir (p-n) oʻtishli fotoelektrik asbobdir (7.21-rasm). Ular oddiy diodlar kabi tokni bir yoʻnalishda oʻtkazadi. Lekin yorugʻlik oqimi yordamida ularning teskari tokini ham boshqarish mumkin. Bunda elektron-kavakli oʻtish joyiga va unga yaqin sohaga yorugʻlik oqimi taʼsir qiladi. Natijada zaryad

tashuvchilar jufti generatsiyalanib, diodning teskari o'tkazuvchanligi va teskari toki ortadi. Fotodiodning volt amper xarakteristikasi (7.21- b rasm) umumiy baza bilan ulangan bipolyar tranzistorning chiqish xarakteristikasini eslatadi. Yorug'lik oqimi yo'qligida fotodioddan oddiy boshlang'ich teskari tok  $I_{tes}$ , ya'ni qorong'ulik toki o'tadi (27- b-v rasmlar).



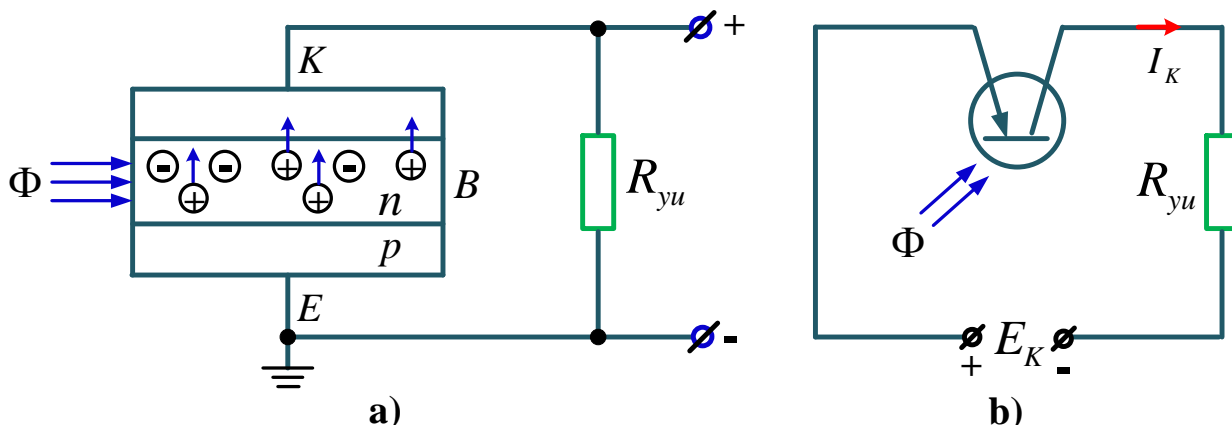
7.21-rasm.

Yorug'lik oqimi ta'sir etganda dioddagi tok ortadi. Oqim qancha katta bo'lsa, tok ham shuncha katta bo'ladi. Diodga ta'sir etuvchi teskari kuchlanishning ortishi tokning qiymatiga deyarli ta'sir etmaydi. Biroq ma'lum kuchlanishida teshilish yuz beradi (xarakteristikadagi uziq chiziqlar). Fototokning qiymati, asosan, yorug'lik oqimiga proporsionaldir. Kremniyli fotodiodlarning sezgirligi 3mA/lm, germaniy fotodiodlarniki 20 mA/lm ga etadi.

**Fototranzistor** ikki p-n o'tishli, uch qatlamli yarim o'tkazgich bo'lib, yorug'lik energiyasi ta'sir fototokni kuchaytirish uchun xizmat qiladi. Fototranzistorning tuzilishi oddiy yassi tranzistorning tuzilishiga o'xshaydi (7.22-rasm).

Fototranzistor ikki xil (ulanmagan bazali va umumiy emitterli) sxema bo'yicha ulanishi mumkin. Yoritilgan bazada bo'sh elektronlar va kollektorlar hosil bo'ladi. Kavaklar bazada yordamchi tashuvchi vazifasini o'tab, kollektor o'tishida kollektorga tortib olinadi va kollektor zanjirda fototok hosil qiladi. Elektronlar emitter o'tishidagi potensial to'siqni kamaytiruvchi hajmli zaryadni

hosil qiladi. Emitter o`tishi ochilib, kavaklar bazadan kollektorga o`tadi va fotodiod tokidan  $\beta$  marta katta bo`lgan qo`shimcha kollektor tokini hosil qiladi.

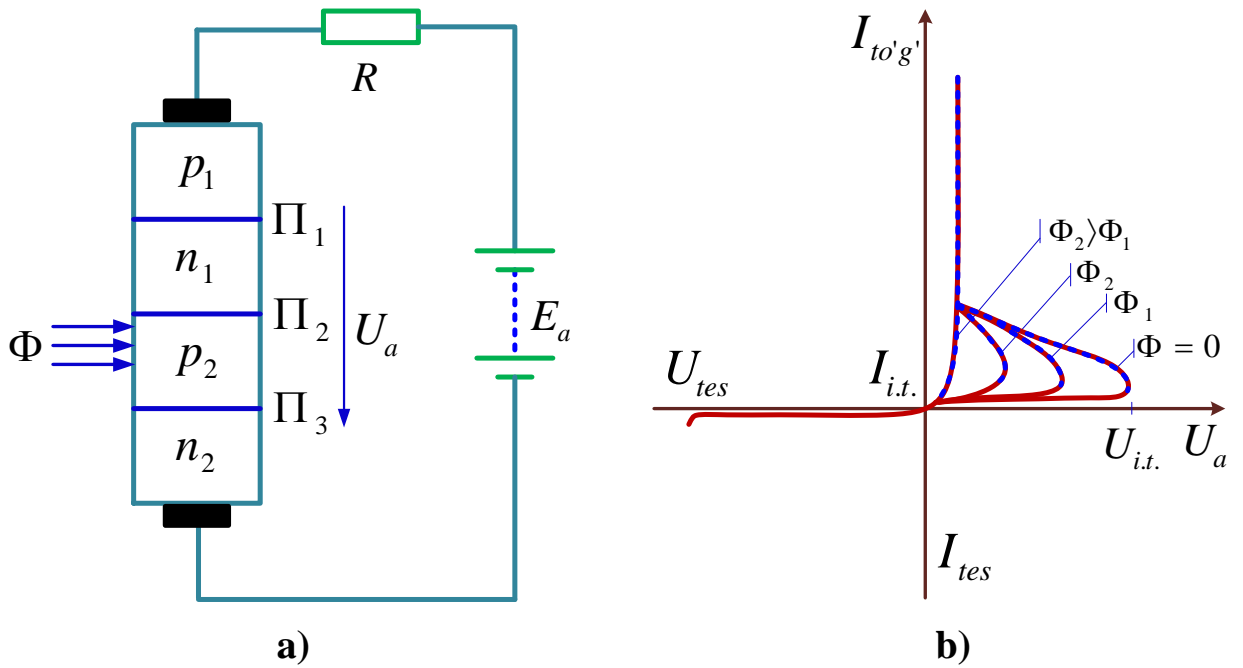


7.22-rasm.

Iste`molchidagi umumiy tok qorong`ulik toki  $I_{ko}$ , fotodiod toki  $I_f$  va kuchaytirilgan fototok  $\beta I_f$  larning yig`indisiga teng, ya`ni  $I_i = I_{qo} + I_\phi + \beta I_\phi \cong (1 + \beta)I_\phi$ . Fototranzistor UE sxema bo`yicha ulanganida chiqish toki  $I_i$  ni yorug`lik va elektrik signallar yordamida boshqarish mumkin. Fototranzistorlar avtomatik qurilmalarda, fototelegrafiyada, kinoapparatlar va optoelektronika sezgir element sifatida ishlatiladi.

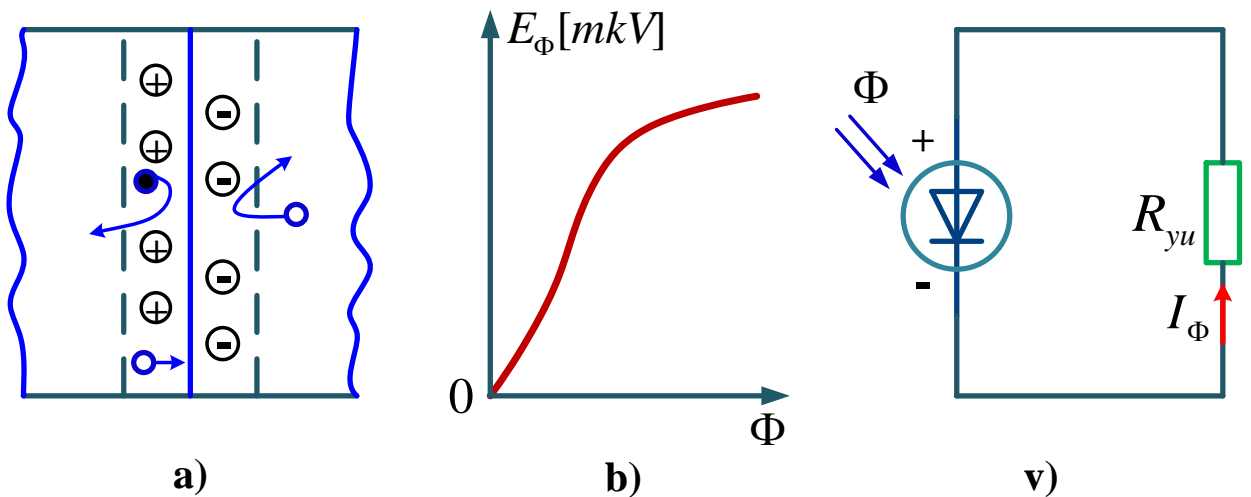
**Fotorezistor** uchta  $p - n$  o`tishli yarim o`tkazgichdir. U  $p_1 - n_1 - p_2 - n_2$  qatlamlardan iborat bo`lib, oddiy tiristor kabi kremniydan tayyorlanadi. Birinchi va uchinchi o`tishlarga nisbatan kuchlanish to`g`ri, ikkinchisiga nisbatan esa teskari ulanadi. Yorug`lik oqimi ta`sir etmaganda fototiristor oddiy tiristor kabi ishlaydi. Yorug`lik ta`siri boshqaruvchi tok ta`siri kabi bo`lib, uning oqimi qanchalik katta bo`lsa, fototiristorning anod kuchlanishi shunchalik kichik bo`ladi (7.23-rasm).

Yuqorida ko`rib chiqilgan fotoelektron asboblarda yorug`lik oqimi elektr tokining faqat qiymatiga ta`sir eta oladi. Bu asboblardan tashqari, yorug`lik oqimining energiyasini EYuK ga va aksincha, elektr tokini nurlanishga aylantiruvchi asboblarda ham mavjuddir. Ventil yoki galvanik fotoelement nurlanish energiyasini elektr energiyasiga aylantirish uchun xizmat qiladi. Selen, kadmiy sulfidi, kremniydan tayyorlangan diodlar tashqi kuchlanishsiz ishlab, yorug`lik nuri ta`sirida o`z EYuK ni hosil qiladi.



7.23-rasm.

7.24- a-v rasmda **galvanik** fotoelementning yorug`lik ta`sirida uyg`otilgan zaryad tashuvchilarning  $p - n$  o`tish maydoni ta`sirida ajratilishi foto-EYuK ning yorug`lik oqimiga bog`liqligi va ventil fotoelementning ulanish sxemasi ko`rsatilgan.



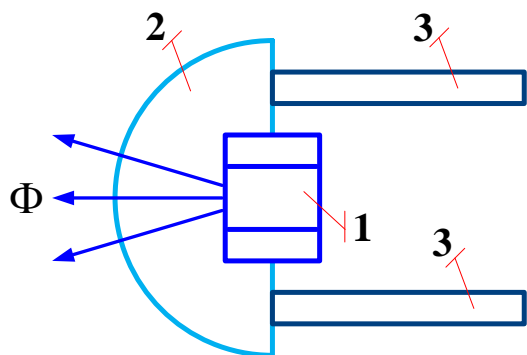
7.24-rasm.

Fotonlar  $p - n$  o`tish joyi va unga yaqin sohaga ta`sir etib, zaryad tashuvchilar juftini generatsiyalaydi. Natijada  $p$  va  $n$  sohalarda ortiqcha asosiy zaryad tashuvchilar yig`ilib, foto-EYuK deb ataluvchi potensiallar ayirmasi hosil



bo`ladi. Yorug`lik oqimi tushishi bilan foto-EYuK ( $E_{\phi}$ ) chiziqli bo`lmagan qonun bo`yicha o`zgaradi. Agar fotoelement zanjiriga iste`molchi ulansa, bu zanjirdan fototok  $I_{\phi}$  o`tadi. Hozirgi vaqtdi ishlatiladigan kremniyli fotoelementlar quyosh nurining energiyasidan 0,4 - 0,5 [V] li EYuK ni hosil qiladi. Bunday elementlarni o`zaro ketma-ket va parallel ulash yo`li bilan quyosh batareyalari hosil qilinadi.

Fotogalvanik elementning aksi bo`lgan yorug`lik diodi elektr energiyasini yorug`lik energiyasiga aylantiradi. Yorug`lik diodi bir nechta p-n o`tishli yarim o`tkazgichdir (7.25-rasm). Undagi uyg`ongan elektronlar to`g`ri ulangan kuchlanish ta`sirida nisbatan pastroq energetik sathga o`tadi va kovaklar bilan ko`proq to`qnashib rekombinatsiyalanadi.

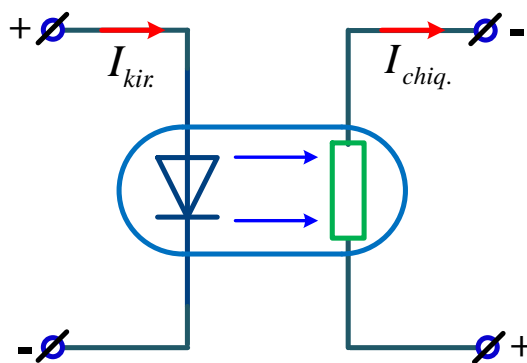


**7.25-rasm.**

Rekombinatsiya tufayli har bir tashuvchi elektron va kovaklar juftidan foton hosil bo`ladi. Elektron va kovaklar ko`p bo`lgani uchun fotonlar (yorug`lik energiyasi) ajralib chiqadi. Nurlanish rangi yarim o`tkazgich (diod) qanday materialdan tayyorlanganligiga, nurlanish ravshanligi esa dioddan o`tayotgan tokning miqdoriga

bog`liq bo`ladi. Yarim o`tkazgichlar elektronikasining rivojlanayotgan sohasi bo`lmish optik elektronika yorug`lik diodlari asosida ishlaydi. Optik elektronika elektr tokining yarim o`tkazgichlarida nurga aylanishni va aksincha, yorug`likning yarim o`tkazgichlarga ta`sir qilishi natijasida elektr signalining hosil bo`lish qonunlarini o`rganadi.

Optik elektronikaning asosiy elementni *optron*dir. Optron o`zaro optik bog`langan yorug`lik manbai va iste`molchidan tashkil topgan. Yorug`lik manbai kirish zanjiriga, yorug`lik iste`molchisi esa chiqish zanjiriga ulangan. Eng keng tarqalgan optron



**7.26-rasm.**

yorug`lik diod-fotorezistori va diod-fototranzistoridir (7.26-rasm).

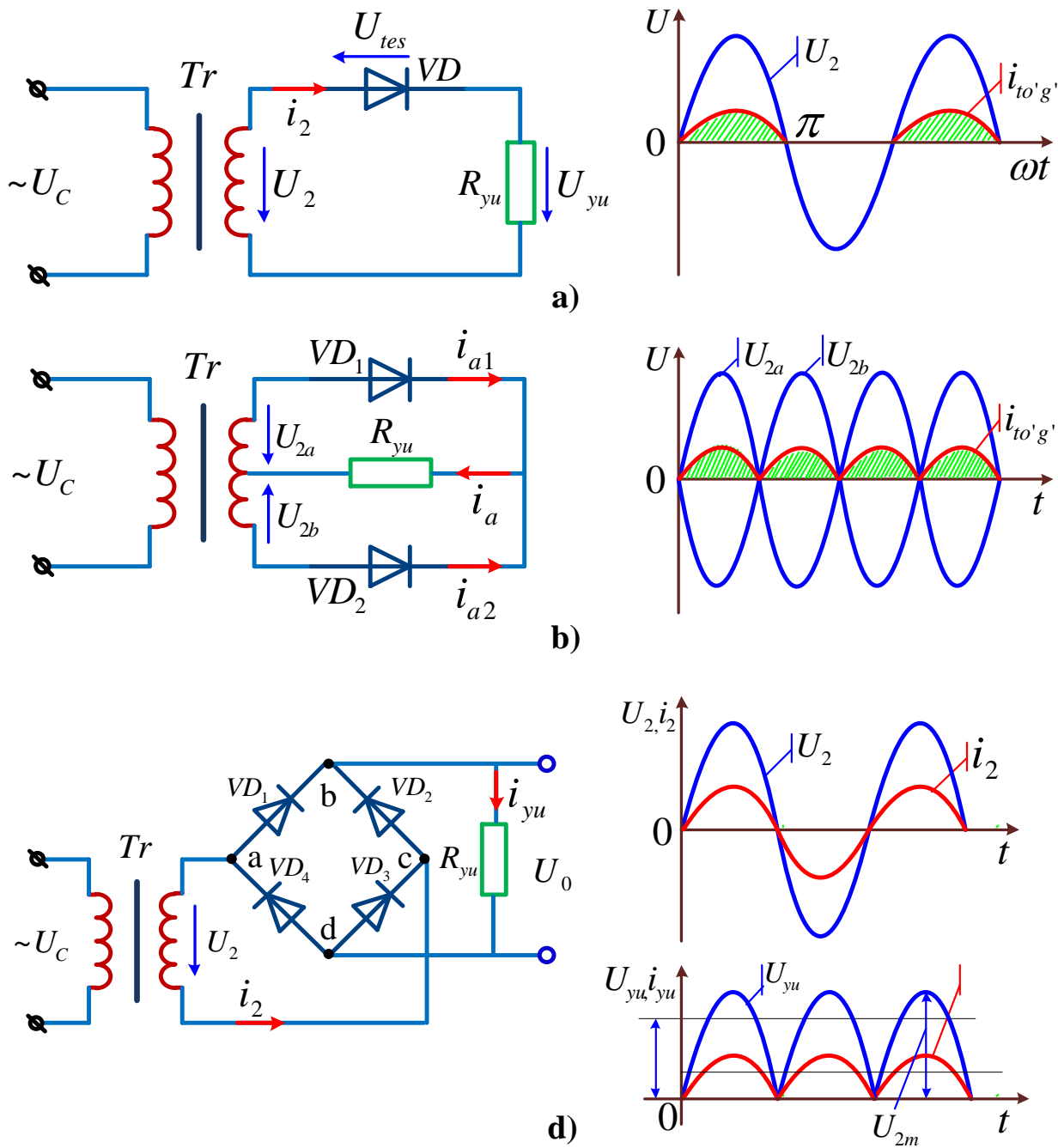
Yorug`lik diodidan o`tayotgan kirish tokining o`zgarishi yorug`lik ravshanligini o`zgartiradi. Yorug`lik optik aloqa kanalidan o`tib, fotorezistorga kelib tushadi. Nur oqimining o`zgarishi fotorezistorning qarshiligini o`zgartiradi. Natijada optronning chiqish zanjiridagi tokning qiymati o`zgaradi. Optron elektri signallarni kirish zanjiri chiqish zanjiridan ajratilgan holda kuchaytirish imkonini beradi. Uning bu xususiyati optik telefon aloqa sistemalarida, fototelegrafiyada keng qo`llaniladi.

### **7.8. O`zgaruvchan tokni to`g`rilash zanjirlari**

O`zgaruvchan elektr tokidan o`zgarmas tok olinishi anchadan beri ma`lum. Katta quvvatli o`zgarmas tokni kimyoviy, magnitogidrodinamik va boshqa qurilmalar yordamida hosil qilish imkoniyati bo`lmagani uchun u o`zgaruvchan tokni o`zgarmasga aylantirish yo`li bilan olinadi. O`zgaruvchan tokni o`zgarmas tokka aylantirishni mustaqil manbai hisoblanmish o`zgarmas tok generatorlarida ham amalga oshirish mumkin. Sinusoidal EYuK dan hosil bo`lgan tokning bir yo`nalishida o`tishini cho`tko-kollektor qurilmasi ta`minlab beradi.

Bir tomonlama o`tkazuvchanlikka ega bo`lgan elektron va yarim o`tkazgichli diodlar ixtiro qilinganidan so`ng o`zgarmas tokni xalq xo`jaligining hamma tarmoqlarida sanoat elektronikasi yetkazib bera boshladi. To`g`rilash texnikasi boshqariladigan va boshqarilmaydigan yarim o`tkazgichli diodlarni takomillashtirish, ularning quvvatini oshirish hisobiga yanada rivojlanmoqda. O`zgaruvchan tokni to`g`rilash elektron zanjirlari hozirgi vaqtda EHM, radiotexnika va aloqa vositalarini tok bilan ta`minlovchi manbalarning asosiy qismidir.

Bir va ko`p fazali o`zgaruvchan tokni to`g`rilash sxemalari keng tarqalgan. 7.27- a rasmda bir fazali sinusoidal tokning yarim davrli to`g`rilash sxemasi ko`rsatilgan. Ikki cho`lg`amli transformator  $T_p$  ning  $W_1$  o`ramli birlamchi cho`lg`ami  $U_1$  sinusoidal kuchlanishli zanjirga ulangan. Mazkur kuchlanish  $W_2$  o`ramli ikkilamchi cho`lg`amdan olinadigan  $U_2$  kuchlanishga aylantiriladi.



7.27-rasm.

Kuchlanish  $U_2$  ning qiymati  $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$  bog'lanishdan aniqlanadi. Kuchlanish  $U_2$  ning to'g'rilangan qismi  $U_{to'g'} = R_i \cdot i_{to'g'}$ .

$U_2$  kuchlanish to'g'rilangan tok  $i_{to'g'}$  va diodning parametrlari mosligini ta'minlashi kerak.

2.7- a rasmdagi grafiklardan tok  $R_i$  qarshilikdan  $U_2 = U_{2m} \sin \omega t$  kuchlanishning musbat yarim davrlaridagina, ya'ni 0 dan  $\pi$  gacha,  $2\pi$ dan  $3\pi$  gacha bo'lgan oraliqlarda o'tishini ko'ramiz. Agar diodning ichki qarshiligi

hisobga olinmasa, ( $r_d = 0$ ) to'g'rilangan kuchlanishning bir davrdagi o'rtacha qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$U_{o'r} = U_{to'g'} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt = \frac{U_{2m}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t dt =$$

$$= \frac{\sqrt{2}U_2}{2\pi f T} (-\cos \omega t) \int_0^{\pi} = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0,45U_2$$

bu yerda  $U_2$ - transformatorning  $W_2$  cho'lg'amidagi kuchlanishning effektiv qiymati, V.

Iste'molchining qarshiligi  $R_i$  dan o'tuvchi tok (rasmda shtrixlangan) yo'nalish jihatdan o'zgarmas, qiymat jihatdan pulsatsiyalanuvchi. Uning bir davrdagi o'rtacha qiymati quyidagiga teng:

$$I_{o'r} = I_{to'g'} = \frac{U_{to'g'}}{R_i} = 0,45 U_2/R_i$$

ya'ni  $I_{o'r}$  to'g'rilangan kuchlanish va iste'molchining qarshiligiga bog'liqdir.

To'g'rilangan kuchlanishi pulsatsiyalanuvchi bo'lgani uchun bunday sxema juda kam qo'llaniladi. Undan radiosignallarni detektorlash, akkumulyatorlarni zaryadlash, magnit o'zaklarni impulsli magnitlash va boshqa maqsadlarda foydalanish mumkin.

Transformatorning ikkilamchi cho'lg'ami ikki seksiyadan iborat bo'lgan, ikki yarim davrli to'g'rilash sxemasi mukammalroq va sifatliroqdir (33-rasm, b). Ikkilamchi cho'lg'am ( $W_2$ ) ikkita bir xil seksiyadan iborat  $W_2' = \frac{1}{2}W_2$ . Bu cho'lg'amlarning oxirgi uchlari bir xil diodlar ( $VD_1$  va  $VD_2$ ) orqali  $R_i$  qarshilikning musbat qutbiga ulanadi. Bosh uchlari esa iste'molchining manfiy qutbiga ulanadi. To'g'rilash quyidagicha amalga oshiriladi. Transformatorning kirish zanjiriga ta'sir etuvchi  $U_1(t)$  kuchlanishning bitta yarim davrida  $W_2$  seksiyalarida induksiyalangan  $U_2$  kuchlanish pastdan yuqoriga yo'nalgan bo'lsin.

U holda kuchlanishdan hosil boʻladigan tok  $W'_2 - VD_1 - R_i$  zanjiridan oʻtadi, pastdagi  $W_2 - R_i - VD_2$  zanjirida esa tok oʻtmaydi, chunki  $VD_2$  diod bu tokni oʻtkazmaydi (tokning yoʻnalishi teskari boʻlgani uchun).  $R_i$  qarshiligida tok oʻngdan chapga oʻtadi (33-rasm, b). ikkinchi yarim davrda  $W'_2$  seksiyalarda  $U'_2 = -U_2$  kuchlanish hosil boʻladi. Bu kuchlanish yuqoridan pastga yoʻnaladi va  $VD_2 - R_i - W_2$  va  $R_i - VD_1 - W_2$  konturlarda soat milining harakatiga qarshi yoʻnalgan tokni hosil qiladi. Bunda  $VD_1$  diodi yopiq boʻlib, tok faqat pastki konturdan (isteʼmolchi  $R_1$  da yana oʻngdan chapga) oʻtadi. Bir davr ichida  $R_i$  qarshilik  $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$  kuchlanishning toʻgʻri va  $180^\circ$  ga agʻdarilgan teskari yarim toʻlqinlari ostida ikki marta boʻladi (33-rasm, b ning quyi qismi). Ikkilamchi kuchlanishning qiymati  $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$  va toʻgʻrilangan kuchlanishga bogʻliq holda aniqlanadi. Agar diodlarning ichki qarshiligi hisobga olinmasa ( $r_d = 0$ ), qarshilik uchlaridagi kuchlanishni oʻrtacha qiymati:

$$\begin{aligned}
 U_{o'r} = U_{to'g'} &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u^2 dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt = \frac{2U_{2m}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t dt = \\
 &= \frac{\sqrt{2}U_m}{\pi} \cos \omega t \int_0^{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \approx 0,9U_2
 \end{aligned}$$

.33-rasm, b dagi grafikdan ikki yarim davrli toʻgʻrilash sxemasiga oʻtilganda chiqish kuchlanishining pulsatsiyalanish chastotasi ikki marta ortishi va pulsatsiya chuqurligi kamayishi kuzatiladi.

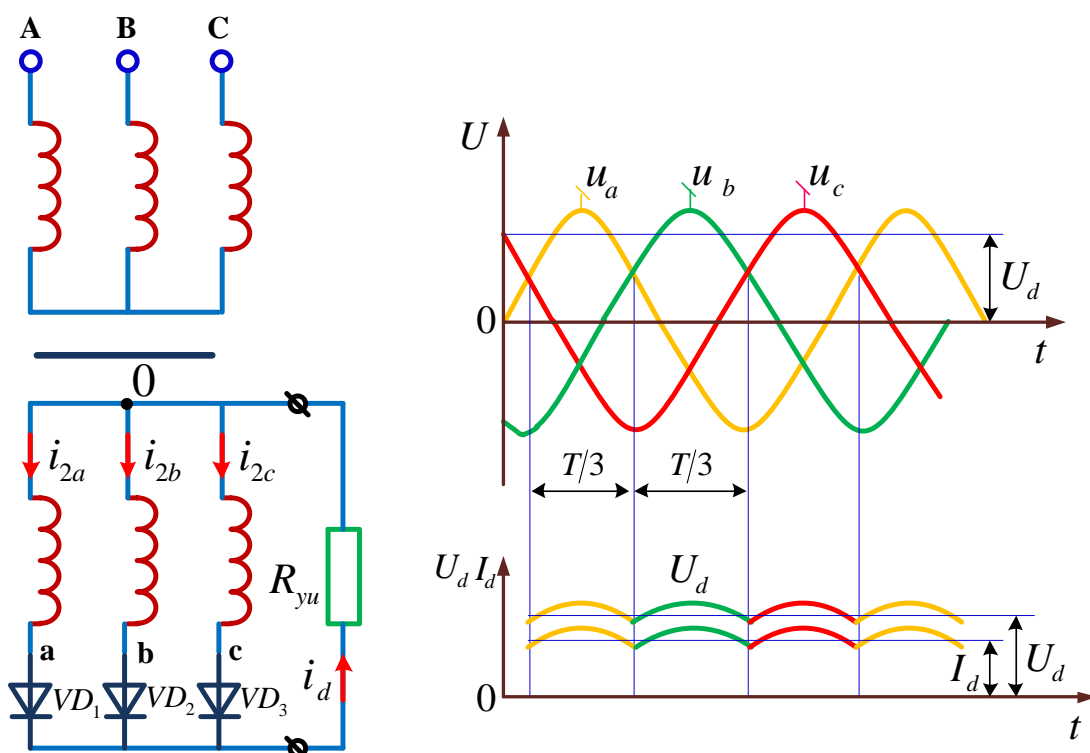
Koʻrib chiqilgan sxemalarda toʻgʻrilagichlardan tashqari transformatorlar ham bor. Ular hisobiga toʻgʻrilagichlarning vazni va gabaritlari ortib ketadi. Transformator sxemaga manba oʻzgaruvchan kuchlanishning qiymatini toʻgʻrilagichning chiqishidagi kuchlanish bilan moslash uchun ulanadi. Agar oʻzgaruvchan sinusoidal kuchlanishning qiymati transformatsiya qilinmagan holda toʻgʻrilanishi kerak boʻlsa, 33-rasm, a da koʻrsatilgan ikki yarim davrli koʻprik sxemadan foydalaniladi. Bu sxemada toʻgʻrilashni koʻprik shaklida ulangan 4 ta bir xil elektron yoki yarim oʻtkazgichli diodlar ( $VD_1, VD_2, VD_3, VD_4$ ) bajaradi. Koʻprik

diaganallarining biriga oʻzgaruvchan kuchlanish manbai  $U$ , ikkinchisiga esa isteʼmolchi qarshiligi  $R_1$  ulanadi. Oʻzgaruvchan tokni oʻzgarmas tokka toʻgʻrilash quyidagicha bajariladi. Kirish kuchlanishining musbat yarim davrida (manbaning yuqori qismasi musbat, pastki qismasi manfiy zaryadlangan) tok manbadan  $VD_1$ ,  $R_i$  va  $VD_2$  lar orqali berilgan kuchlanishning musbat qutbidan manfiy qutbiga oʻtadi. Ikkinchi yarim davrda esa tok  $VD_3$ ,  $R_i$  va  $VD_4$  larga oʻtadi. Binobarin, tokning har bir yarim davrida toʻgʻrilagichdagi maʼlum juftlik (masalan,  $VD_1$  va  $VD_2$ ) ishlaydi, ikkinchi juftlikka esa (masalan,  $VD_3$  va  $VD_4$ ) teskari kuchlanish berilgan boʻladi. Bunda toʻgʻrilash koʻeffitsienti 33-rasm,  $b$  da koʻrsatilgan

$$U_{oʻr} = U_{toʻgʻ} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_1 dt \approx 0,9 U_1 \quad U_{oʻr} = U_{toʻgʻ} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_1 dt \approx 0,9 U_1$$

ga teng, chunki  $U_1$  kuchlanish bevosita toʻgʻrilanadi ( $U_1$ -zanjirning kirishidagi kuchlanishning effektiv qiymati). Toʻgʻrilangan tokning oʻzgarish grafigi 33-rasm,  $v$  ning oʻng tomonida koʻrsatilgan.

7.28- rasmda uch fazali oʻzgaruvchan tokni toʻgʻrilash sxemasi va toʻgʻrilangan uch fazali tokning diagrammasi koʻrsatilgan.

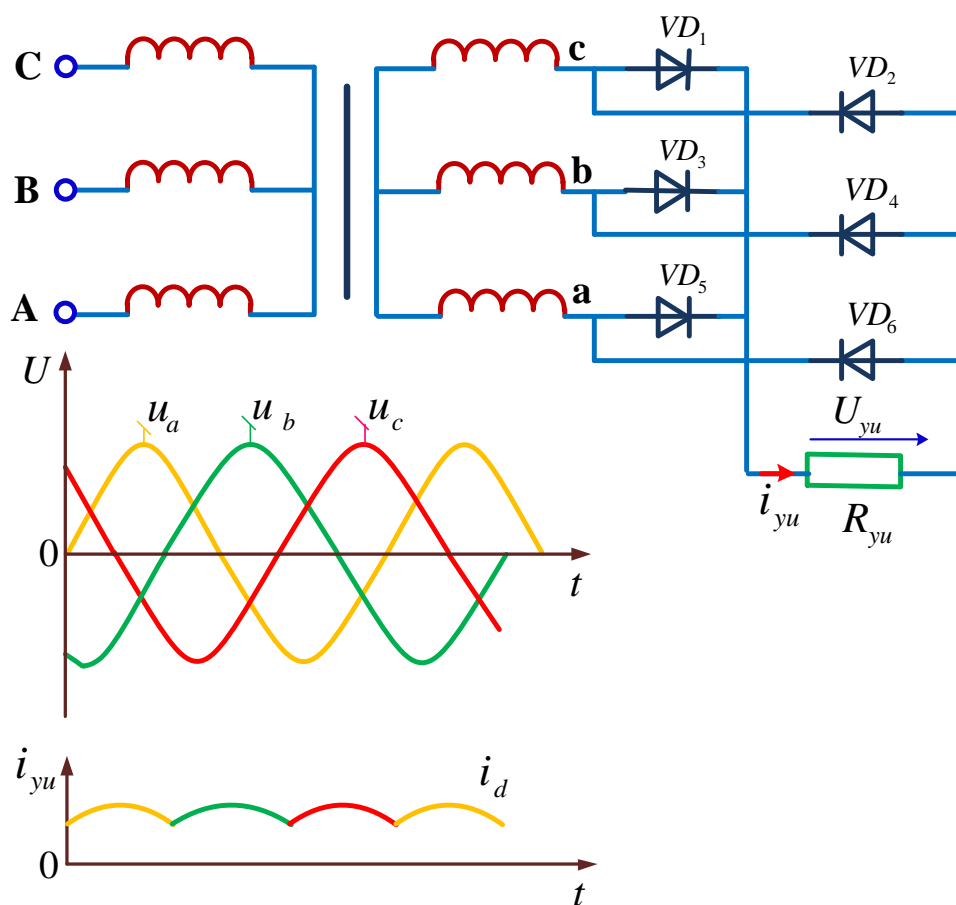


7.28-rasm.

7.29-rasmda uch fazali tokni ikkita yarim davrli to'g'rilash sxemasi va to'g'rilangan tokning grafigi ko'rsatilgan. Ayrim fazalardagi tok va kuchlanishlarni to'g'rilash quyidagicha amalga oshiriladi. Transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidagi faza kuchlanishlari bir-biriga nisbatan  $2\pi/3$  burchakka siljigan:

$$u_a = U_m \sin \omega t; \quad u_b = U_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right);$$

$$u_c = U_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right).$$



7.29-rasm.

Bu sinusoidalarning musbat yarim to'liqlaridagi maksimumlar davrning uchdan bir qismi ( $\frac{1}{3}T$ ) da almashib turadi. Shu vaqt ichida bir tomonlama xarakterlanuvchi  $i_a, i_b, i_c$  toklar hosil bo'ladi. Bu sxemada  $VD_1, VD_2$  yoki  $VD_3$  diodlardan o'tuvchi tok berilayotgan kuchlanishning butun musbat yarim to'liqini davrida emas, balki  $T/3$  ichida o'tadi. Masalan,  $i_a$  toki  $a$  fazada  $t_1 = \frac{\pi}{6\omega}$

vaqtda hosil bo`lib,  $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$  vaqtda tugaydi, tok  $i_b$  esa  $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$  vaqtda hosil bo`lib,  $t_3 = \frac{3\pi}{2\omega}$  vaqtda tugaydi va hokazo.

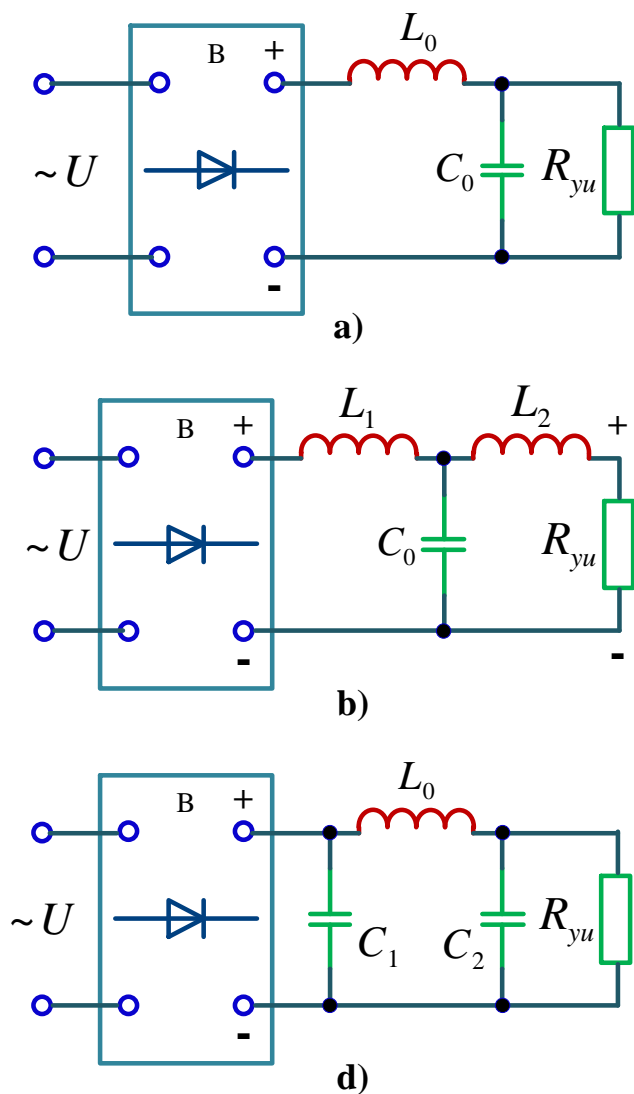
To`g`rilangan kuchlanishning (tokning) o`rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned}
 U_{o'r} = U_{to'g} &= \frac{1}{T/3} \int_{t_1}^{t_0} u dt \quad \text{yoki} \\
 U_{o'r} &= \frac{3}{T} \int_{T/12}^{5\pi/12} u dt = \frac{3}{\omega T} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin \omega t d\omega t = \\
 &= \frac{3U_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6}U}{6,28} = 1,17 U \\
 I_{to'g} &= \frac{U_{o'r}}{R_i} = \frac{1,17U}{R_i}.
 \end{aligned}$$

Uch fazali sxemada to`g`rilangan tokning pulsatsiyalanish chuqurligi bir fazaligidagiga nisbatan ancha kamdir. To`g`rilash koeffitsienti, ya`ni chiqishdagi to`g`rilangan  $U_{to'g} = U_{o'r}$  kuchlanishning kirishdagi kuchlanish  $U$  ning effektiv qiymatiga nisbati ( $K_{to'g} = \frac{U_{o'r}}{U}$ ) to`g`rilagichning fazalar soni ortishi bilan ortib boradi va fazalar soni  $m \rightarrow \infty$  bo`lganida  $K_{to'g} \rightarrow 1,41$  bo`ladi. Demak, ideal holatda to`g`rilangan kuchlanishning o`rtacha qiymati berilgan o`zgaruvchan kuchlanish amplitudasiga tengdir.

Uch fazali ko`prik sxemada uch fazali o`zgaruvchan tokni to`g`rilash jarayonini ko`rib chiqamiz (35-rasm). Agar  $VD_1. . . VD_6$  diodlarning tok o`tkazayotgandagi qarshiliklari hisobga olinmasa,  $R_i$  ning uchlaridagi kuchlanish uch fazali sistemaning liniya kuchlanishiga teng bo`ladi. Sxema elementlarining ulanishi  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  kuchlanishlarning qiymati musbat bo`lganida ham, manfiy bo`lganida ham tokning o`tishini ta`minlay oladi. 0 dan  $t_1$  gacha bo`lgan vaqt ichida  $U_{CB} = -U_{BC}$  kuchlanish eng katta qiymatga ega bo`ladi va bu kuchlanish





7.30-rasm.

taʼsirida tok manbaning S fazasi uchidan  $VD_3$ ,  $R_i$  va  $VD_5$  orqali B fazaning boshiga oʻtadi.  $t_1 - t_2$  vaqt ichida tok A fazadan  $VD_1$  va  $VD_5$  diodlar va  $R_i$  orqali B fazaga oʻtadi.  $t_2 - t_3$  vaqt ichida  $VD_1$  va  $VD_6$  diodlar ishlaydi,  $t_3 - t_4$  vaqt ichida  $VD_2$  va  $VD_6$ ,  $t_4 - t_5$  vaqt ichida  $VD_2$  va  $VD_4$ ,  $t_5 - t_6$  vaqt ichida  $VD_3$  va  $VD_4$  diodlar ishlaydi. Keyin jarayon yana boshidan takrorlanadi.

Har bir diod davrning uchdan bir qismida uzluksiz ishlaydi, boshqa vaqt esa yopiq holatda boʻladi.  $t_1 - t_3$  vaqt ichida  $VD_1$  ishlaydi.  $t_2 - t_4$  vaqt ichida  $VD_6$  ishlaydi va hokazo. Toʻgʻrilangan tokning oʻrtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{to'g'} = \frac{U_{to'g'}}{R_i} = \frac{U_m(AB)}{R_i T/6} \int_{i_1}^{i_2} \sin \omega t dt = \frac{6I_m}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sin \omega t d\omega t =$$

$$= \frac{3\sqrt{2}I}{\pi} (\cos \omega t) \Big|_{\pi/3}^{2\pi/3} = 1,346I = 1,346 \frac{U_{AB}}{R_i}$$

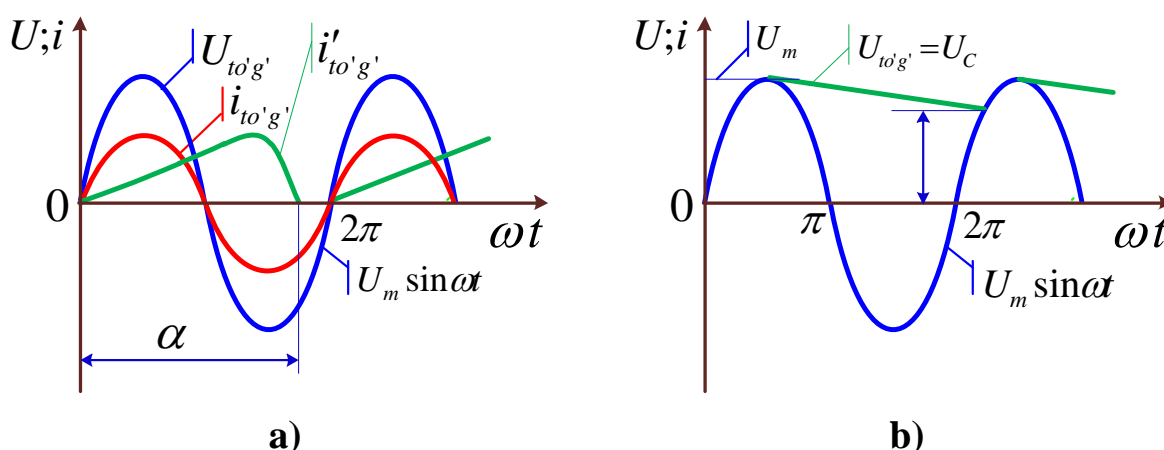
Zanjirning chiqishidagi toʻgʻrilangan kuchlanishning qiymati:

$$U_{to'g'} = I_{to'g'} R_i = 1,346 U_{AB}$$

Demak, olti fazali koʻprik sxema tok va kuchlanishlarni nisbatan sifatli toʻgʻrilab beradi. Shuningdek, mazkur sxema transformersiz boʻlib, ancha soddadir.

To`g`rilangan tokning shaklini o`zgaras tok shakliga yaqinlashtirish va eng avvalo, pulsatsiyalanishni kamaytirish yoki butunlay yo`qotish maqsadida to`g`rilagichning chiqishiga iste`molchidan oldin **tekislovchi filtrlar** o`rnatiladi. To`g`rilangan kuchlanishdagi pulsatsiyalar egri chizig`i Fure qatoriga yoyilganida asosiy va bir nechta yuqori garmonikalardan iborat bo`lgani uchun yuqori garmonikalarni ushlab qolish yoki susaytirish maqsadida sxemaga ulangan induktivlik va sig`imlardan foydalaniladi. Bunday sxemalar *filtrlar* deyiladi. Oddiy filtrlarning keng tarqalgan sxemalari G-simon, T-simon va P-simondir (7.30- a-d rasm). Ular ketma-ket ulangan induktivlik va parallel ulangan sig`im elementlardan iboratdir. Induktivlik  $L_0$  (7.30- a rasm) tokning o`zgaruvchan tashkil etuvchilari (garmonikalar)ga qo`shimcha qarshilik ko`rsatadi, o`zgaras tokka esa qarshilik ko`rsatmaydi. Sig`im  $C_0$  esa, aksincha, o`zgaruvchan tashkil etuvchilarga qarshiligi kichik. Shuning uchun garmonikalar iste`molchi  $R_i$  dan emas, sig`im orqali o`tadi. Kondensator esa o`zgaras tokni o`tkazmaydi.

7.31- *a* va *b* rasmda induktiv va sig`im filtrlar yordamida tekislangan tok va kuchlanish grafiklari ko`rsatilgan.  $R_i - L_0$  zanjirdagi o`tish jarayoni hisobiga tok  $i_{to'g'}$  ning to`lqini to`g`rilangan kuchlanish  $U_{to'g'}$  ning yarim to`lqinidan faza jihatdan orqada qoladi. Shu sababli bu tokning oqib o`tish vaqti va faza jihatdan  $\alpha > \pi$  burchakka ortadi va  $\pi$  dan  $2\pi$  gacha bo`lgan to`xtash qisman to`latiladi.



**7.31-rasm.**

Parallel ulangan sig`imning to`g`rilangan kuchlanishga ta`siri 7.31- *b* rasmda ko`rsatilgan 0 dan  $\pi/2$  gacha bo`lgan fazada to`g`rilangan kuchlanish 0 dan  $U_m$

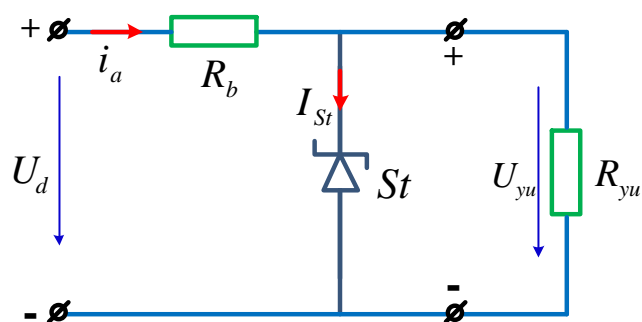
gacha ortadi va kondensatorni  $U_c = U_m$  gacha zaryadlaydi.  $\pi/2$  dan  $\pi$  gacha boʻlgan keyingi fazada kuchlanish  $U_m$  dan 0 gacha kamayadi. Bu vaqt ichida kondensator isteʼmolchi  $R_i$  orqali zaryadsizlanib ulgurmay va  $\pi/2$  dan  $\pi$  gacha boʻlgan faza davomida zaryadlanish davom etadi. Bu vaqt ichida kondensator kuchlanish  $U_0$  gacha zaryadsizlanadi. Bu kuchlanishning qiymati kondensatorning vaqt doimiysi  $\tau = R_i C$  ga bogʻliq. Shuning hisobiga kuchlanish  $U_{toʻgʻ} = U_c$  filtsiz toʻgʻrilangan kuchlanish oʻrtacha qiymatidan ortib ketadi.

Shunday qilib, tekislovchi filtrlardan foydalanish siqishdagi tokning (kuchlanishning) pulsatsiyasini kamaytirishi bilan birga, toʻgʻrilash koeffitsientini ham bir qancha orttiradi (ayniqsa, yarim davrli sxemalar uchun).

Agar toʻgʻirlagichning chiqishidagi kuchlanishning moʻtadilligi talab qilinsa, u holda toʻgʻrilagich bilan isteʼmolchining orasiga *kuchlanish stabilizatori* ulanadi. Stabilizatorlar parametrik va kompensatsion xillarga boʻlinadi. Parametrik stabilizatorlarda stabilitron turdagi asboblardan foydalaniladi. Bu asboblarda tokning qiymati oʻzgargani bilan kuchlanish oʻzgarmaydi. Kompensatsion stabilizatorlarda isteʼmolchiga berilayotgan kuchlanishni avtomatik rostlash prinsipidan foydalaniladi.

Parametrik kuchlanish stabilizatori ballast qarshilik  $R_b$  va stabilitron dan tuzilgan (7.32-rasm).

Manba kuchlanishining yoki isteʼmolchi qarshiligining oʻzgarishi toʻgʻrilangan kuchlanish  $U_v$  ning oʻzgarishiga sabab boʻlishi mumkin. Biroq isteʼmoldagi kuchlanish ( $U_i$ ) oʻzgarmaydi, chunki bu kuchlanish

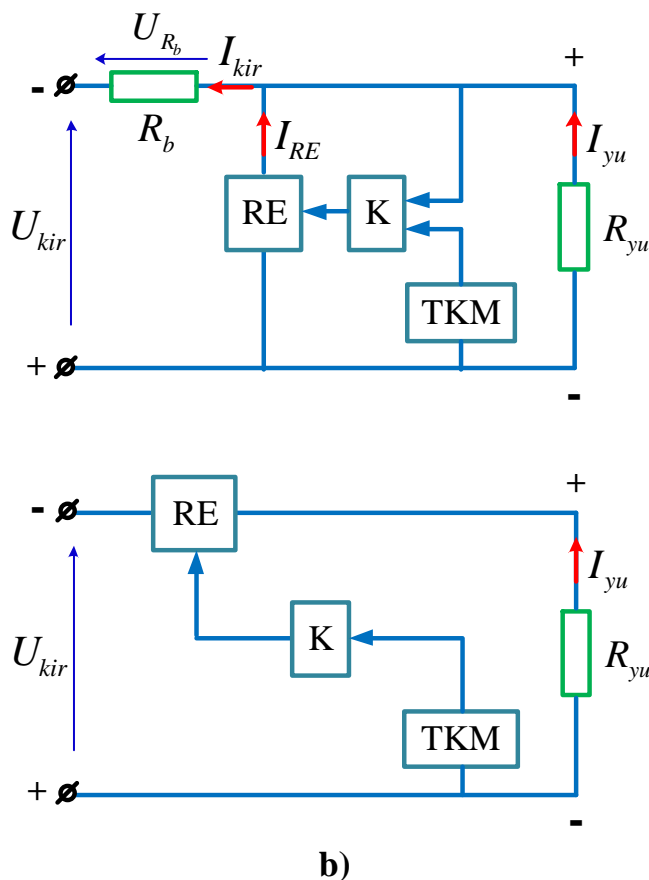


7.32-rasm.

stabilitronning teskari kuchlanishiga bogʻlangan. Stabilizatorni hisoblash isteʼmoldagi kuchlanishga qarab stabilitron turini va ballast qarshilik ( $R_b$ ) ning qiymatini tanlashdan iboratdir.

Kuchlanishni stabillashning sifat koʻrsatkichi stabillash koeffitsientidir. Bu koeffitsient chiqishdagi kuchlanishning nisbiy oʻzgarishini koʻrsatadi:

$$K_{st} = \frac{\Delta U_d}{U_d} : \frac{\Delta U_H}{U_H}. \text{ Odatda, } K_{st} = 20 \div 50 \text{ bo`ladi.}$$



7.33-rasm.

Kompensatsion kuchlanish stabilizatori (KKS) ning ishlashi iste`molchidagi kuchlanishning o`zgarishi rostlovchi element (RE) ga uzatilishiga asoslangan. Bu element kuchlanishning o`zgarishiga to`sqinlik qiladi. 7.33-rasmda kompensatsion kuchlanish stabilizatorining parallel va ketma-ket ulanish sxemalari ko`rsatilgan. RE ga o`zgarmas tok kuchaytirgichi (K) va tayanch kuchlanish manbai (TKM) dan tashkil topgan boshqarish sxemasi ta`sir etadi. TKM yordamida iste`molchidagi kuchlanish tayanch kuchlanishi bilan taqqoslanayotgan

kuchlanishlarning ayirmasini kuchaytirib RE ga uzatadi. 7.33- b rasmdagi sxemada RE iste`molchi bilan ketma-ket ulangan. Bunda RE dagi kuchlanishning o`zgarishi iste`molchi kuchlanishining stabilligini ta`minlab beradi. RE va iste`molchidan bir xil tok o`tadi. RE ning qarshiligi kuchaytirgichning chiqish kuchlanishi ta`sirida o`zgaradi.

Kompensatsion kuchlanish stabilizatorlarining stabillash koeffitsienti nisbatan yuqori, chiqish qarshiligi esa parametriklikiga qaraganda ancha kichik.

1-masala. 33-rasmda ko`rsatilgan bir fazali, ikkita yarim davrli to`g`rilagich uchun to`g`rilangan kuchlanishning o`rtacha qiymati  $U_d = 400V$ , to`g`rilangan tokning o`rtacha qiymati esa  $I_d = 0,1A$ , manba kuchlanishining ta`sir etuvchi qiymati  $U = 127 V$ , chastotasi  $50 Gs$ , to`g`rilagichning ish tempepraturasi  $t \leq 50^{\circ}C$  bo`lsa, quyidagilar aniqlansin: har bir ventildan o`tayotgan to`g`rilangan

tokning qiymati  $I_a$ ; to'g'rilangan tokning maksimal qiymati  $I_{max}$ ; ventildagi teskari kuchlanishning maksimal qiymati  $U_{mtes}$ ; transformator ikkilamchi cho'lg'aming bir bo'lagidagi kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati  $U_2$ ; transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidan o'tayotgan tokning ta'sir etuvchi qiymati  $I_2$ ; transformator birlamchi cho'lg'aming quvvati  $P_1$ ; ikkilamchi cho'lg'aming quvvati  $P_2$ ; birlamchi cho'lg'am toki  $I_1$ ; iste'molchi qarshiligi  $R_i$ .

$$Yechilishi: I_a = 0,5 \quad I_d = 0,5 \quad 0,1 = 0,05 \text{ A}$$

$$I_m = \frac{\pi}{2} I_d = \frac{\pi}{2} 0,1 = 1,57 \quad 0,1 = 0,157 \text{ A};$$

$$U_m = 3,14 \quad U_d = 3,14 \quad 400 = 1256 \text{ V};$$

$$U_2 = 1,11 \quad U_D = 1,11 \quad 400 = 444 \text{ B};$$

$$I_2 = 0,785 \quad I_d = 0,785 \quad 0,1 = 0,0785 \text{ A};$$

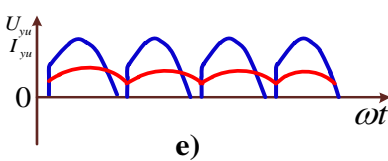
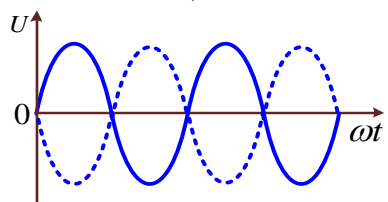
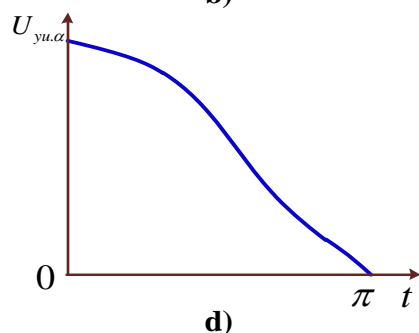
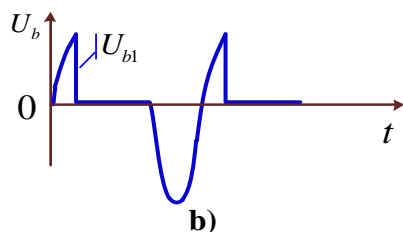
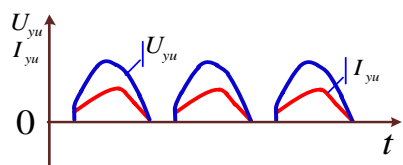
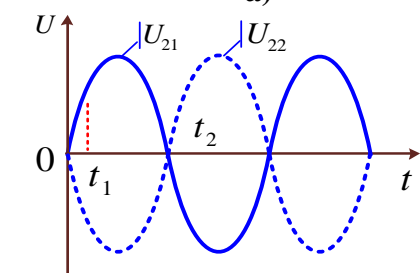
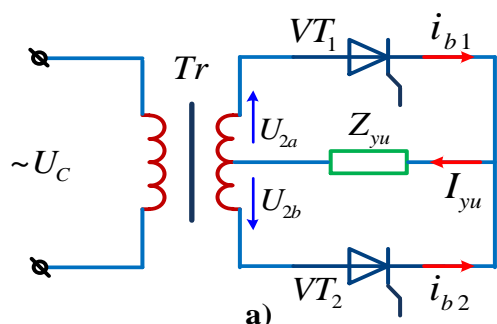
$$P_1 = 1,48 \quad P_0 = 1,48 \quad U_d I_d = 1,48 \cdot 40 = 59,2 \approx 60 \text{ Vt}$$

$$P_2 = 2U_2 I_2 = 2 \cdot 444 \cdot 0,9785 = 70 \text{ Vt}, \quad P_1 \approx P_2 = 70 \text{ Vt}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_{11}} = \frac{70}{127} = 0,55 \text{ A}$$

$$R_i = \frac{U_d}{I_d} = \frac{400}{0,1} = 4000 \text{ Om.}$$

## 7.9. Tiristorli o'zgartirgichlar



7.34-rasm.

Hozirgi zamon elektr energetikasida tiristorli o'zgartirgichlardan keng foydalaniladi. Ular o'zgartiruvchan tokni to'g'rilash, o'zgarmas tokni invertorlash, tok chastotasini o'zgartirish uchun ishlatiladi. Dastlab tiristorli o'zgartirgichlardan o'zgarmas tok dvigatellariga o'zgarmas kuchlanish berishda foydalanilgan. Tiristorli o'zgartirgich yordamida o'zgarmas tok dvigatellariga berilayotgan kuchlanishni o'zgartirib dvigatelning aylanish tezligini boshqarish mumkin. Boshqariladigan to'g'rilagichlardan shu maqsadda foydalaniladi. Bu to'g'rilagichlarda tiristor boshqariladigan ventil vazifasini bajaradi. Bir fazali ikkita yarim davrli boshqariladigan to'g'rilagichning ishlashini ko'rib chiqamiz (7.34-rasm a). Mazkur to'g'rilagichning sxemasi boshqarilmaydigan to'g'rilagichnikidan deyarli farq qilmaydi. Faqat ventil elementi sifatida tiristordan foydalanilgan. Tok davrning birinchi yarmida  $V_1$  ventildan, ikkinchi yarmida esa  $V_2$  dan o'tadi. Iste'molchidagi tok va kuchlanishning yo'nalishi o'zgarmasdir. Boshqariladigan ventillarning qo'llanishi kuchlanish qiymatini rostdash imkonini beradi. Ventil unga ochuvchi impuls berilganidan keyingina ulanadi. Bu impuls ventiling tabiiy

ulanish vaqtida emas, balki qandaydir kechikish bilan beriladi. Ventilning tabiiy ulanish vaqtdan boshlab xisoblanadigan kechikish burchagi  $\alpha$  **boshqarish burchagi** deyiladi va elektrik graduslarda o`lchanadi.

To`g`rilagichga aktiv xarakterga ega bo`lgan iste`molchi ulangan bo`lsin.  $t = 0$  vaqtda  $V_1$  va  $V_2$  ventillar yopiq, iste`molchidan tok o`tmaydi.  $t = t_1$  bo`lganda  $V_1$  ventilga ochuvchi impuls beramiz. Bunda ventil va iste`molchidan tok o`tadi. Iste`molchidagi kuchlanish keskin ortadi va shu lahzada transformatorning ikkilamchi cho`lg`amidagi  $u_{21}$  kuchlanishga tenglashadi (7.34-rasm). Keyin iste`molchining kuchlanishi transformatorning ikkilamchi cho`lg`amidagi kuchlanishning o`zgarish qonuniga binoan o`zgaradi.  $t = t_2$  bo`lganda  $u_{21}$  kuchlanish nolga teng bo`lib, o`z yo`nalishini o`zgartiradi. Ventil  $V_1$  dagi tok kamayib, nolga tenglashadi va u yopiladi. Iste`molchidagi tok va kuchlanish nolga tenglashadi va ikkinchi ventil  $V_2$  ga oquvchi impuls berilganda iste`molchidan tok o`tadi va undagi kuchlanish transformatorning shu vaqtdagi ikkilamchi cho`lg`amidagi kuchlanish  $u_{22}$  ga teng bo`ladi. Iste`molchidagi kuchlanish mazkur cho`lg`amdagi kuchlanishning o`zgarish qonuni bo`yicha o`zgaradi. Ventil  $V_2$  dan o`tayotgan tok nolga teng bo`lib qoladi. Iste`molchidagi tok va kuchlanish to`g`rilangan va pulsatsiyalanuvchidir. To`g`rilangan kuchlanishning o`rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{Ha} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_{21} \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (1 + \cos \alpha)$$

$$\frac{2\sqrt{2} U_{21}}{\pi} = U_0 = 0,9U_{21}$$

ekanligini xisobga olsak,

$$U_{Ha} = \frac{U_0}{2} (1 + \cos \alpha)$$

deb yozish mumkin.

$\alpha = 0$  bo`lganida iste`molchidagi kuchlanish boshqarilmaydigan to`g`rilagichlarnikidagi kabi  $U_0$  ga teng,  $\alpha = 180^\circ$  bo`lganda  $U_{Ha} = 0$ .  $\alpha$  ning

qiymatini 0 dan  $180^0$  gacha o`zgartirib,  $U_{Ha}$  ning turli qiymatlarini olish mumkin (7.34- d rasm).

To`g`rilangan tokning o`rtacha qiymati:

$$I_{o`r} = \frac{U_{ha}}{R_i} = \frac{U_0}{R_i} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

Ventildagi to`g`ri kuchlanish  $\alpha$  ga bog`liqdir.  $\alpha = 90^0$  bo`lganda to`g`ri kuchlanish maksimal qiymatga ega. Ventildagi maksimal teskari kuchlanish transformatorning ikkilamchi cho`lg`amidagi liniya kuchlanishining amplitudasiga tengdir:

$$U_{tes} = \sqrt{2} U_1 = 2\sqrt{2} U_{21}$$

Iste`molchidagi kuchlanish iste`molchining xarakteriga bog`liqdir. Agar iste`molchi aktiv-induktiv xarakterga ega bo`lsa,  $VT_1$  va  $VT_2$  ventillarning yopiq holatida ham iste`molchidan tok o`tadi. Induktiv iste`molchining magnit maydoni energiyasi hisobiga tok uzluksiz bo`ladi.

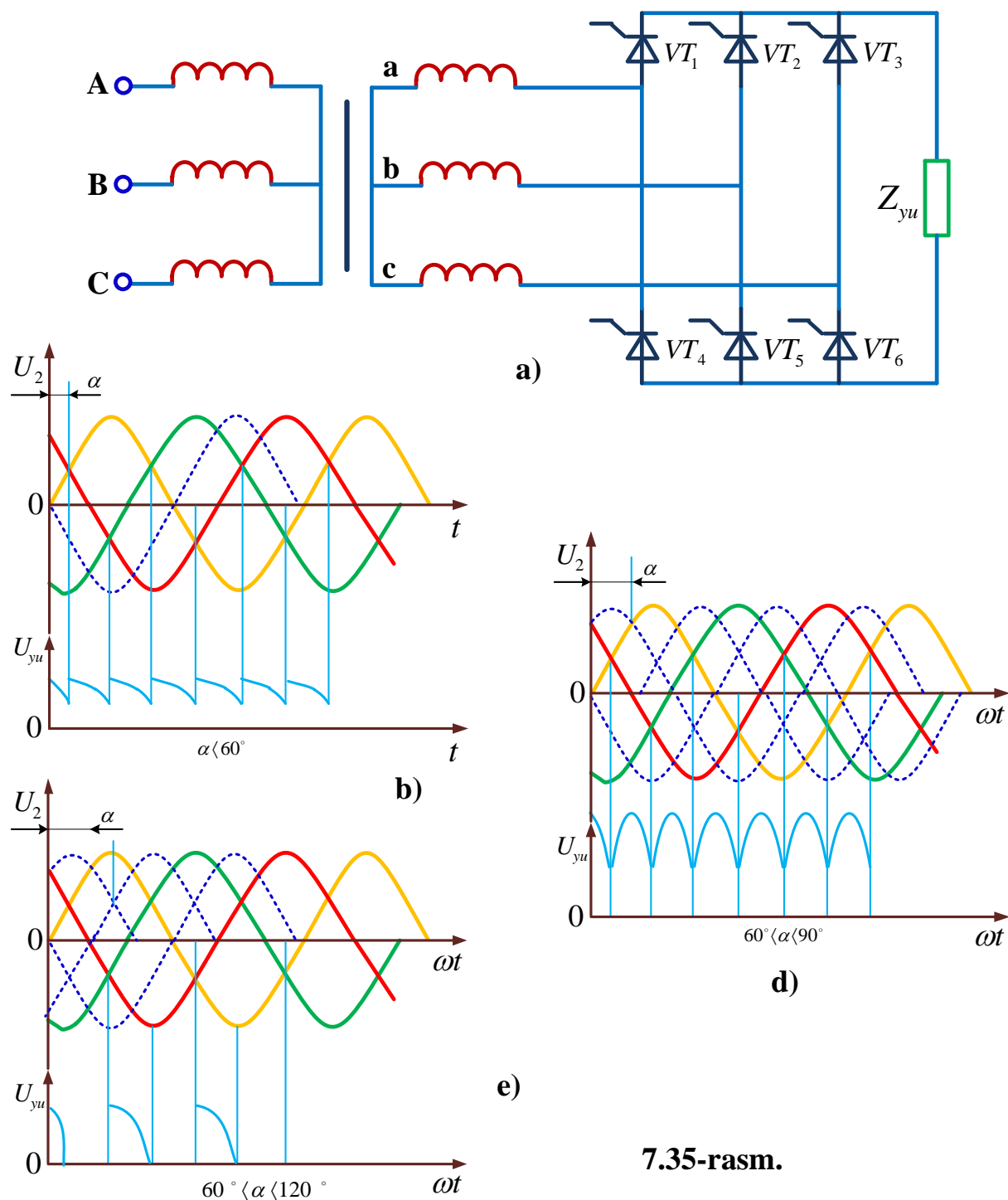
Iste`molchidagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{ha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} U_{21} \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_{21}}{\pi}$$

$$[-\cos(\pi + \alpha) + \cos \alpha] = \frac{2\sqrt{2}U_{21}}{\pi} \cos \alpha = U_0 \cos \alpha$$

To`g`rilangan kuchlanishning qiymati, iste`molchining xarakteridan qat`iy nazar,  $\alpha$  ga bog`liqdir. Iste`molchi va ventildagi kuchlanishlarning egri chiziq-lari 7.35- rasmda keltirilgan. Ventil  $VT_1$  ni ulashdan oldin unga transformatorning ikkilamchi cho`lg`amidagi  $U_{21}$  to`g`ri kuchlanish beriladi.  $\alpha = \omega t$  bo`lganda  $VT_1$  yopiladi va transformatorning ikkilamchi cho`lg`amidagi kuchlanish ostida bo`ladi.  $VT_2$  dagi kuchlanish qiymati  $VT_1$  dagi kuchlanish kabi bo`ladi, faqat faza jihatdan yarim davrga siljiydi.





**7.35-rasm.**

Uch fazali tokni to`g`rilash uchun cho`lg`amning o`rtasidan sim chiqarilgan sxema va ko`prik sxemalardan foydalaniladi. Ko`prik sxemali boshqariladigan to`g`rilagichning ishlashini ko`rib chiqamiz (7.35-rasm). Sxemada uch fazali transformator va oltita ventildan foydalanilgan. Bunda hamma vaqt juft ventillar ishlaydi, masalan  $VT_1$  va  $VT_4$ ,  $VT_2$  va  $VT_5$ ,  $VT_6$  va  $VT_3$  va hokazo. Sxemaning normal ishlashi uchun tegishli ventillarga ochuvchi boshqarish impulslarini baravariga berish lozim. Boshqarish burchagi  $\alpha < 60^\circ$  bo`lganida to`g`rilangan

kuchlanish uzluksizdir,  $\alpha > 60^\circ$  bo`lganda esa uzluklidir. Kuchlanishning qiymati  $\alpha < 60^\circ$  bo`lganida  $U_{Ha} = U_0 \cos \alpha$  ( $U_0$ -uch fazali boshqarilmaydigan to`g`rilagichning chiqishdagi kuchlanish),  $\alpha < 60^\circ$  bo`lganda esa

$$U_{Ha} = U_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right]$$

Shunday qilib, boshqarish burchagi  $\alpha$  ni o`zgartirish orqali to`g`rilagichning chiqishdagi kuchlanishning qiymatini o`zgartirish mumkin. Boshqariladigan to`g`rilagichlar o`zgarimas tok elektr yuritmalarini boshqarishda ishlatiladi. G-D sistemalaridagi generator o`rniga boshqariladigan to`g`rilagich o`rnatib, uning chiqish kuchlanishini boshqarish orqali elektr yuritmaning tezligini boshqarish mumkin. Katta quvvatli tiristorlarni simobli to`g`rilagichlar o`rnida ishlatish mumkin.

Yuqorida qayd etilganidek, tiristorli to`g`rilagichning chiqishdagi kuchlanish tiristorning boshqarish burchagiga bog`liqdir, tiristorni ochish uchun signal boshqarish sistemasidan beriladi.

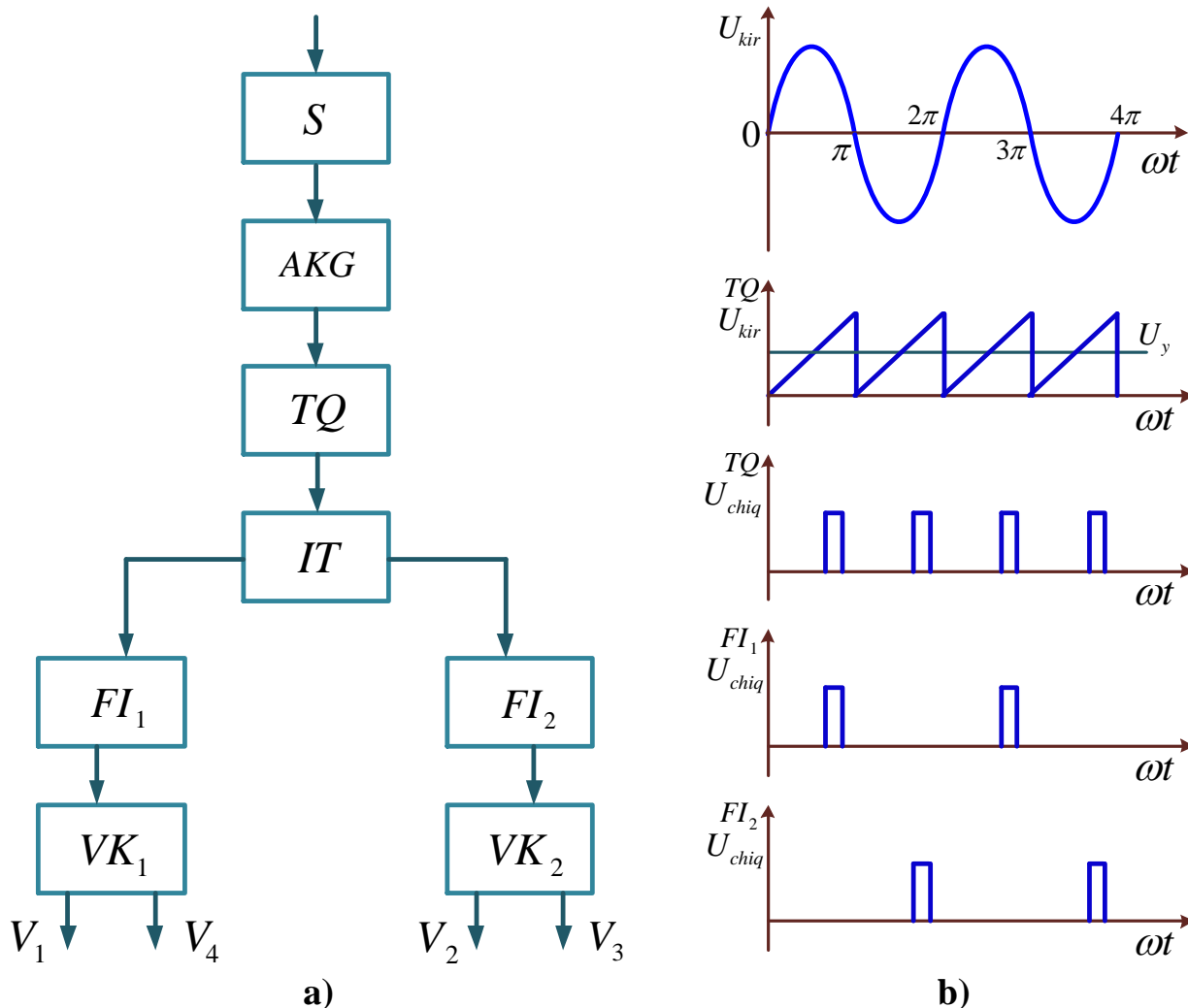
Boshqarish sistemasining vazifasi quyidagilardan iborat:

- impulsning ventilni ochishga yetarli bo`lgan tok va kuchlanish amplitudasini ta`minlash;
- boshqarish impulslarining tikligini ta`minlash;
- boshqarish impulslarining fazalar bo`yicha simmetrik bo`lishini ta`minlash;
- rostdashni keng doirada amalga oshirish.

Boshqaruvchi impuls tiristorning ochilish burchaginigina rostlaydi. Tiristorning yopilishi esa anod toki nolga teng bo`lganida o`z-o`zidan ro`y beradi. Shu sababli, boshqarish impulslari qisqa, lekin anod toki ishlab ketish tokiga teng bo`lishini ta`minlab beradigan vaqt ichida ta`sir etishi kerak.

Qanday elementlardan tuzilganligiga qarab boshqarish sistemasi elektromagnit va yarim o`tkazgichli sistemalarga bo`linadi. Elektromagnit sistemalarga impulslarda hosil qiluvchi va faza siljitivchi tuzilmalar sifatida

ferromagnit elementlar ishlatiladi. Yarim oʻtkazgichli sistemalar tranzistorli yoki kichik quvvatli sxemalardan iboratdir.



7.36-rasm.

Boshqaruvchi impulslar bir yoki bir necha kanalda ishlab chiqarilishiga qarab boshqarish sistemalari bir va koʻp kanalli xillarga boʻlinadi.

Boshqarish sistemalari boshqaruvchi impulsning fazasi qanday oʻzgarishiga qarab gorizonta, vertikal va raqamli sistemalarga boʻlinadi. Gorizonta boshqarish sistemasida boshqaruvchi impuls sinusoidal kuchlanish nolga teng boʻlgan vaqtda hosil qilinadi. Impulsning fazasi sinusoidal kuchlanishning fazasini oʻzgartirish yoʻli bilan oʻzgartiriladi. Vertikal boshqarish sistemasida boshqaruvchi impuls oʻzgaruvchan va oʻzgarmas kuchlanishlarni taqqoslash natijasidan kelib chiqib hosil qilinadi. Impuls mazkur kuchlanishlar oʻzaro tenglashganida hosil boʻladi.

7.36- a rasmda bir fazali ko`prik to`g`rilagichni boshqaradigan vertikal bir kanalli sistemaning struktura sxemasi ko`rsatilgan. Tiristorlardagi kuchlanish to`g`ri ulanganda S sinxronizatorning kirishiga  $U_{kir}$  kuchlanish beriladi. Signal sinxronizatoridan o`zgaruvchan tok generatori AKG (arrasimon kuchlanishlar generatori) ga uzatiladi. AKG arrasimon kuchlanish ishlab chiqarib, uni taqqoslash qurilmasiga (TQ) uzatadi. TQ da bu kuchlanish o`zgarmas kuchlanish bilan taqqoslanadi. Arrasimon va o`zgarmas kuchlanishlar o`zaro tenglashganida TQ impuls ishlab chiqaradi va uni impulslarni taqsimlovchi (IT) ga uzatadi. IT impulsni impuls hosil qiluvchi  $IHQ_1$  va  $IHQ_2$  ga uzatadi. Ularda impuls shakllanib, chiqish kaskadlari  $ChK_1$  va  $ChK_2$  orqali tiristorlarga uzatiladi.

Raqamli boshqarish sistemalari, boshqaruvchi impulslar fazasini raqamli kod shaklida ishlab chiqaradi. Bu kod ventilli o`zgartirgichning raqamli boshqarish sistemasidagi xotira qurilmasiga yozib olinadi. So`ngra u impulslar fazasiga aylantiriladi. Raqamli boshqarish sistemasi, asosan, o`zgartirgich avtomatik rostdash sistemasining bir qismi bo`lganida ishlatiladi.

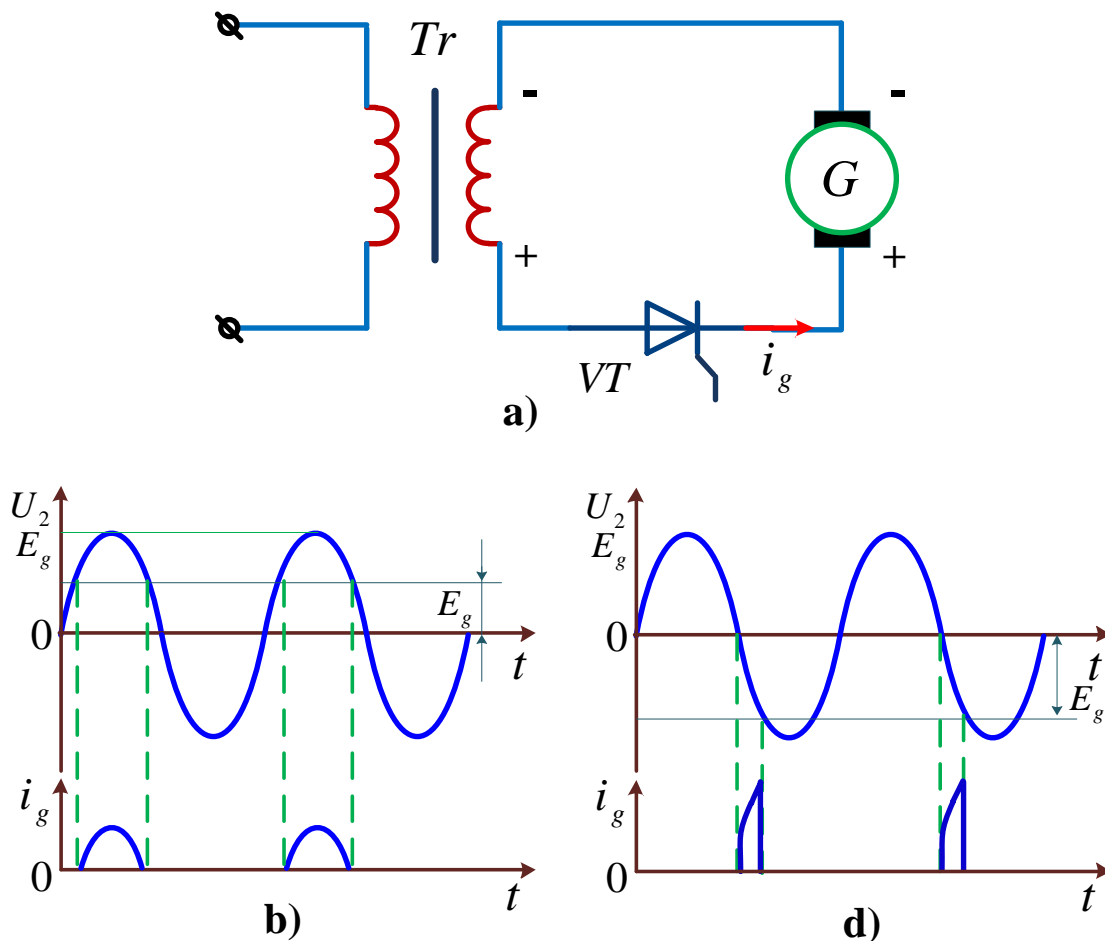
### 7.10. Invertorlar

Ko`pincha, o`zgarmas tokni o`zgaruvchan tokka aylantirish talab etiladi. O`zgarmas tokni o`zgaruvchan tokka aylantirib beruvchi qurilma *invertor* deb ataladi.

Invertorlar o`zgarmas tok zanjiridagi energiyani o`zgaruvchan tok zanjiriga uzatishi mumkin. Bunda invertorning ishi manbaning o`zgaruvchan kuchlanishi bilan belgilanadi. Invertor esa manbaga bog`langan deyiladi. Agar invertor iste`molchini manba bilan bog`lanmagan holda energiya bilan ta`minlasa, u *avtonom invertor* deyiladi.

Invertorlash jarayoni to`g`rilash jarayoniga teskaridir. Shu bois invertorlash jarayonini boshqariladigan yarim davrli to`g`rilagich misolida ko`rib chiqish mumkin (7.37-rasm). O`zgarmas tok genaratori transformator TR ning ikkilamchi cho`lg`ami bilan ventil V orqali bog`langan.

Transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidagi kuchlanish sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi. V faqat  $|u_2| > |E_g|$  bo'lgandagina ishlaydi. Bunda tok transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidan genetaor (G) ga oqib o'tadi. Bu esa to'g'rilash rejimiga mos keladi (7.37- a rasm).

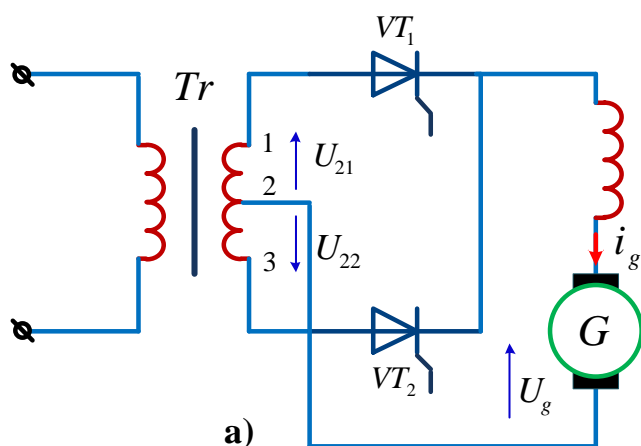


7.37-rasm.

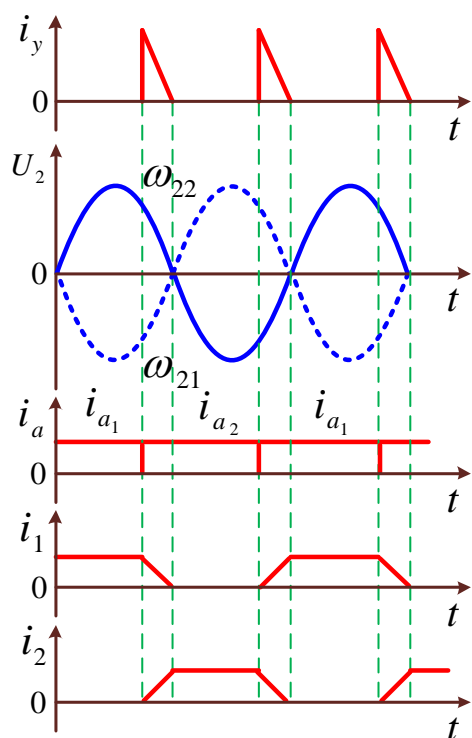
Agar generator EYuK ning qutblarini o'zaro almashtirsak va tiristorning boshqarish burchagini  $\alpha > 180^\circ$  qilsak, tok generatordan transformatorga oqib o'tadi. Mazkur tok faza jihatdan transformatorning ikkilamchi cho'lg'amidagi kuchlanish bilan mos tushadi. Sxema inverter rejimida ishlaydi (7.37- b rasm). Bunda  $E_g > U_2$ .

Demak, o'zgartirgich to'g'rilash rejimidan inverterlash rejimiga o'tishi uchun, birinchidan genartor EYuK ning yo'nalishini o'zgartirish va  $E_g > U_2$  bo'lishini ta'minlash, ikkinchidan, tiristorni boshqaruv burchagi  $\alpha$  ni  $180^\circ$  dan katta qilib olish kerak.

Manba bilan bogʻlangan invertorning ishlashini bir fazali inverter misolida koʻrib chiqamiz (7.38-rasm). Transformatorning ikkilamchi choʻlgʻamiga ikkita ventil ( $VT_1$  va  $VT_2$ ), generator ( $G$ ) ulangan. Ventil  $V$  ochiq boʻlib,  $u_{21}$  kuchlanish manfiy qiymatga ega boʻlsa, tok transformatorning 1-2 uchlariga musbat potensialga ega boʻlgan uchidan kirib keladi. Bunda energiya generator  $G$  dan oʻzgaruvchan tok manbaiga uzatiladi. Inverter uchun chiqish kuchlanishi boʻlmish



$U_g$  ventil  $VT_1$  yopilmagunicha  $u_{21}$  ning oʻzgarish qonuni boʻyicha oʻzgaradi. Keyingi yarim davr ichida transformatorning 2-3 uchlarida manfiy ishorali  $u_{22}$  kuchlanish boʻladi. Tok ventil  $V_2$  dan oʻtib, transformator 2-3 choʻlgʻaming oxiridan bosh uchiga oqib oʻtadi. Bunda energiya yana genartor  $G$  dan manbaga uzatiladi.



b)

Ventil  $VT_1$  ga ikkilamchi choʻlgʻamning toʻliq kuchlanishi berilgan boʻlib, mazkur kuchlanish  $V_1$  uchun teskaridir. Bunda ventil  $VT_1$  yopiladi.

Oʻzgartirgich inverter rejimida ishlaganida ochilishi ilgariyatish burchagi degan tushuncha kiritiladi. Bu burchak  $\beta$  bilan beligilanadi ( $\beta = \pi - \alpha$ ). Har bir ventiling ochilish burchagi  $u_{21}$  va  $u_{21}$

7.38-rasm.

kuchlanishlar nolga teng boʻlgan lahzadan boshlab  $\beta$  burchagini chapga siljigan. Bunda bir ventil berkilganida ikkinchisining bir zumda ochilishi taʼminlanadi.

Shuning xisobiga transformator cho'lg'amlaridagi tok uzluksizdir. Tiristorlarning normal ishlashi uchun  $\beta > \gamma + t_{o'ch}$  shart bajarilishi kerak. Bu yerda  $\gamma$ -tiristorning kommutatsiya burchagi,  $t_{o'ch}$  -tiristor yopilish xossalarining qayta tiklanish vaqti.

Invertor kuchlanishining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{H\beta} = \frac{1}{\pi} \int_{-\beta}^{\beta} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = -U_{Ho} \cos \beta$$

bu yerda  $U_{Ho} = 0,9U_2 - \beta = 0$  bo'lgandagi kuchlanishning o'rtacha qiymati.

$\beta$ ni  $\alpha$  orqali ifodalasak:

$$U_{H\beta} = -U_{Ho} \cos(\pi - \alpha) = U_{Ho} \cos \alpha = U_{Ha}$$

Kuchlanishning o'rtacha qiymati to'g'rilagichniki kabi aniqlanadi:

$\alpha > \frac{\pi}{2}$  bo'lganda o'zgartirgich invertor rejimida ishlaydi.

$\alpha < \frac{\pi}{2}$  bo'lganda o'zgartirgich to'g'rilash rejimida ishlaydi.

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  bo'lganda, o'zgartirgich faqat reaktiv quvvat ishlab chiqaradi

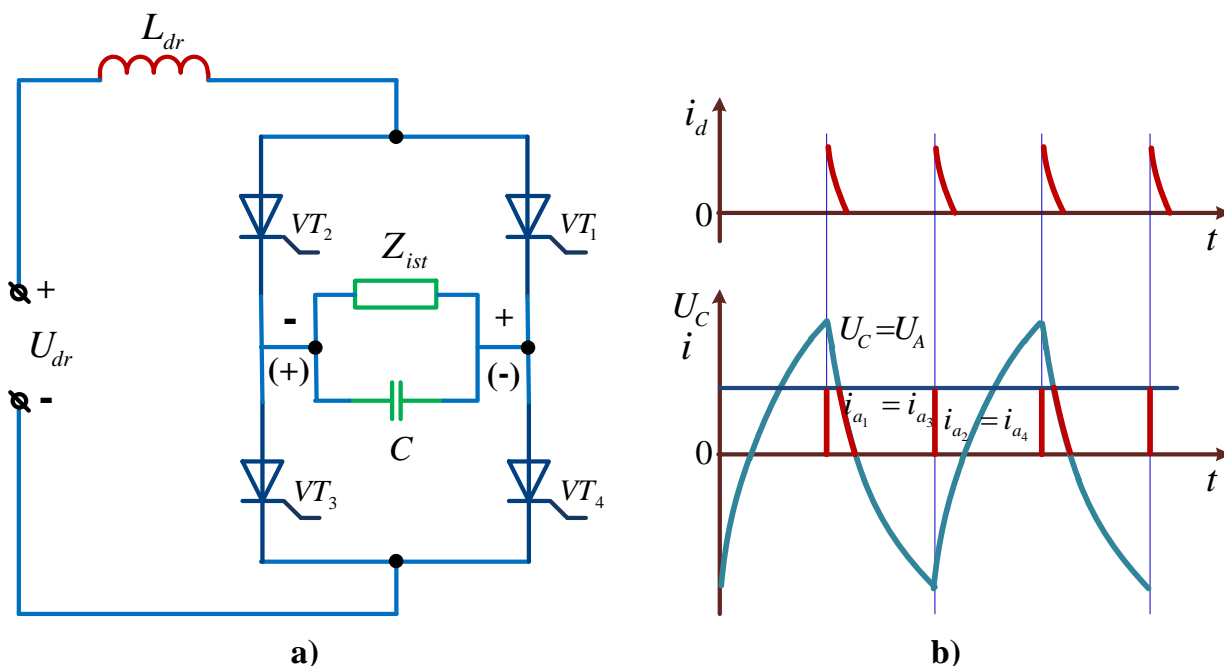
( $U_{Ha} = 0$  bo'ladi).

Ikkita bir xil tiristorli o'zgartirgichlarning ochilish burchaklarini rostlash orqali ulardan birini to'g'rilagich, ikkinchisini esa invertor sifatida ishlatsa bo'ladi. O'zgaras tok EUL (elektr uzatish liniyalari) da to'g'rilagich sifatida ishlovchi tiristorli o'zgartirgichlar o'rnatiladi. Ular uch fazali o'zgaruvchan tokni pulsatsiyalanuvchi o'zgaras tokka aylantirib beradi. EUL orqali o'zgaras tok uzatiladi. Liniyaning oxirida invertor rejimida ishlovchi tiristorli o'zgartirgich o'rnatiladi. U pulsatsiyalanuvchi o'zgaras tokni uch fazali o'zgaruvchan tokka aylantiradi. Bunda to'g'rilagich ham invertor ham bir xil tiristorlarga ega bo'lib, seksiyalardan yig'iladi.

Tiristorli o'zgartirgichlar o'zgaras tok dvigatellarining tezligini boshqarish va aylanish yo'nalishini o'zgartirishda keng qo'llanadi.

**Mustaqil ishlovchi invertorlar avtonom invertorlar deyiladi.** Avtonom invertorlar *tok invertorlari* va *kuchlanish invertorlariga* bo'linadi. Tok

inverterlari o'zgaras tok manbaiga katta induktivlikka ega bo'lgan drossel orqali ulanadi. Tok inverterining kirish zanjiridagi tokning qiymati o'zgarasdir. 7.39-rasmda ko'rsatilgan tok inverterining ishlashi bilan tanishib chiqamiz.

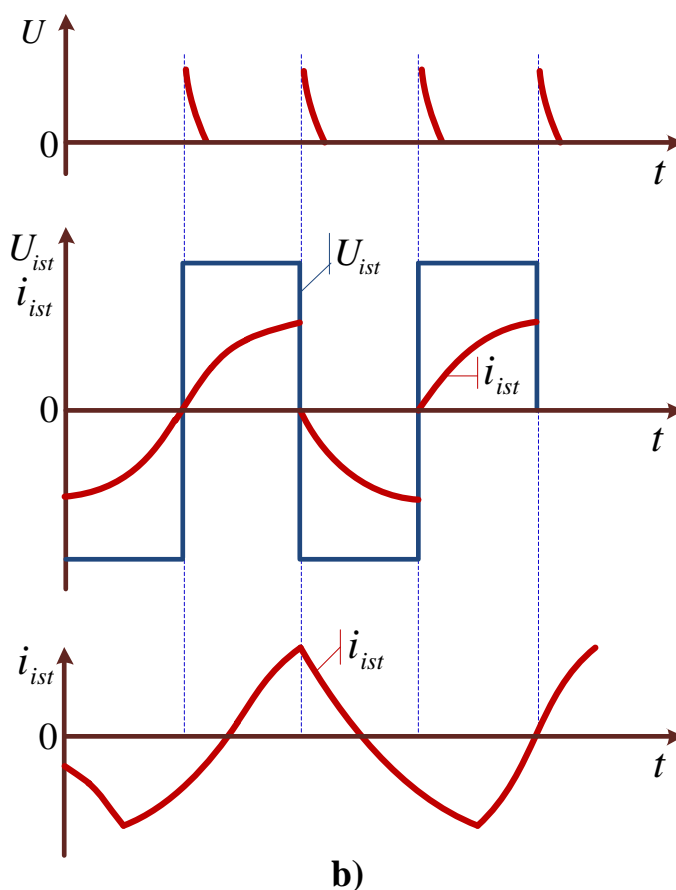
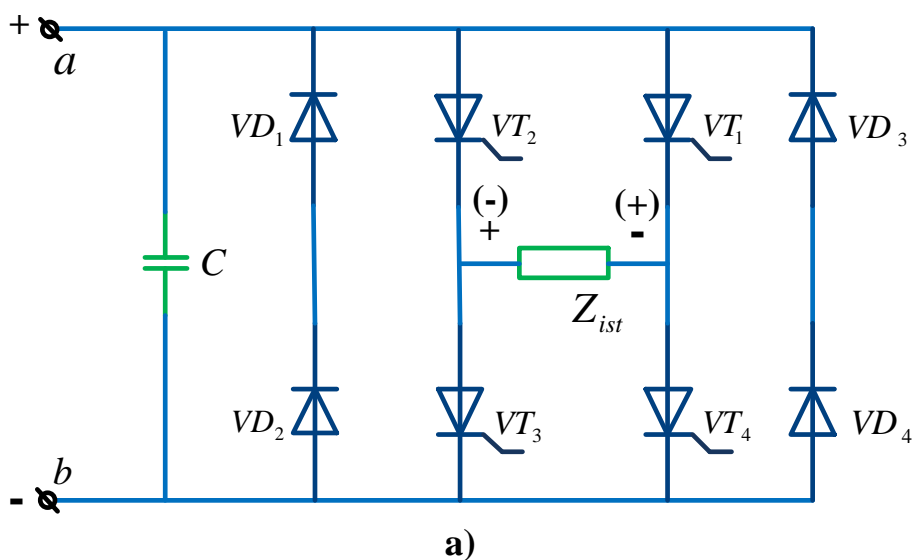


7.39-rasm.

Kirishdagi drossel induktivligi  $L_d \rightarrow \infty$ . Kirish toki o'zgaras ( $i_d = I_d$ ). Vaqt  $t = t_1$  bo'lganda  $V_1$  va  $V_3$  ventillar ochiq bo'lsa, tok bu ventillar orqali  $Z_i$  iste'molchidan o'tadi. Iste'molchiga kondensator  $C$  parallel ulangan. Bunda uning o'ng qoplamasi musbat, chap qoplamasi manfiy potensialga ega bo'ladi. Vaqt  $t = t_2$  bo'lganda  $V_2$  va  $V_4$  ventillarga boshqarish impulsi beriladi. Ventillar  $V_1$  va  $V_3$  yopilishga ulgurmaganda kondensator ventillar orqali qisqa tutashgan bo'lib qolib, zaryadsizlanadi. Kondensatorning zaryadlanish tokining yo'nalishi  $V_2$  va  $V_4$  zaryadlanishi bilan mos tushadi,  $V_1$  va  $V_3$  ventillardan o'tuvchi tokka esa teskaridir. Ventillar  $V_1$  va  $V_3$  yopiladi. Bunda  $V_2$  va  $V_4$  ventillardan o'tuvchi tok  $i = I_d$  bo'ladi. Kondensator qayta zaryadlanadi. Endi uning o'ng qoplamasi manfiy potensialga, chap qoplamasi esa musbat potensialga ega bo'ladi (7.39- b rasm). kondensator kuchlanishi o'zgaruvchan bo'lgani uchun iste'molchidagi kuchlanish ham o'zgaruvchan va uning effektiv qiymati  $U = \frac{U_d}{0,9 \cos \varphi}$  bo'ladi. Bu yerda  $\varphi$ - inverterlangan kuchlanish va inverterlangan tokning asosiy garmonikalari



orasidagi burchak. Kirish kuchlanishi  $U$  burchak  $\varphi$  ning qiymatiga bog`liqdir. Chiqish kuchlanishining shakli iste`molchi xarakteriga va  $C$  sig`imning qiymatiga bog`liqdir.



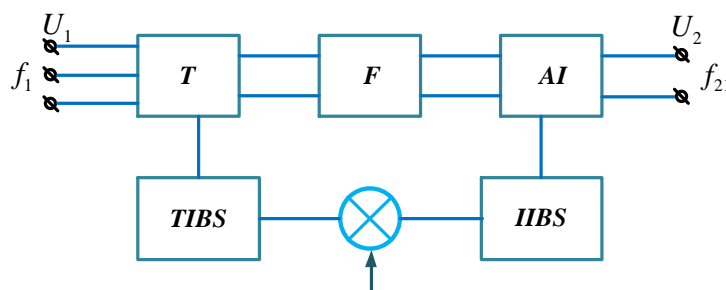
**7.40-rasm.**

Kuchlanish inverterlarida kirish kuchlanishining o`zgarmas bo`lishini ta`minlash uchun ular manbaga kondensator  $C$  orqali ulanadi. 7.40-rasmda

avtonom kuchlanish invertorining sxemasi ko`rsatilgan.  $V_1$  va  $V_4$  ventillar ochiq bo`lganida tok  $V_1$  ventildagi iste`molchi va  $V_4$  ventillar orqali o`tadi. Bu vaqtda  $V_2$  va  $V_3$  ventillar yopiq bo`ladi. Iste`molchidagi tok  $V_1$  ventilga ulangan uchlikdan  $V_4$  ventilga ulangan uchlikka oqib o`tadi. Agar iste`molchi aktiv xarakterga ega bo`lsa, tok kuchlanishning shaklini takrorlaydi. Bunda u qisman  $V_4$  va  $V_6$  ventillar, qisman  $V_1$  va  $V_7$  ventillar orqali tutashadi va nolga tenglashadi. Manbadan kelayotgan tok ochilgan  $V_2$  va  $V_3$  ventillar orqali iste`molchidan o`tadi. Mazkur tokning yo`nalishi oldingi toknikiga nisbatan qarama-qarshidir. So`ngra  $V_2$  va  $V_3$  ventillar yopilib,  $V_1$  va  $V_4$  ventillar ochiladi va jarayon takrorlanadi. Boshqarilmaydigan  $V_5, V_6, V_7$  va  $V_8$  ventillar boshqariladigan ventillarni shuntlash uchun ishlatiladi. Iste`molchidagi tok va kuchlanishlarning o`zgarish grafigi 7.40-b rasmda ko`rsatilgan.

### 7.11. Chastota o`zgartirgichlar.

Chastota o`zgartirgichlar ma`lum chastotali o`zgaruvchan tokning chastotasini o`zgartirish uchun xizmat qiladi. Tiristorli chastota o`zgartirgichlar ikki turga: oraliqda o`zgarmas tok zanjiri bo`lgan va bevosita bog`langan o`zgartirgichlarga bo`linadi. Oraliqda o`zgarmas tok zanjiri bo`lgan o`zgartirgichlar ikkita o`zgartirgichdan iborat. 7.41-rasmda mazkur chastota o`zgartirgichning struktura sxemasi ko`rsatilgan. Chastota  $f_1$  bo`lgan o`zgaruvchan kuchlanish ( $U_1$ ) to`g`rilagich yordamida o`zgarmasga aylantiriladi va filtr  $F$  yordamida tekislanib, avtonom invertor (AI) ga beriladi.



7.41-rasm.

Mazkur o`zgarmas kuchlanish invertor yordamida chastotasi  $f_2$  bo`lgan kuchlanish ( $U_2$ ) ga aylantiriladi.  $U_2$  ning qiymati to`g`rilagich yordamida,

chastotasi esa AI yordamida boshqariladi. TIBS (to`g`rilagichning boshqarish sistemasi) va IIBS (invertorning ishlashini boshqarish sistemasi) chastotasi keng oraliqda boshqarish imkonini beradi. Chastota o`zgartgichlar aylanish chastotasi katta oraliqda o`zgaradigan elektr dvigatellarini ta`minlashda ishlatiladi. Ularning asosiy kamchiligi ikkita o`zgartirish bug`ining mavjudligi, FIKning nisbatan kichikligi hamda boshqarish sistemasining kattaligi hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda bevosita bog`langan o`zgartgichlar ishlab chiqarilmoqda. Bevosita bog`langan tiristorli o`zgartgichlar chegaralovchi  $L_1$  va  $L_2$  reaktorlar orqali parallel ulangan ikki guruh tiristorlardan iboratdir.

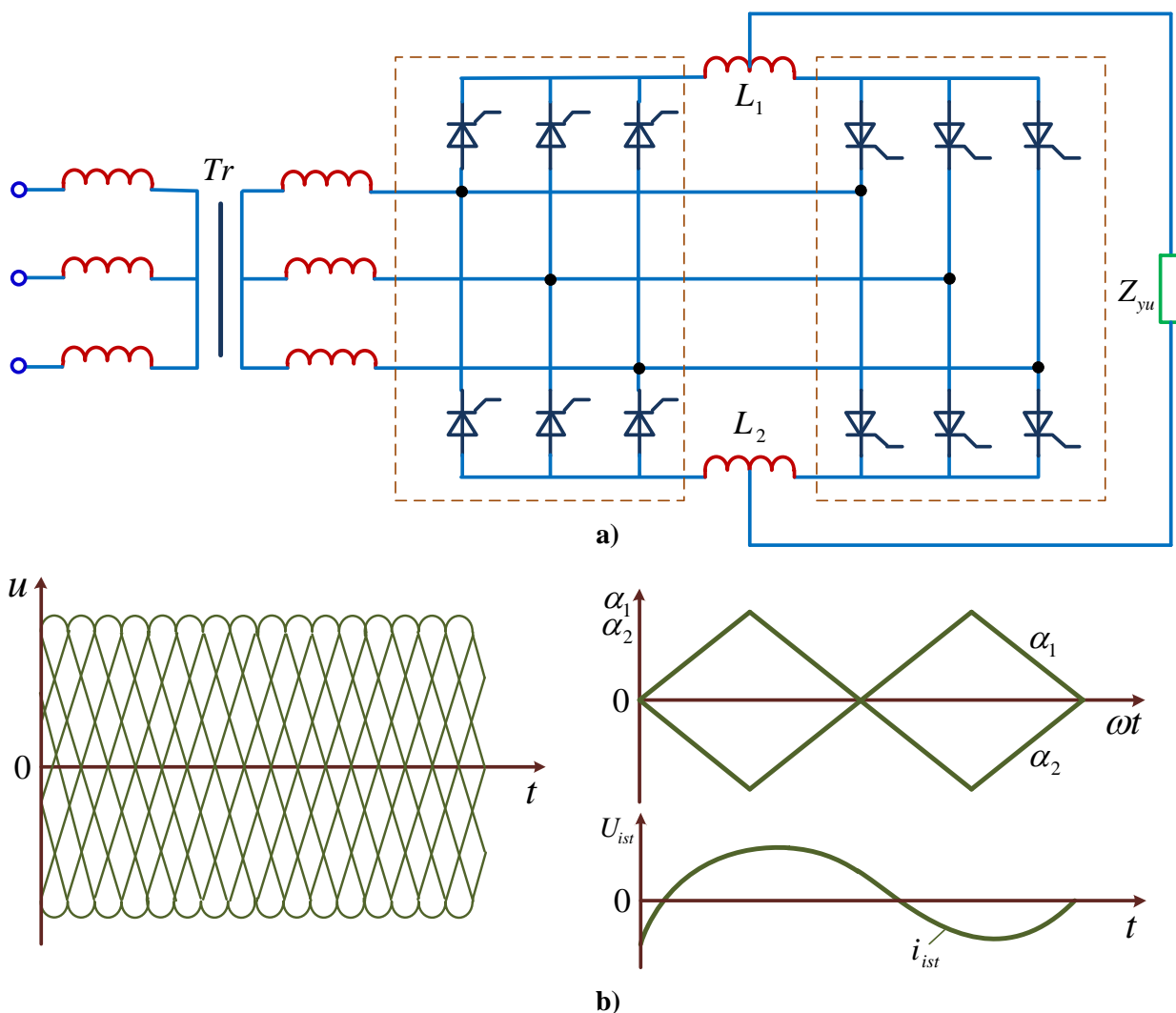
Har bir tiristorlar guruhi goh to`g`rilagich, goh inverter rejimida ishlaydi.

Ma`lum vaqt ichida birinchi guruh ventillarni ochish burchagi  $\alpha_1 < \frac{\pi}{2}$  bo`lsa, bu ventillar to`g`rilagich rejimida ishlaydi. Ikkinchi guruh ventillarning ochilish burchagi  $\alpha_2 = \pi - \alpha_1 = \beta_1$ . Ular inverter rejimida ishlaydi, keyin ular almashadi. Ma`lum chastota bilan ventillarni ochish burchagini davriy ravishda o`zgartirib to`g`rilash va invertorlash rejimlarining chiqishidan o`zgaruvchan kuchlanish olish mumkin. Bu kuchlanish asosiy garmonikasining chastotasi va amplitudasi boshqarish signalining chastota va amplitudasiga bog`liqdir:

$$U_2 = U_{1max} \frac{\bar{m}}{\pi} \sin \frac{\pi}{m_1} \sin \omega_2 t$$

bu yerda:  $m_1$ -manbaning fazalar soni;  $U_{1max}$ - ta`minlovchi kuchlanish amplitudasi;  $\omega_2$ -chiqish kuchlanishi asosiy garmonikasining chastotasi.

7.42-rasmda chastota o`zgartgichning sxemasi undagi kuchlanishning o`zgarish grafiklari ko`rsatilgan. Reaktorlar  $L_1$  va  $L_2$  muvozanatlovchi kuchlanish ta`sirida hosil bo`ladigan muvozanatlovchi tokni chegaralash uchun ishlatiladi. Muvozanatlovchi yoki tenglashtiruvchi kuchlanish boshqarish burchaklari ( $\alpha_1$  va  $\alpha_2$ ) ning davriy ravishda o`zgarishi hisobiga yuzaga keladi.



7.42-rasm.

Chastota o'zgartgichlarning afzalligi quyidagilardan iborat:

1. Boshqarish sistemasining nisbatan ixchamligi.
2. Chiqishdagi kuchlanish amplitudasi va chastotasining tekis boshqarilishi.
3. Tiristorning ochilish burchagini boshqarish orqali chiqishda sinusoidal kuchlanish hosil qilish mumkin.

Chastota o'zgartgichlarning kamchiligi sifatida reaktiv quvvat ko'proq iste'mol qilinishi, ish chastotalarining yuqori qiymati chegaralanganligini, chastota faqat kamaytirilishini ko'rsatish mumkin.

## 7.12. Kuchaytirgichlar

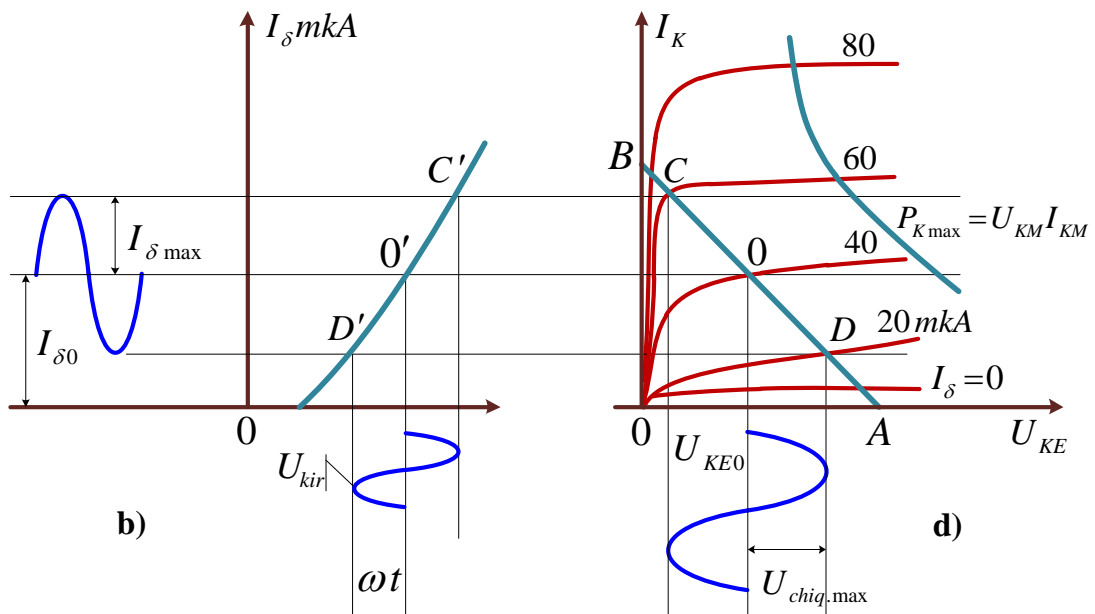
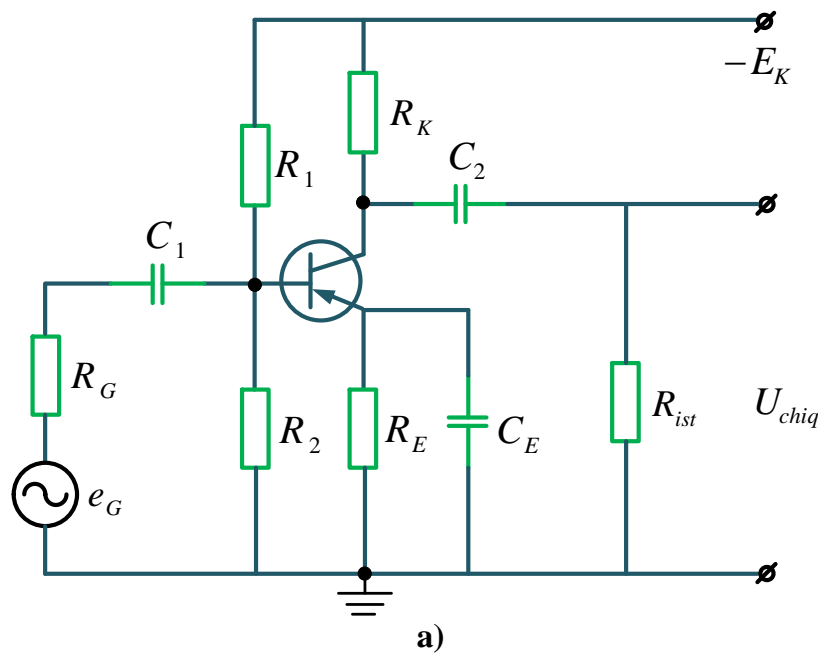
Avtomatik boshqarish sistemalari, radiotexnik, radiolokatsiya va boshqa sistemalarda kichik quvvatli signallarni kuchaytirish uchun kuchaytirgichlardan

foydalaniladi. Kichik quvvatli o'zgaruvchan signalning parametrlarini buzmasdan doimiy kuchlanish manbaning quvvati hisobiga kuchaytirib beruvchi qurilma kuchaytirgich deb ataladi.

Kuchaytirgich qurilmasi kuchaytiruvchi element, rezistor, kondensator, chiqish zanjiridagi doimiy kuchlanish manbai hamda iste'molchidan iborat. Bitta kuchaytiruvchi elementi bo'lgan zanjir kaskad deb ataladi. Bitta kuchaytiruvchi elementi sifatida qanday element ishlatilishiga qarab kuchaytirgichlar elektron, magnitli va boshqa xillarga bo'linadi. Ish rejimiga ko'ra ular chiziqli va nochiziqli kuchaytirgichlarga bo'linadi. Chiziqli ish rejimida ishlovchi kuchaytirgichlar kirish signalini uning shaklini o'zgartirmasdan kuchaytirib beradi. Chiziqli bo'lmagan ish rejimida ishlovchi kuchaytirgichlarda esa kirish signali ma'lum qiymatga erishganidan so'ng chiqishdagi signal o'zgarmaydi.

Chiziqli rejimda ishlaydigan kuchaytirgichlarning asosiy xarakteristikasi amplituda chastota xarakteristikasi (AChX) dir. Ushbu xarakteristika kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsientining moduli chastotaga qanday bog'liqligini ko'rsatadi. AChX siga ko'ra chiziqli kuchaytirgichlar tovush chastotalar kuchaytirgichi (TChK), quyi chastotalar kuchaytirgichi (QChK), yuqori chastotalar kuchaytirgichi (YuChK), sekin o'zgaruvchan signal kuchaytirgichi yoki o'zgarmas tok kuchaytirgichi (O'TK) va boshqalarga bo'linadi.

Hozirgi vaqtda eng keng tarqalgan kuchaytirgichlarda kuchaytiruvchi element sifatida ikki qutbli yoki bir qutbli tranzistorlar ishlatiladi. Kuchaytirish quyidagicha amalga oshiriladi. Boshqariladigan element (tranzistor) ning kirish zanjiriga kirish signalining kuchlanishi ( $u_{kir}$ ) beriladi. Bu kuchlanish ta'sirida kirish zanjirida kirish toki hosil bo'ladi. Bu kichik kirish toki chiqish zanjiridagi tokda o'zgaruvchan tashkil etuvchini hamda boshqariladigan elementning chiqish zanjirida kirish zanjiridagi kuchlanishdan ancha katta bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanishni hosil qiladi. Boshqariladigan elementning kirish zanjiridagi tokning chiqish zanjiridagi tokka ta'siri qancha katta bo'lsa, kuchaytirish xususiyati shuncha kuchliroq bo'ladi. Bundan tashqari, chiqish tokining chiqish kuchlanishiga ta'siri qancha katta bo'lsa (ya'ni  $R_i$  katta), kuchaytirish shuncha kuchliroq bo'ladi.



7.43-rasm.

7.43-rasmda umumiy emitterli (UE) kuchaytirish kaskadining sxemasi hamda kirish va chiqish xarakteristikalari ko`rsatilgan. Kuchaytirish kaskadlari UE, UB, UK sxemalar bo`yicha yig`iladi. Umumiy kollektorli (UK) sxema tok va quvvat bo`yicha kuchaytirish imkoniyatiga ega. Bunda  $K_u \leq 1$ . Sxema asosan, kaskadning yuqori chiqish qarshiligini kichik qarshilikli iste`molchi bilan moslash uchun ishlatiladi va emitterli takrorlagich deb ataladi. Umumiy bazali (UB) sxema bo`yicha yig`ilgan kaskadning kirish qarshiligi kichik bo`lib, kuchlanish va quvvat

bo'yicha kuchaytirish imkoniyatiga ega. Bunda  $K_i \leq 1$ . Chiqishdagi kuchlanishning qiymati katta bo'lishi talab etilganda, mazkur kaskaddan foydalaniladi. Ko'pincha, umumiy emitterli (UE) sxema bo'yicha yig'ilgan kaskadlar ishlatiladi (7.43- a rasm). Bunday kaskad tokni ham, kuchlanishni ham kuchaytirish imkoniyatiga ega. Kuchaytirish kaskadining asosiy zanjiri tranzistor ( $VT$ ), qarshilik  $R_K$  va manba  $E_K$  dan iborat. Qolgan elementlar yordamchi sifatida ishlatiladi.  $C_1$  kondensator kirish signalining o'zgarish tashkil etuvchisini o'tkazmaydi va bazaning tinch holatidagi  $U_{bd}$  kuchlanishning  $R_g$  qarshilikka bog'liq emasligini ta'minlaydi. Kondensator  $C_2$  iste'molchi zanjiriga chiqish kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisini o'tkazmay o'zgaruvchan tashkil etuvchisinigina o'tkazish uchun xizmat qiladi.  $R_1$  va  $R_2$  rezistorlar kuchlanish bo'lgich vazifasini o'tab, kaskadning boshlang'ich holatini ta'minlab beradi.

Kollektorning dastlabki toki ( $I_{kd}$ ) bazaning dastlabki toki  $I_{bd}$  bilan aniqlanadi. Rezistor  $R_1$  tok  $I_{bd}$  ning o'tish zanjirini hosil qiladi va rezistor  $R_2$  bilan birgalikda manba kuchlanishining musbat qutbi bilan baza orasidagi kuchlanish  $U_{bd}$  ni yuzaga keltiradi.

Rezistor  $R_e$  manfiy teskari bog'lanish elementi bo'lib, dastlabki rejimning temperatura o'zgarishiga bog'liq bo'lmasligini ta'minlaydi. Kaskadning kuchaytirish koeffitsienti kamayib ketmasligi uchun qarshilik  $R_e$  ga parallel qilib kondensator  $C_e$  ulanadi. Kondensator  $C_e$  rezistor  $R_e$  ni o'zgaruvchan tok bo'yicha shuntlaydi.

Sinusoidal o'zgaruvchi kuchlanish ( $u_{kir} = U_{kir\ max} \sin \omega t$ ) kondensator  $C$  orqali baza – emitter sohasiga beriladi. Bu kuchlanish ta'sirida, boshlang'ich baza toki  $I_{bd}$  atrofida o'zgaruvchan baza toki hosil bo'ladi.  $I_{bd}$  ning qiymati o'zgarish manba kuchlanishi  $E_K$  va qarshilik  $R_1$  ga bog'liq bo'lib, bir necha mikroampni tashkil qiladi. Berilayotgan signalning o'zgarish qonuniga bo'ysunadigan baza toki iste'molchi ( $R_i$ ) dan o'tayotgan kollektor tokining ham shu qonuni bo'yicha o'zgarishiga olib keladi. Kollektor toki bir necha milliamperga teng. Kollektor tokining o'zgaruvchan tashkil etuvchisi iste'molchidagi amplituda jihatdan

kuchaytirilgan kuchlanish pasayuvi ( $U_{chiq}$ ) ni hosil qiladi. Kirish kuchlanishi bir necha millivolti tashkil etsa, chiqishdagi kuchlanish bir necha voltga tengdir.

Kaskadning ishini grafik usulda taxlil qilish mumkin. Tranzistorning chiqish xarakteristikasidagi AB yuklama chizig`ini o`tkazamiz (7.43- b rasm). Bu chiziq  $U_{ke} = E_k, I_K = 0$  va  $U_{ke} = 0, I_k = \frac{E_i}{R_n}$  koordinatali A va B nuqtalardan o`tadi. AB chiziq  $I_{k max}, U_{ke max}$  va  $P_K = U_{k max} \cdot I_{k max}$  bilan chegaralangan sohaning chap tomonida joylashishi kerak. AB chiziq chiqish xarakteristikasini kesib o`tadigan qismda ish uchastkasini tanlaymiz. Ish uchastkasidagi signal eng kam kuchaytirilishi kerak. Yuklama chizig`ining C va D nuqtalar bilan chegaralangan qismi bu shartga javob beradi. Ish nuqtasi O, shu uchastkaning o`rtasida joylashadi. DO kesmaning absissalar o`qidagi proektsiyasi kollektor kuchlanishi o`zgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasini bildiradi. CO kesmaning ordinatalar o`qidagi proektsiyasi kollektor tokining amplitudasini bildiradi. Boshlang`ich kollektor toki ( $I_{KO}$ ) va kuchlanishi ( $U_{keo}$ ) O nuqtaning proektsiyalari bilan aniqlanadi. Shuningdek, O nuqta boshlang`ich tok  $I_{bosh}$  va kirish xarakteristikasidagi O ish nuqtasini aniqlab beradi. Chiqish xarakteristikasidagi C va D nuqtalarga kirish xarakteristikasidagi  $C'$  va  $D'$  nuqtalar mos keladi. Bu nuqtalar kirish signalining buzilmasdan kuchaytiriladigan chegarasini aniqlab beradi.

Kaskadning chiqish kuchlanishi

$$u_{chiq} = i_b \cdot R_i$$

Kaskadning kirish kuchlanishi

$$u_{kir} = i_b \cdot R_{kir};$$

bu yerda  $R_{kir}$  - tranzistorning kirish qarshiligi.

Tok  $i_i \gg i_b$  va qarshilik  $R_i \gg R_{kir}$  bo`lgan uchun sxemaning chiqishdagi kuchlanish kirish kuchlanishidan ancha kattadir. Kuchaytirgichning kuchlanish bo`yicha kuchaytirish koeffitsienti  $K_i$  quyidagicha aniqlanadi:

$$K_i = \frac{U_{chiq max}}{U_{kir max}}$$

yoki garmonik signallar uchun



$$K_i = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}}$$

Kaskadning tok bo`yicha kuchaytirish koeffitsienti:

$$K_i = \frac{I_{chiq}}{I_{kir}},$$

bu yerda:  $I_{chiq}$ - kaskadning chiqish tomonidagi tokning qiymati;  $I_{kir}$ - kaskadning kirish tomonidagi tokning qiymati. Kuchaytirgichning quvvat bo`yicha kuchaytirish koeffitsienti:

$$K_p = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}}$$

bu yerda:  $P_{chiq}$ - iste`molchiga beriladigan quvvat;  $P_{kir}$ - kuchaytirgichning kirish tomonidagi quvvat.

Kuchaytirish texnikasida bu koeffitsientlar logarifmik qiymat – desibellda (amerikalik injener Bell sharafiga qo`yilgan) o`lchanadi.

$$K_u(dB) = 20lgK_u \text{ yoki } K_u = 10^{\frac{K_u(dB)}{2}}$$

$$K_i(dB) = 20lgK_i \text{ yoki } K_i = 10^{\frac{K_i(dB)}{2}};$$

$$K_p(dB) = 20lgK_p \text{ yoki } K_p = 10^{K_p/(dB)}.$$

Odamning eshitish sezgirligi signalning 1 dB ga o`zgarishini ajrata olgani uchun ham shu o`lchov birligi kiritilgan. Har bir kuchaytirgich kuchaytirish koeffitsientlaridan tashqari quyidagi parametrlarga ham egadir.

Kuchaytirgichning chiqish quvvati (iste`molchiga signalni buzmasdan beriladigan eng katta quvvat):

$$P_{chiq} = \frac{U_{chiqmax}^2}{R_i}$$

Kuchaytirgichning foydali ish koeffitsienti

$$\eta = \frac{P_{chiq}}{P_{um}}$$

bu yerda:  $P_{um}$  - kuchaytirgichning hamma manbalarda iste`mol qiladigan quvvati. Kuchaytirgichning dinamik diapazoni kirish kuchlanishining eng kichik va eng katta qiymatlarining nisbatiga teng bo`ib, dB da o`lchanadi:

$$D = 20 \lg \frac{U_{kir \max}}{U_{kir \min}}$$

Chastotaviy buzilishlar koeffitsienti  $M(f)$  o`rta chastotalardagi kuchlanish bo`yicha kuchaytirish koeffitsienti  $K_{uo}$  ning ixtiyoriy chastotadagi kuchlanish bo`yicha kuchaytirish koeffitsientiga nisbatidir:

$$M(f) = \frac{K_{uo}}{K_{uf}}$$

Chiziqli bo`lmagan buzilishlar koeffitsienti  $\gamma$  yuqori chastotalar garmonikasi o`rta kvadratik yig`indisining chiqish kuchlanishining birinchi garmonikasiga nisbatidir.:

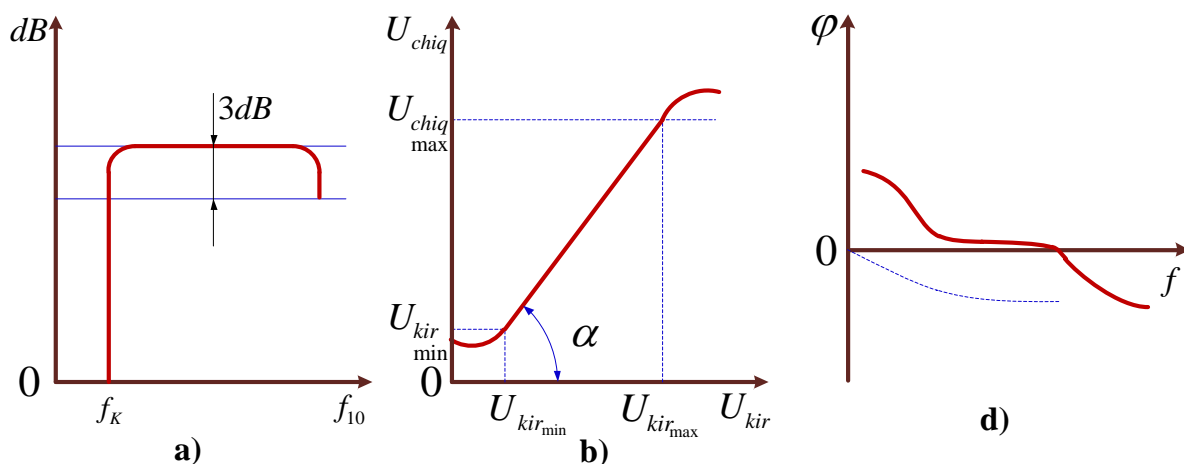
$$\gamma = \frac{\sqrt{U_{m_2 \text{chiq}}^2 + U_{m_3 \text{chiq}}^2 + \dots + U_{m_n \text{chiq}}^2}}{U_{m_1 \text{chiq}}}$$

Sifatli kuchaytirgichlar uchun  $\gamma \leq 4\%$ , telefon aloqasi uchun  $\gamma \leq 15\%$ .

Kuchaytirgichning shovqin darajasi – shovqin kuchlanishining kirish kuchlanishiga nisbatini ko`rsatadi. Bulardan tashqari, kuchaytirgichlar amplituda, chastota va amplituda-chastota xarakteristikalarini bilan ham baholanadi.

Amplituda xarakteristikasi chiqish kuchlanishining kirish kuchlanishiga qanday bog`langanligini ko`rsatadi ( $U_{chiq} = f \times (U_{kir})$ ). 7.44-rasmda kuchaytirgichning amplituda, amplituda-chastota va faza-chastota xarakteristikalarini ko`rsatilgan. Bu xarakteristikalar o`rta chastotalarda olinadi. Haqiqiy kuchaytirgichning amplituda xarakteristikasi ideal kuchaytirgichnikidan shovqin mavjudligi (A nuqtaning chap qismidagi uchastka) va chiqish kuchlanishining chiziqli emasligi (B nuqtaning o`ng qismidagi uchastka) bilan farq qiladi (7.44- a rasm).

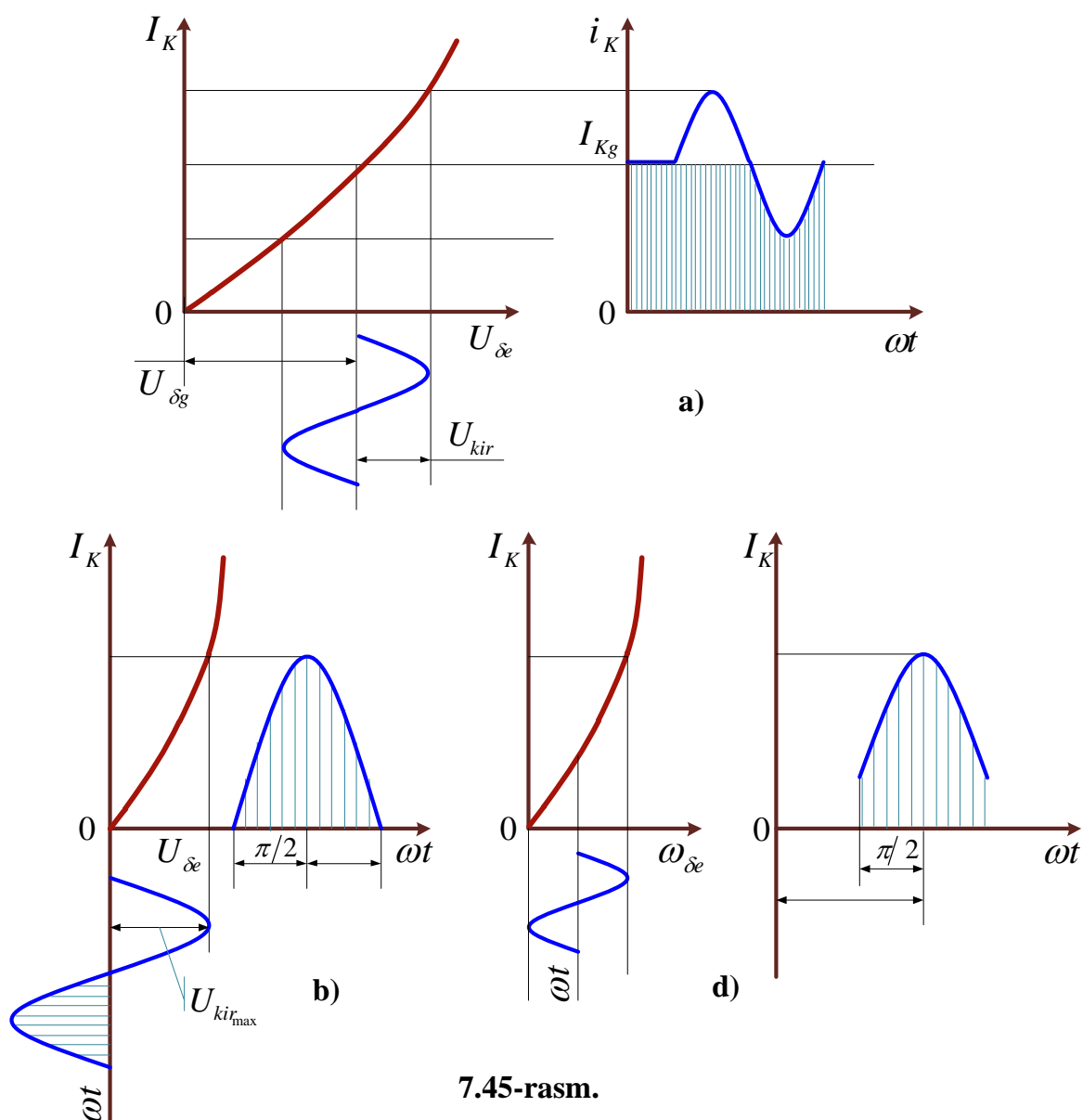
Kuchaytirgichning chastota xarakteristikasi kuchaytirish koeffitsientining chastotaga bog`liqligini ko`rsatuvchi egri chiziqdir. Mazkur xarakteristika logarifmik masshtabda quriladi (7.44- b rasm).



7.44-rasm.

Kuchaytirgichning faza-chastota xarakteristikasi kirish va chiqish kuchlanishlari orasidagi siljish burchagi  $\varphi$  ning chastotaga qanday bogʻlanganligini koʻrsatadi (7.44-d rasm). bu xarakteristika kuchaytirgich tomonidan kiritilgan fazaviy buzilishlarni baholaydi.

Ish nuqtasining kirish xarakteristikasida qanday joylashishiga qarab kuchaytirgichlar A, B va AB rejimlarda ishlashi mumkin. 7.45-rasmda kuchaytirgichning ish rejimlariga oid grafiklar koʻrsatilgan. A rejimda, asosan, boshlangʻich kuchaytirish kaskadlari va kichik quvvatli chiqish kaskadlari ishlaydi. Bu rejimda ishlaydigan kaskadning bazaga berilgan siljish kuchlanishi ( $U_{beo}$ ) ish nuqtasining dinamik oʻtish xarakteristikasi chiziqli qismining oʻrtasida joylashishini taʼminlab beradi. Bundan tashqari, kirish signalining amplitudasi siljish kuchlanishidan kichik ( $U_{kirm} < U_{beo}$ ) boʻlishi boshlangʻich kollektor toki  $I_{K0}$  chiqish toki oʻzgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasidan katta yoki tengligi ( $I_{K0} \geq I_{KT}$ ) shartiga amal qiladi. Natijada kaskadning kirishiga kuchlanish berilganda chiqish zanjiridagi tok ham sinusoidal qonun boʻyicha oʻzgaradi.



7.45-rasm.

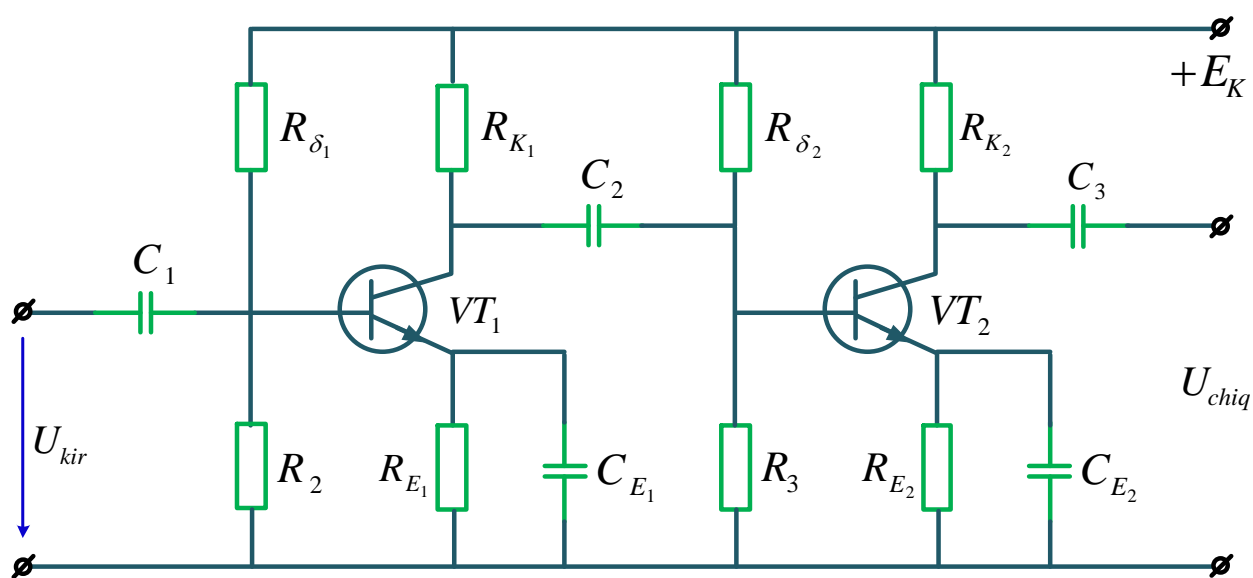
A rejimda signalning chiziqli bo`lmagan buzilishlari eng kam bo`ladi. Ammo kuchaytirgich kaskadining mazkur rejimdagi foydali ish koeffitsienti 20-30% dan oshmaydi.

V rejimda ish nuqtasi shunday tanlanadiki, bunda *osoyishtalik toki* nolga teng bo`ladi ( $I_{K0} = 0I_{ko} = 0$ ). Kirish zanjiriga signal berilganda chiqish zanjiridan signal o`zgarish davrining faqat yarmidagina tok o`tadi. Chiqish toki impuls shaklida bo`lib, ajratish burchagi  $\theta = \frac{\pi}{2}$  bo`ladi. B rejimda chiziqli bo`lmagan buzilishlar ko`p bo`ladi. Lekin bu rejimda kaskadning FIK 60-70% ni tashkil qiladi. Mazkur rejimda, asosan ikki taktli katta quvvatli kaskadlar ishlaydi.

AB rejimi A va B rejimlar oralig`idagi rejim bo`lib, chiqishda katta quvvat olish, shuningdek chiziqli bo`lmagan buzilishlarni kamaytirish maqsadida qo`llaniladi.

Kuchaytirgichlar  $U = 10^{-7}V$  kuchlanish va  $I = 10^{-14}A$  toklarni kuchaytiradi. Bunday signallarni kuchaytirib berish uchun bitta kaskad yetarli bo`lmagani uchun bir nechta kaskad ishlatiladi. Ular bir nechta dastlabki kuchaytirish kaskadi (kaskad kuchlanishni kuchaytirib beradi) va quvvatni kuchaytiruvchi chiqish kaskadlaridan iboratdir. Kaskadlar bir-biri bilan rezistor (rezistiv bog`lanish), transformator (transformatorli bog`lanish), sig`im va rezistor (rezistiv-sig`im bog`lanish) va boshqa elementlar yordamida ulanishi mumkin.

Rezistiv-sig`im bog`lanishli kaskadlarning ishlashi bilan tanishib chiqamiz. Bu kaskadlar keng tarqalgan bo`lib, mikrosxema shaklida ham ishlab chiqariladi (7.46-rasm). Kuchaytirgich ikkita umumiy emitterli (UE) kuchaytirish kaskadidan iborat. Mazkur kondensator tranzistor  $VT_1$  ning kollektor zanjiriga, tranzistor  $VT_2$  ning baza zanjiriga ulangan. U birinchi tranzistordan chiqayotgan signalning o`zgarmas tashkil etuvchisini ikkinchi tranzistorga o`tkazmaydi.



7.46-rasm.

Tranzistorlarning ish nuqtalarini  $R_{b1}$  va  $R_{b2}$  qarshiliklar ta`minlab beradi. Ish nuqtalarining stabilligini rezistor va kondensatorlar ( $R_{e1}, C_{e1}$  va  $R_{e2}, C_{e2}$ ) ta`minlab beradi.

Bir nechta kaskadli kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti har bir kaskad kuchaytirish koeffitsientlarining ko`paytmasiga teng:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n.$$

Kerakli kuchaytirish koeffitsientiga ko`ra va har bir UE li kaskad kuchlanish bo`yicha 10-20 marta, quvvat bo`yicha esa 100-400 marta kuchaytirib berishini har bir kaskad alohida hisoblanadi. Dastlabki kuchaytirish kaskadlari A rejimda ishlaydi. Kaskadni hisoblash quyidagi tartibda bajariladi. Manba kuchlanishi  $E_K$  va iste`molchining qarshiligiga qarab

$$U_{ke.j} \geq (1,1 \div 1,3)E_K;$$

$$I_{xj} > 2I_{i \max} = 2 \frac{U_{chiq \max}}{R_i},$$

bu yerda: k.e.j - kollektor-emitter o`tishdagi kuchlanishning joiz qiymati;  $I_{kj}$  - kollektor zanjiridagi tokning joiz qiymati.

Yuqoridagi shartlarni qanoatlantiradigan tranzistor tanlanadi. Uning chiqish xarakteristikasida ish nuqtasi aniqlanadi. Shu dastlabki ish nuqtasini ta`minlab beruvchi baza toki  $I_{bo}$  xarakteristikasidan aniqlanadi va  $R_b$  qarshilikka bog`liq bo`ladi. Bu qarshilik quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R_{b1} = \frac{U_{ke} - (I_{ko} + I_b)R_e}{I_{bo}}.$$

$R_k$  va  $R_e$  qarshiliklarni aniqlash uchun chiqish xarakteristikalaridan

$R_{um} = R_k + R_e$  aniqlanadi.  $R_{um} = \frac{E_k}{I_k}$ ,  $R_e = (0,15 - 0,25)R_k$  deb hisoblab,

$$R_k = \frac{R_{um}}{1,1 \div 1,25},$$

$$R_e = R_{um} - R_k.$$

Kaskadning kirish qarshiligi

$$R_{kir} = \frac{2U_{kir \max}}{2I_{b \max}}.$$

Agar baza toki kuchlanish bo`lgichi orqali beriladigan bo`lsa, bo`lgichning  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi.

$$R_{12} \geq (8:12)R_{kir} \quad va \quad R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

shartlardan

$$R_1 = \frac{E_k R_{12}}{I_{ko} R_e}; \quad R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

larni aniqlaymiz.

Ajratuvchi kondensatorning sig`imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \frac{1}{2\pi f_k v_{chiq} \sqrt{M_k^2 - 1}}$$

bu yerda:  $M_k$ -quyi chastotalardagi chastotali buzilishlar koeffitsienti;  $f_k$ -quyi chastotalar chegarasi;  $R_{chiq} = R_k + R_i$ .

Kondensatorning sig`imi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$C_e \geq \frac{10}{2\pi f_k K R_e}$$

Kaskadning kuchlanish bo`yicha kuchaytirish koeffitsienti:

$$K_u = \frac{U_{chiq \max}}{U_{kir \max}}$$

Kuchaytirgichning oxirgi kaskadi chiqish kaskadidir. Chiqish kaskadi, asosan, quvvatni kuchaytirib beradi va bir taktli yoki ikki taktli bo`ladi (7.47-rasm).

Kaskadning chiqishidagi signal transformator orqali kichik qarshilikka ega bo`lgan iste`molchiga uzatiladi. Kollektordagi kuchlanish o`z induksiya EYUK hisobiga  $E_{ke}$  dan ikki marta katta bo`lishi mumkin. Shuning uchun

$$E_{ke} \geq U_{ke.j}/2$$

qilib olinadi.

Kaskadning chiqishidagi quvvat:

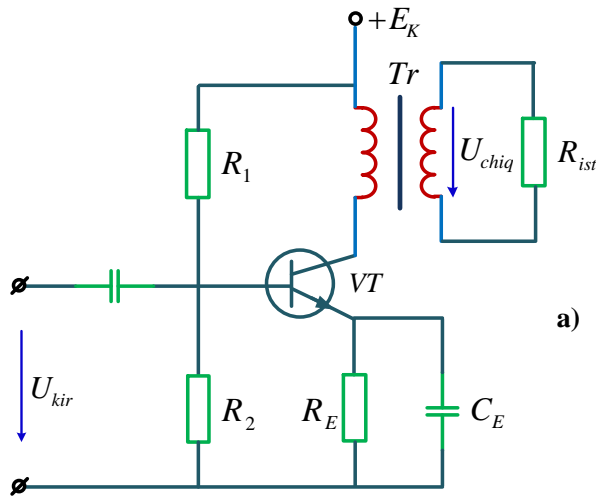
$$P_{chiq \max} = 0,5 U_{k \max} \cdot I_{k \max} \cdot \eta_{tr},$$

bu yerda  $\eta_{tr}$  - transformatorning foydali ish koeffitsienti.

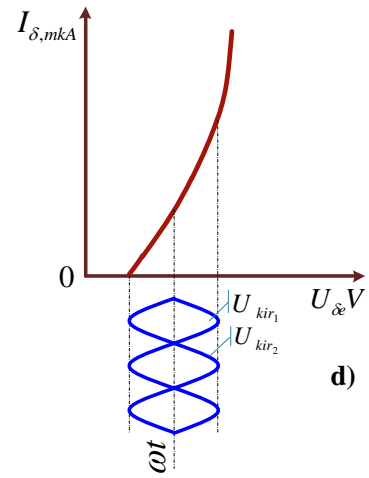
Kirish zanjiridagi quvvat va kuchaytirish koeffitsienti:

$$P_{kir} = 0,5 I_b \max U_{be \max};$$

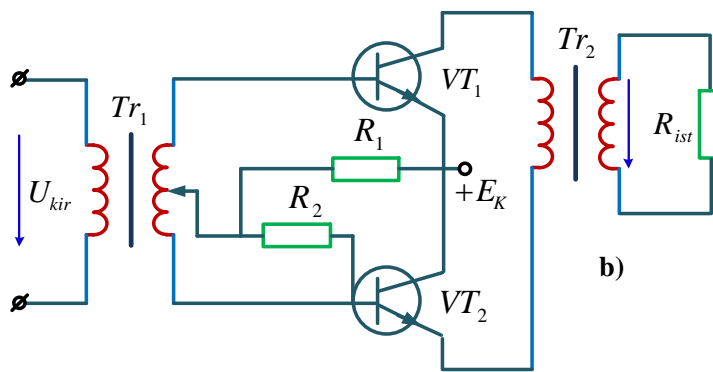
$$K_p = \frac{P_{chiq}}{P_{kir}}.$$



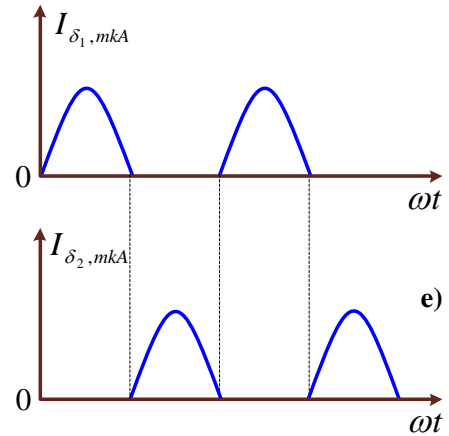
a)



d)



b)



e)

7.47-rasm.

Transformator kaskad chiqish qarshiligining iste`molchining kirish qarshiligiga yaxshi mos tushishini va quvvatning uzatilishi uchun eng yaxshi sharoit yaratilishini ta`minlaydi. Transformatorning transformatsiya koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$n = \sqrt{\frac{R_{chiq}}{R_u}}.$$

Agar kuchaytirgichning chiqishidagi quvvat 20 Vt dan ortiq bo`lsa, ikki taktli simmetrik sxemalardan foydalaniladi. Bu sxemadagi ikki tranzistorning har biri B rejimda ishlaydi. Bunday sxemalarning foydali ish koeffitsienti (70-75%) ga



etadi. Tinch holatda  $I_b = 0$  va boshlang'ich holatda sxema iste'mol qiladigan quvvat

$$P_0 = 2E_{ke}I_{bo}.$$

Birinchi yarim davrida birinchi tranzistor, ikkinchi yarim davrda esa ikkinchi tranzistor ishlaydi. Bitta tranzistorning chiqishidagi quvvat:

$$P'_{chiq} = \frac{U_{kmax} \cdot I_{kmax}}{2} = \frac{(I_{kmax} - I_{ko})E_{ke}}{2}.$$

Ikki taktli kaskadning chiqishidagi quvvati:

$$P_{chiq} = 2P'_{chiq} = \frac{E_{ke}(I_{kmax} - I_{ko})}{2}.$$

Ko'pincha, kuchaytirgichning barqaror ishlashini ta'minlash uchun teskari bog'lanishdan foydalaniladi. Chiqish zanjiridagi signal ma'lum qismining kirish zanjiriga uzatilishi **teskari bog'lanish** deb ataladi. Teskari bog'lanish manfiy va musbat bo'lishi mumkin. Musbat teskari bog'lanish generator kaskadlarida qo'llaniladi. Kuchaytirish kaskadlarida manfiy teskari bog'lanishdan foydalaniladi (musbat teskari bog'lanish kuchaytirgichlar uchun zararlidir). Teskari bog'lanish kuchlanishi chiqish kuchlanishining ma'lum qismini tashkil qiladi va teskari bog'lanish koeffitsienti ( $\beta$ ) bilan xarakterlanadi. Teskari bog'lanishli kuchaytirgichlarda:

$$K = \frac{u_{chiq}}{u_{sign}};$$

$$u_{sign} = u_{kir} - u_{mB} = u_{kir} - \beta u_{chiq} = u_{kir}(1 - \beta K).$$

Demak,

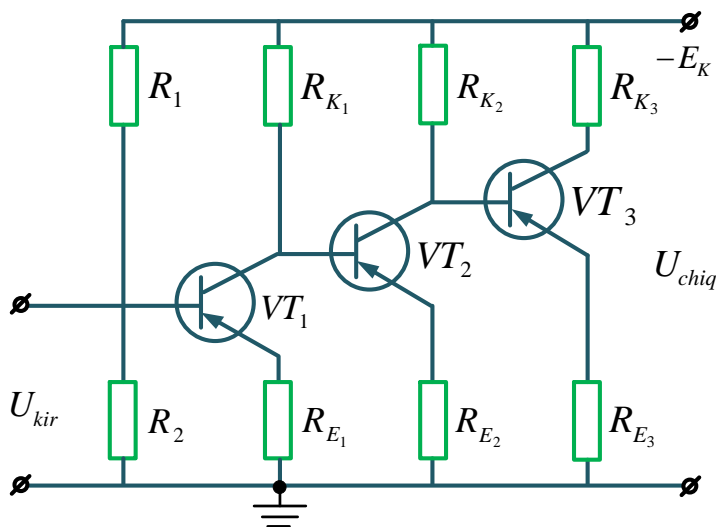
$$K_{mB} = \frac{Ku_{kir}}{u_{sign}} = \frac{Ku_{kir}}{u_{kir}(1 - \beta K)} = \frac{K}{1 - \beta K}.$$

$\beta < 0$  bo'ladi va  $K_{tb} = \frac{K}{1 + \beta K}$ , ya'ni kuchaytirish koeffitsienti kamayadi.

Shuningdek kuchaytirgichning chastota va faza buzilishlari ham kamayadi.

$R_e$  qarshiligi teskari bog'lanish zanjiri bo'lib, chiqish zanjiridagi kuchlanishni qisman kirish zanjiriga uzatadi. Shuning hisobiga boshlang'ich ish nuqtasining parametrlari stabillashadi. Yuqorida ko'rib chiqilgan kaskadlarning barchasi sinusoidal o'zgaruvchan kuchlanishni kuchaytirib beradi. Ayrim hollarda

yo`nalish jihatdan o`zgarmay, faqat qiymati sekin o`zgaruvchi signallarni ham kuchaytirish talab qilinadi. Bunday hollarda galvanik bog`langan o`zgarmas tok kuchaytirgichlaridan foydalaniladi. 7.48-rasmda asta-sekin o`zgaruvchi signallar kuchaytirgichi ko`rsatilgan.



7.48-rasm.

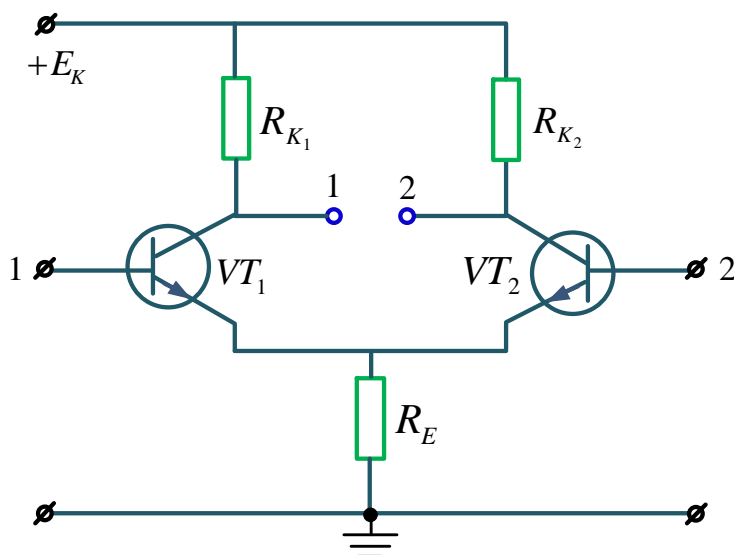
Kuchaytirgich uch kaskaddan iborat. Har bir kaskad UE sxema bo`yicha yig`ilgan. Ajratuvchi kondensatorlar bo`lmagani uchun har bir kaskadning o`zgarmas tashkil etuvchisi keyingi kaskadning bazasiga uzatiladi va shuning uchun mazkur tashkil etuvchisini kompensatsiyalash uchun keyingi

kaskadning  $R_e$  qarshiligidan olinuvchi o`zgarmas kuchlanishdan foydalaniladi. Tranzistorlar ( $VT_2$  va  $VT_3$ ) ning baza-emitter normal kuchlanishlarini  $R_{e2}$  va  $R_{e3}$  qarshiliklar ta`minlab beradi. Tranzistor  $VT_1$  ning osoyishtalik rejimini  $R_1$  va  $R_2$  kuchlanish bo`lgich va  $R_{e1}$  qarshiliklar ta`minlaydi.

$R_{e1}$ ,  $R_{e2}$  va  $R_{e3}$  qarshiliklar tok bo`yicha manfiy teskari bog`lanishni hosil qilib, kuchaytirgich nolining ko`chishini kamaytiradi. Kuchaytirgich nolining ko`chishi deb chiqish signali kirish signaliga bog`liq bo`lmagan o`zgarishiga aytiladi. Ko`chishning asosiy sababi manba kuchlanishining, atrof-muxitning harorati va sxema parametrlarining o`zgarishidir. Ko`chish kuchlanishi signal kuchlanishi bilan tenglashib signalning ancha buzilishiga olib kelishi mumkin. Nol ko`chishini kamaytirish maqsadida parallel-balans yoki differensial kaskadlardan foydalaniladi.

Ikki signal farqini kuchaytiruvchi qurilma **differensial kuchaytirgich** deb ataladi. Chiqishdagi signal har bir kirish signaliga emas, bulki ularning ayirmasiga bog`liqdir. Eng oddiy differensial kuchaytirgich umumiy emitter qarshilik ulangan ikkita bir xil tranzistor asosida quriladi (7.49-rasm).

Kirish kuchlanishlari tranzistorlar ( $VT_1$  va  $VT_2$ ) ning baza-emitter o`rshiga beriladi. Bu kuchlanishlarning ayirmasi bir necha millivolt dan ortmasa, kuchaytirgich VAX ning chiziqli qismida ishlaydi. Uning kuchaytirish koefitsienti 100 ga yaqindir. Chiqish qismlari 1' va 2' dan chiqish kuchlanishi olinadi.



7.49-rasm.

Kuchaytirgichning uzatish koefitsienti:

$$K(p) = \frac{U_{chiq\ 1'2'}}{U_{kir1} - U_{kir2}}$$

Kuchaytirgichlarda bir xil tranzistorlarni topish juda qiyin. Shu sababdan mikrosxema asosida tuzilgan differensial kuchaytirgich kaskadlaridan foydalaniladi. K118UL1 shunday sxemalarning namunasi bo`la oladi. O`zgarmas tok kuchaytirgichlari asosida turli matematik operatsiyalarni bajaruvchi operatsion kuchaytirgichlar qurish mumkin. Operatsion kuchaytirgichlar (OK) yuqori kuchaytirish koefitsienti, katta kirish va kichik chiqish qarshiligi bilan xarakterlanadi. OK kirish differensial kuchaytirgichlardan iboratdir (7.50-rasm). Kuchaytirgich invertorlovchi (-) va inversion (+) kirishga egadir. Sxemalarda OK uchburchak shaklida tasvirlanadi (7.50- a rasm). Signal qaysi kirishga berilganiga qarab OK invertorlovchi va noinversion usullarda ulanadi.

Invertorlovchi usulda kirish kuchlanishi OK ning inversion kirishiga beriladi (7.50- d rasm), noinversion kirish esa nol potensialga egadir.

Kirish toki:

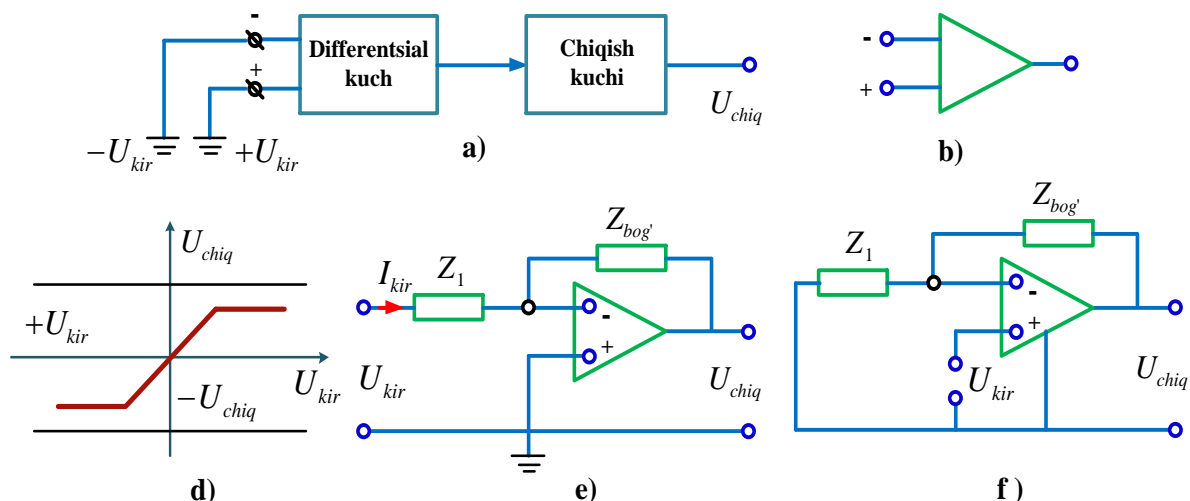
$$I'_{kir} = \frac{(U'_{kir} - 0)}{Z_1}$$

Chiqish kuchlanishi:

$$U'_{chiq} = -I'_{kir} Z_{bog'}$$

Kuchlanishni uzatish koeffitsienti:

$$K(p) = \frac{U_{chiq}}{U_{kir}} = \frac{-I'_{kir} Z_{bog'}}{I'_{kir} Z_1} = -\frac{Z_{bog'}}{Z_1}$$



7.50-rasm.

Bunday uzatish koeffitsienti ideallashtirilgan OK ga xosdir.  $R_{kir} = \infty$ ,  $R_{chiq} = 0$  va kuchlanishni kuchaytirish koeffitsienti  $K = \infty$  deb hisoblasak, OK ideallashtirilgan bo`ladi. Aslida, real OK larning uzatish koeffitsienti  $K(p)$  ideal OK ning  $K(p)$  idan taxminan 0,03% ga farq qiladi.

OK noinversion usulda ulanganda kirish kuchlanishi uning noinversion kirishiga beriladi (7.50- e rasm). Chiqishdan kuchlanish inversion kirishga beriladi. Bunda teskari bog`lanish kuchlanishi:

$$u_{tB} = \beta u_{chiq}, \beta = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_{bog'}}$$

OK ning kirishidagi kuchlanish:

$$u_{kir} = u'_{kir} - u_{tB}$$

Chiqishdagi kuchlanish:

$$u_{chiq} = K(u'_{kir} - \beta u_{chiq})$$

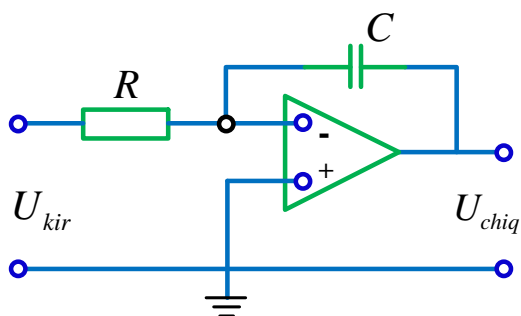
yoki 
$$u_{chiq} = \frac{K u_{kir}}{1 + \beta K}$$

Kuchaytirish koeffitsienti:

$$K = \frac{u_{chiq}}{u_{kir}} = \frac{Ku'_{kir}}{(1 + \beta K)u'_{kir}} = \frac{K}{1 + \beta K} = \frac{1}{\frac{1}{K} + \beta} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta K}}$$

$\beta K \gg 1$  bo'lganida

OK lar yordamida signallarni qo`shish, differensiallash, integrallash va ular ustida boshqa matematik operatsiyalar bajarish mumkin. Kirish signalini integrallovchi sxemani ko`rib chiqamiz (7.51-rasm). Kirish signali inverterlovchi



7.51-rasm.

kirishga beriladi. Kirish zanjiriga rezistorni, teskari bog`lanish zanjiriga esa kondensator ulaymiz. Rezistoridan o`tayotgan tok:

$$i = u'_{kir}/R.$$

Bu tok kondensatordan o`tib, uni zaryadlaydi va  $u_c$  kuchlanishni hosil qiladi (ushbu kuchlanish chiqish kuchlanishidir):

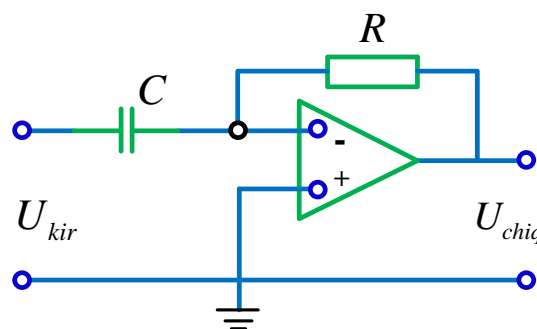
$$u_c = -\frac{1}{RC} \int_0^T u'_{kir} dt$$

Differensiallovchi kuchaytirgichda kirish zanjiriga kondensator  $C$  ni, bog`lanish zanjiriga esa rezistor  $R$  ni ulaymiz (7.52-rasm).

Kirish kuchlanishi kondensatorni zaryadlaydi va undagi kuchlanish kirish kuchlanishiga teng bo`ladi:  $u_c = u'_{kir}$ . Kondensatordan o`tayotgan tok

$$K' = \frac{1}{\beta}.$$

$$i = C \frac{du'_{kir}}{dt}.$$

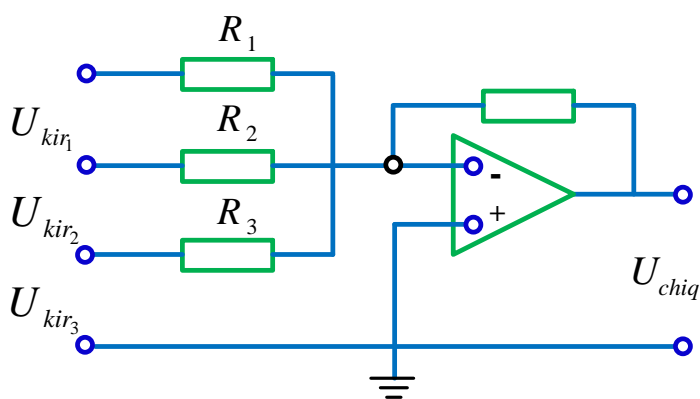


7.52-rasm.

Bu tok kuchaytirgichga bormay,  $R$  qarshilikdan o`tib, unda kuchlanish pasayuvini hosil qiladi:

$$u_{chiq} = -iR = -RC \frac{du'_{kir}}{dt}.$$

OK summator sifatida ishlatilganda bir nechta kirish kuchlanishlarining yig`indisini aniqlash operatsiyasini bajaradi. Bunda OK ning invertorlovchi kirishiga qo`shiladigan signallar beriladi, chiqishidan esa ularning yig`indisi olinadi. 7.53-rasmda jamlovchi OK ning sxemasi ko`rsatilgan. Kirxgofning birinchi qonuniga binoan A tugundagi toklar yig`indisi nolga teng:



7.53-rasm.

$$i_{kir1} + i_{kir2} + i_{kir3} = i_4 = 0$$

Toklarni kuchlanishlar orqali ifodalasak,

$$\frac{u_{kir1}}{R_1} + \frac{u_{kir2}}{R_2} + \frac{u_{kir3}}{R_3} = \frac{u_{chiq}}{R_4} = 0$$

Bundan

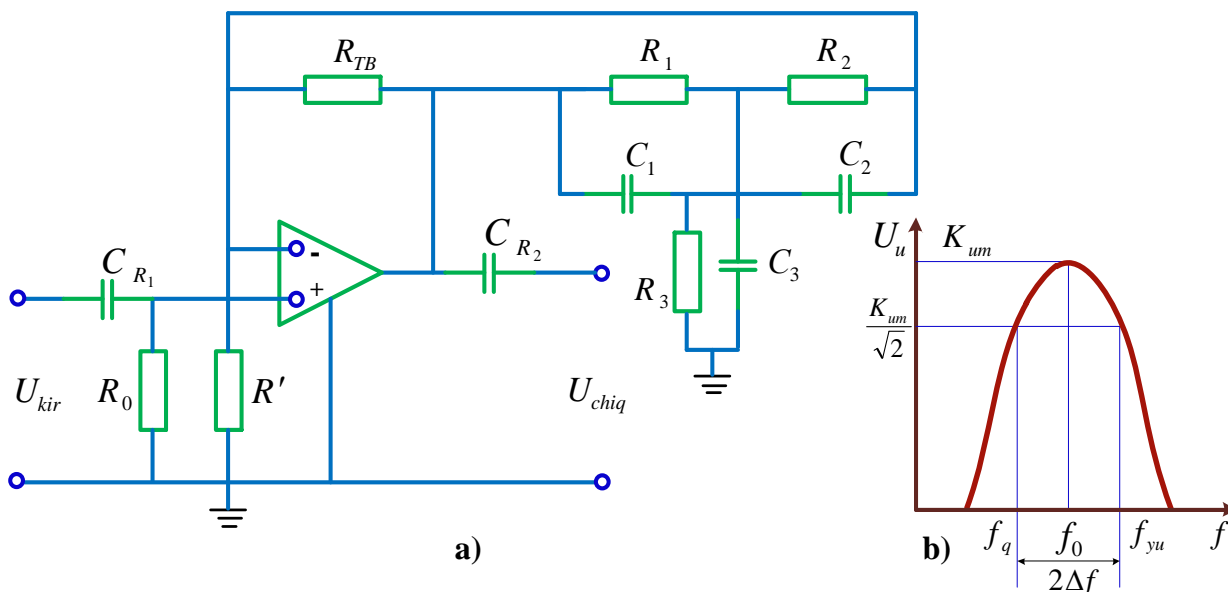
$$u_{chiq} = \frac{u_{kir1}}{R_1} \cdot R_4 + \frac{u_{kir2}}{R_2} \cdot R_4 + \frac{u_{kir3}}{R_3} \cdot R_4$$

Bulardan tashqari, OK lar logarfmilash, potentsirlash va boshqa operatsiyalarni ham bajara oladi.

Ular radioelektronika sxemalarida ham keng qo`llaniladi.

OK ning teskari bog`lanish zanjiriga ikkilangan T-simon RC ko`prikli zanjir o`rnatilsa, sxema yuqori chastota ajratish xususiyatiga ega bo`ladi. 7.54-rasmda chastota kuchaytirgichning sxemasi va amplituda-chastota xarakteristikasi ko`rsatilgan. Sozlash chastotasi deb ataluvchi  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$  chastotada kuchlanishni uzatish koeffitsienti  $\beta = \frac{u_{chiq}}{u_{kir}}$  kamayib ketadi. Bunda teskari bog`lanish ta`siri kamayib, kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti ( $K_{uTB}$ ) shu kaskadning teskari bog`lanishda bo`lmagandagi koeffitsienti ( $K_{u max}$ )ga tenglashadi. Sozlash chastotasi ( $f_0$ ) dan farq qiluvchi chastotada teskari bog`lanish koeffitsienti birga

yaqinlashib, chiqishdagi signal butunlay kirishga beriladi. Kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti juda kichik bo`ladi. Ayrim chastotalar va chastotalar doirasida kuchaytiruvchi kuchaytirgichlar **chastota ajratuvchi kuchaytirgichlar** deyiladi. Bunday kuchaytirgichlarning yuqori va quyi chastotalar nisbati  $f_{yu}/f_k$  birga yaqin, ya`ni 1,001 dan 1,1 gacha bo`ladi (7.54- b rasm). Chastota ajratuvchi kuchaytirgichlar radiotexnika, televidenie, ko`p kanalli aloqa sistemalarida qo`llaniladi.



7.54-rasm.

Manbadan tarqaladigan elektr signallar (tovush, videoimpul`slar) chastotasiga sozlangan chastota ajratuvchi kuchaytirgich faqat chastotadagi signalnigina kuchaytirib beradi. Yuqorida ko`rib chiqilgan cxemamiz tovush va sanoat chastotalarida ishlaydi va chastota ajratish uchun uning RC zanjiri parametrlari  $R_1 = R_2 = R$ ,  $R_3 = \frac{R}{2}$ ,  $C_1 = C_2 = C$  va  $C_3 = 2C$  shartlarni qanoatlantirishi kerak.

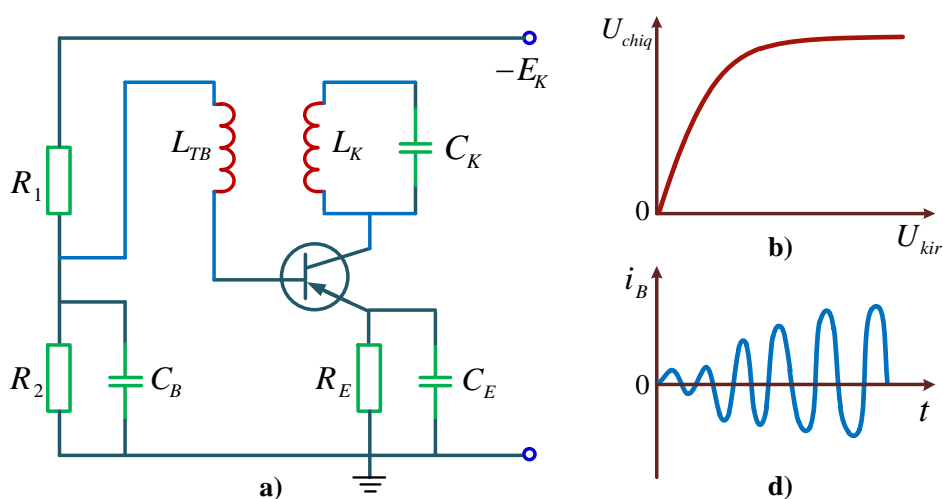
Yuqori chastotali ajratuvchi kuchaytirgichlarda oddiy kuchaytirgichning kollektor zanjiriga LC kontur ulanadi. LC kontur rezonans rejimida ishlaydi.

$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  chastotada kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti maksimal qiymatga ega bo`ladi.

### 7.13. Elektron generatorlar.

Elektron generatorlar o'zgarmas kuchlanish (tok) manbaidan foydalanib, ma'lum chastota va shakldagi elektr tebranishlarni hosil qiladi. Ular radio apparatlar, o'lchov texnikasi, avtomatika qurilmalari va EHM larda keng qo'llaniladi va tebranishlar shakliga, chastotasi va uyg'otish turiga qarab bir necha xilga bo'linadi.

Elektron generatorlar musbat teskari bog'lanishli kuchaytirgichlar asosida quriladi. Musbat teskari bog'lanish berilgan chastotada sxemaning o'z-o'zidan uyg'otilishini ta'minlaydi. Bunday sxemalarda o'z-o'zidan uyg'otish yuzaga kelishi uchun ikki shart bajarilishi kerak. Birinchidan, kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti modellarining o'zaro ko'paytmasi birdan katta bo'lishi kerak, ya'ni  $|K| \cdot |\beta| > 1$ . Ikkinchidan, kuchaytirgich va teskari bog'lanish zanjiridan kiritilgan fazoviy siljish burchaklarining yig'indisi  $2\pi$  ga karrali bo'lishi kerak, ya'ni  $\varphi_k + \varphi_{\tau_0} = 2\pi n$ . Shunda kuchaytirgichning chiqishidagi kuchlanish musbat teskari bog'lanish zanjiri orqali kirishiga beriladi. Kirishdagi kuchlanish bilan qo'shib, yanada kuchayadi. Misol uchun LC tipdagi sinusoidal kuchlanishlar generatorining ishlashini ko'rib chiqamiz (7.55-rasm).



7.55-rasm.

Tebranish konturida kerakli chastotadagi tebranishlar hosil bo'ladi. Tranzistor teskari bog'lanish zanjiri orqali kirishga berilgan kuchlanishni kuchaytiradi. Musbat teskari bog'lanish zanjiri sxemasining chiqishidagi



kuchlanishni kerakli miqdor va fazada kirishga uzatadi. O`zgarmas EYUK manbaining energiyasi konturining tebranma energiyasiga aylanadi. Konturdagi kondensator  $C_k$  manba E ga ulanganda rezistor  $R_e$ , tranzistorning emitteri, bazasi, kollektori  $C_k$ -E zanjir orqali zaryadlanadi. Kondensator  $C_k$  va induktiv g`altak o`zaro parallel bo`lgan tebranish konturini hosil qiladi. Kondensator  $C_k$  ma`lum energiyaga ega bo`lganidan keyin  $f_0$  chastotali erkin tebranishlar hosil bo`ladi. Chastota  $f_0$  konturining parametrlariga bog`liqdir:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}.$$

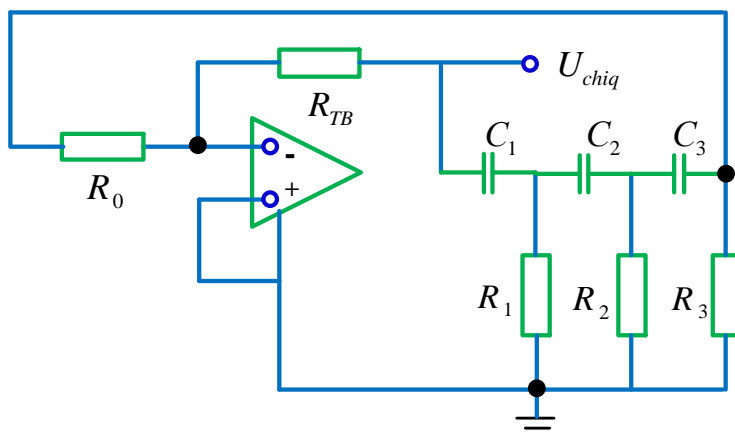
$L_k$  va  $L_{\tau 0}$  g`altaklar o`zaro induktiv bog`langan. G`altak  $L_{\tau 0}$  d kontur chastotasidagi o`zgaruvchan kuchlanish hosil bo`ladi. Bu kuchlanish tranzistorning emitter-baza uchastkasiga beriladi. Kollektor toki ham chastota  $f_0$  bilan o`zgaradi. Teskari bog`lanish musbat bo`lgani uchun kollektor tokining o`zgaruvchan tashkil etuvchisi konturdagi tebranishlarni kuchaytiradi. Natijada tranzistor kirishidagi o`zgaruvchan kuchlanish amplitudasi ortadi, kollektor toki esa yana ortadi va hokazo. Kollektor toki o`zgaruvchan tashkil etuvchisining ortishi chegaralangan, chunki tranzistorning kirish va chiqish kuchlanishlari avtogeneratorning tebranish xarakteristikasi bilan aniqlanadi.

Konturda so`nmas tebranishlar hosil qilish uchun musbat teskari bog`lanishni ta`minlash kifoya qilmaydi. Konturdagi energiya isrofi manba energiyasi hisobiga to`la kompensasiyalangan bo`lishi kerak. Demak, konturda so`nmas tebranishlar hosil bo`lishi uchun ikki shart bajarilishi zarur (bu ikki shart ***o`z-o`zidan uyg`onish sharti*** deb ataladi):

1. Fazalar balansining sharti (musbat teskari bog`lanish orqali ta`minlanadi).
2. Amplitudalar balansining sharti (teskari bog`lanish koeffitsienti  $\beta$  ga bog`liq).

LC tipdagi avtogeneratorlar yuqori chastotalarda ishlatiladi, past chastotalarda ishlatilganda esa tebranish konturining konstruksiyasi qo`pol bo`ladi. Quyida

chastotali sinusoidal tebranishlar hosil qilish uchun ancha sodda va arzon, RC tipidagi avtogeneratordan foydalaniladi.



7.56-rasm.

7.56-rasmda uchta RC zanjirli generatorning sxemasi ko`rsatilgan. Sxemaga tebranma kontur o`rniga rezistor R ulanadi. Musbat teskari bog`lanish uchta RC bo`g`indan tashkil topgan faza burgichdan iborat. Sxemaning

chiqish uchini uning kirish uchi bilan bevosita bog`lab, o`z-o`zidan uyg`onish shartlari bajarilsa, generatsiyalanayotgan tebranishlar sinusoidal bo`lmaydi. Hosil bo`ladigan tebranishlar sinusoidal tebranishlarning aniq bir garmoniyasiga mo`ljallanadi. Shu funktsiyani faza burgich RC zanjiri bajaradi. Zanjir parametrlari shunday tanlanadiki, kollektor toki va kollektor potentsiali ortganda baza potentsiali kamayadi. Boshqacha qilib aytganda, kollektor va bazadagi kuchlanishlar qarama-qarshi fazada bo`lishi kerak. Fazalar balansi sharti shundan iboratdir.

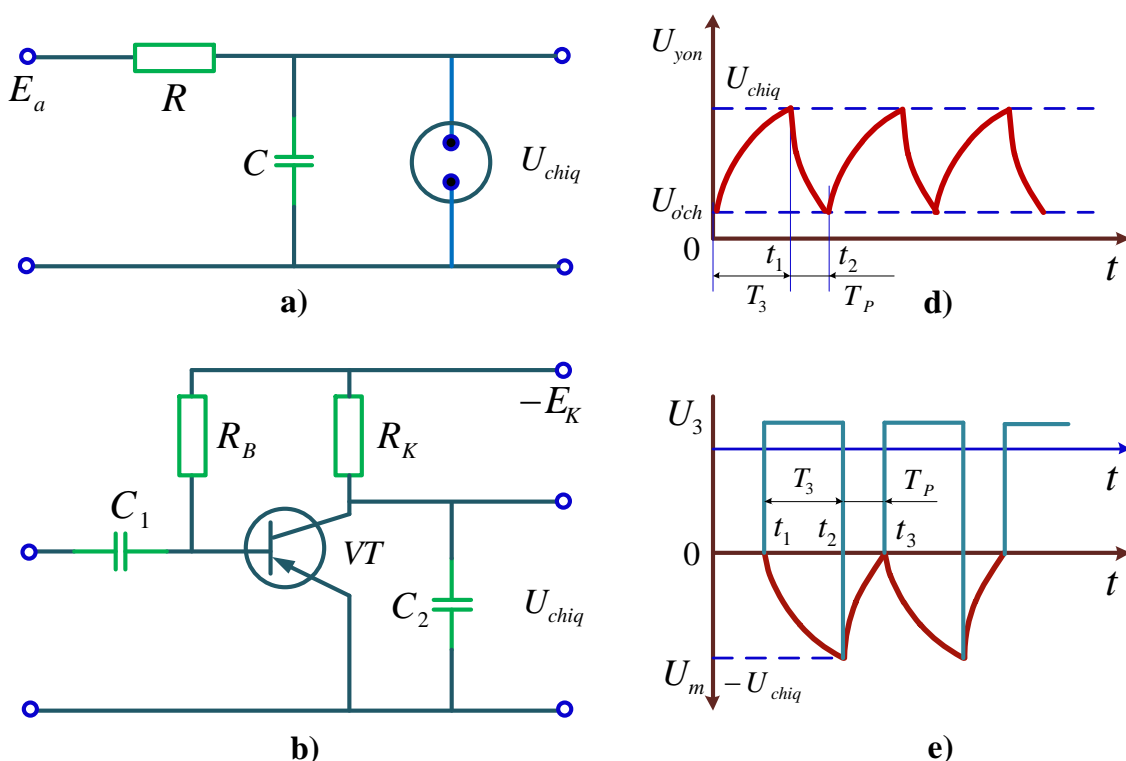
Uch zvenoli RC zanjirning teskari bog`lanish koeffitsientini aniqlaymiz. Agar  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  va  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ , kirish va chiqish kuchlanishlari orasidagi burchak  $180^0$  bo`lsa, o`z-o`zidan uyg`onish  $f_0 = \frac{1}{15,4RC}$  chastotada sodir bo`ladi. Uzatish koeffitsientining moduli  $\beta$  esa taxminan  $1/29$  ga teng. Amplitudalar balansi kuchaytirgichning koeffitsienti 29 dan kam bo`lmaganida bajariladi.

RC avtogenerator bir necha kamchiliklarga ega. Chunonchi, teskari bog`lanish kuchaytirgich kaskadini shuntlaydi va kuchaytirish koeffitsientini kamaytiradi. Natijada, hosil bo`lgan tebranishlar barqaror bo`ladi. Buning oldini olish maqsadida chiqish va teskari bog`lanish zanjirlarining orasiga elektr takrorlagich qo`yiladi. Shuningdek, generatsiyalangan tebranishlarning shakli

buzilgan hamda oʻz-oʻzidan uygʻotish shartlari faqat chastota  $f_0$  ga yaqin boʻlgan garmonikalar uchun bajariladi.

Genarsiyalangan tebranishlar shaklining buzilishini yoʻqotish uchun kuchaytirgichga manfiy teskari bogʻlanish kiritiladi. Buning uchun emitter zanjiriga  $R_e$  rezistor ulanadi.

Chiziqli oʻzgaruvchi (arrasimon) kuchlanish generatori 63- b rasmda koʻrsatilgan shakldagidek kuchlanishni hosil qiladi. Bu kuchlanish otsillograflarda, televizion va radiolokasion indikatorlarda elektron nurni yoyish uchun ishlatiladi.



7.57-rasm.

Chiziqli oʻzgaruvchi kuchlanish (ChOʻK) kondensatorning zaryadlanishi yoki zaryadsizlanishi hisobiga hosil boʻladi. Oddiy arrasimon kuchlanish generatori neonli lampa asosida quriladi (63- a rasm). sxema  $E_a$  manbaga ulanganda kondensator  $C$  rezistor  $R$  orqali zaryadlanadi va undagi kuchlanish ortib boradi ( $T_3$  davr ichida). Vaqt  $t = t_1$  boʻlganida (63-rasm, b) kondensatordagi kuchlanish neonli lampaning yonish kuchlanishi  $u_{yon}$  ga tenglashadi. Lampaning qarshiligi keskin kamayadi va  $C$  kondensator qisqa muddat ichida lampaning

o`chish kuchlanishi  $U_{o'ch}$  kuchlanishga zaryasizlanadi ( $T_p$  davr ichida). Vaqt  $t = t_2$  bo`lganida lampalardagi gaz razryadi tugab, lampaning qarshiligi keskin ortadi. So`ngra kondensator yana  $U_{yon}$  kuchlanishigacha zaryadlanadi va hokazo. Sxemaning chiqiishidan esa arrasimon kuchlanish olinadi. Kondensatorning zaryadlanishi eksponensial qonun bo`yiyacha o`zgaradi. Rezistor R orqali C kondensator  $\tau_3 = RC$  vaqt ichida zaryadlanadi.  $t_3 = (3 \div 4)\tau_3$  vaqt ichida bu jarayon tugaydi. Zaryadlanganda kondensatordagi kuchlanish asimptotik ravishda  $E_a$  ga, zaryadsizlanganda esa nolga yaqinlashadi. Bu sxemaning asosiy kamchiligi lampaning yonish va o`chish kuchlanishlarining barqaror emasligi hamda rezistor R va kondensator C parametrlarining barqarorligidir. Bu esa kondensatorning zaryadlanish  $T_3$  va zaryadsizlanish  $T_p$  vaqtlarining o`zgarishiga olib keladi.

$$\tau_3 = RC, \quad \tau_p = R_1 C,$$

bu yerda  $R_1$ -lampaning zaryasizlanish vaqtidagi ichki qarshiligi.

ChO`K genartorining stabilligini ta`minlash uchun tashqi uyg`onishli generatorlardan foydalaniladi. Tranzistor asosida tuzilgan ChO`K ning sxemasi 154.63-rasm, v da ko`rsatilgan. Boshlang`ich holatda tranzistor ochiq va to`yingan. Uning kollektoridagi va kondensatordagi kuchlanish nolga yaqin. Vaqt  $t = i_1$  bo`lganida VT tranzistorning bazasiga ishga tushiruvchi musbat impul`s beriladi. Bunda tranzistor yopiladi. Kondensator esa  $+E_k$ , C, R,  $-E_k$  zanjir orqali zaryadlanadi. Demak, ishga tushiruvchi impul`s ta`sir etayotgan vaqt ( $T_3$ ) ichida kondensatordagi kuchlanish ortib boradi. Bu impul`s ta`siri yo`qolganidan keyin ( $t = t_2$ ) tranzistor ochilib, kondensator tranzistor VT orqali tez zaryadsizlanadi. Vaqt  $t = t_3$  bo`lganida kondensator yana zaryadsizlanadi va jarayon takrorlanadi. Bu yerda kuchlanish chiziqli bo`lishi uchun kondensator  $E_k$  (manba) kuchlanishidan ancha kichik bo`lgan  $U_m$  kuchlanishigacha zaryadlanadi. Bunda manba kuchlanishining to`liq ishlatilmasligi mazkur sxemaning asosiy kamchiligidir. Mukammalroq sxemalarda kondensator zaryadlanish tokining barqarorligini ta`minlab beruvchi elementlardan foydalaniladi.

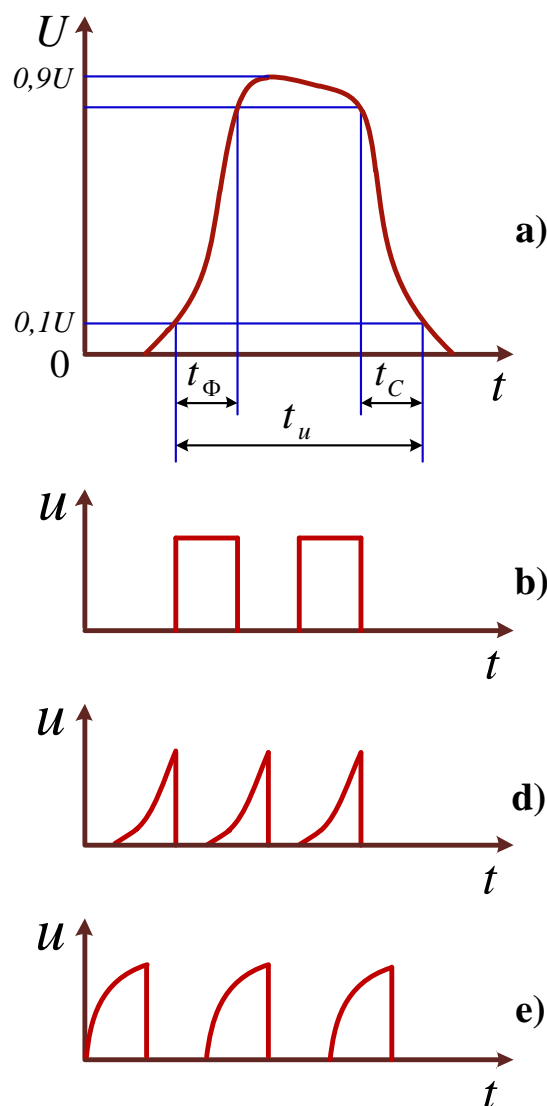
### 8.1. Impul'sli va raqamli texnika

Radiotexnika, avtomatika, telemexanika va EHM larda impul'sli rejimda ishlaydigan impul's qurilmalar keng qo'llaniladi. Bu qurilmalarning ishida qisqa muddatli signallar pauzalar bilan almashib turadi. Impul'sli ish rejimi uzluksiz ish rejimiga qaraganda bir qancha afzalliklarga ega:

1. Impul'sli rejimda ishlaganda kichik quvvatli qurilma yordamida impul's ta'sir etayotgan qisqa muddat ichida katta quvvatga erishish mumkin.
2. Impul'sli rejimda ishlaganda yarim o'tkazgichli sxemalar «kalit» rejimida ishlaydi, ya'ni qurilma ikki holatdan («ulangan» yoki «uzilgan») birida bo'ladi. Natijada yarim o'tkazgichli asboblarning parametrlarining o'zgarishiga haroratning ta'siri kamayadi.
3. Impul'sli rejimda signalni xalaqitlardan (buzlislardan) ajratish osonroqdir.

Murakkab impul's qurilmalar integral mikrosxemalarga jamlangan elementlardan tuziladi.

Elektr impul'si deb qisqa vaqt ichida o'zgarish qiyamatdan farq qiluvchi tok yoki kuchlanishga aytiladi. Impul's quyidagi parametrlar bilan xarakterlanadi: impul's amplitudasi ( $A$ ); impul's davomiyligi  $t_i$ . Impul's qiymati  $0,1 A$  ga teng bo'lgan qiyamatdan aniqlanadi (8.1- a rasm). Bunda  $t_\phi$  -impul's qiymatining



**8.1-rasm.**

0,1 A dan 0,9 A gacha o`lish vaqti;  $t_c$  -impul`s qiymatining 0,9 A dan 0,1 A gacha kamayish vaqti,  $\Delta A$  -impul`s cho`qqisining pasayishi.

Agar impul`slar bir xil vaqt oralig`i bilan ketma-ket kelsa, bunday impul`slar ***davriy ketma-ketlikdagi impul`slar*** deyiladi.

Bir sekund ichidagi impul`slar soni ***impul`s chastotasi*** ( $F$ ) deyiladi:

$$F = \frac{1}{T}$$

bu yerda  $T$  - impul`s davri.

Davrning impul`s davomiyligiga nisbati ***impul`sning chuqurligi*** deyiladi:

$$q = \frac{T}{t_i}$$

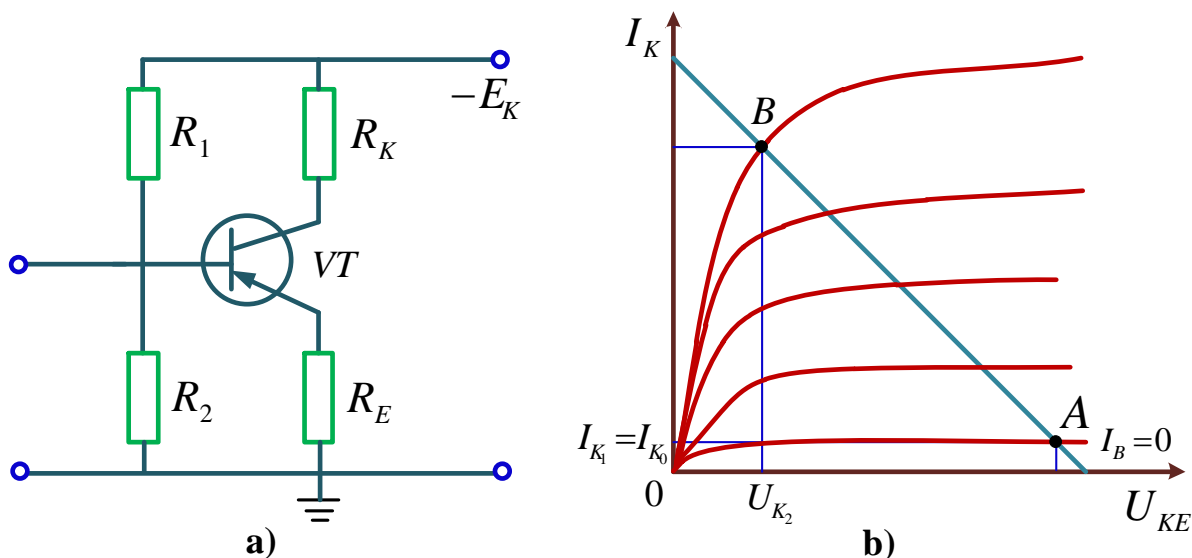
$2 \leq q \leq 10\,000$  bo`lishi mumkin.

Shakliga qarab impul`slar to`g`ri burchakli, trapesiadal, eksponensial, arrasimon va boshqa turlarga bo`linadi (8.1- b, d va e rasmlar).

Aksariyat impul`s qurilmalari tarkibiga elektron kalitlar, ya`ni «kalit» rejimida ishlovchi elementlar kiradi. Elektron kalit sifatida diodlar, elektron lampalar, tranzistorlar ishlatilishi mumkin. Bunda element faqat («ulangan» va «uzilgan») holatda bo`lishi mumkin. «Ulangan» holatda elementning qarshiligi  $= 0$ , «uzilgan» holatda esa  $R = \infty$  deb hisoblanadi. Shunga qarab chiqishda signal «bor» yoki «yo`q» deyish mumkin. Aslida qarshilik  $R$  noldan ham, cheksizlikdan ham farq qiladi. Kalitning sifati «ulangan» kalitdagi kuchlanish pasayuvi  $u_3$ , «uzilgan» kalitdagi tok  $i_P$  va kalitning bir holatdan ikkinchi holatga o`tish vaqti  $t_{ot}$  bilan xarakterlanadi. Bu qiymatlar qancha kichik bo`lsa, kalitning sifati shuncha yaxshidir. Tranzistorli kalitning ishlashini ko`rib chiqamiz (8.2-rasm).

Tranzistorning ulanish sxemasi kuchaytirgich kaskadidagi kabi bo`lib, VT «kalit» rejimida ishlaydi. Bu rejim tranzistor yoki uzish, (otsechka) yoki to`yinish rejimida bo`lishi mumkinligi bilan xarakterlanadi. Uzish rejimida baza toki katta emas ( $I_{K_1} = I_{K_0}$ ).  $R_K$  qarshilikdagi kuchlanishning pasayuvi juda kichik va

kollektordan olinayotgan kuchlanish  $U_{K_1} \approx E_K$  (xarakteristikadagi A nuqta) bo`ladi.

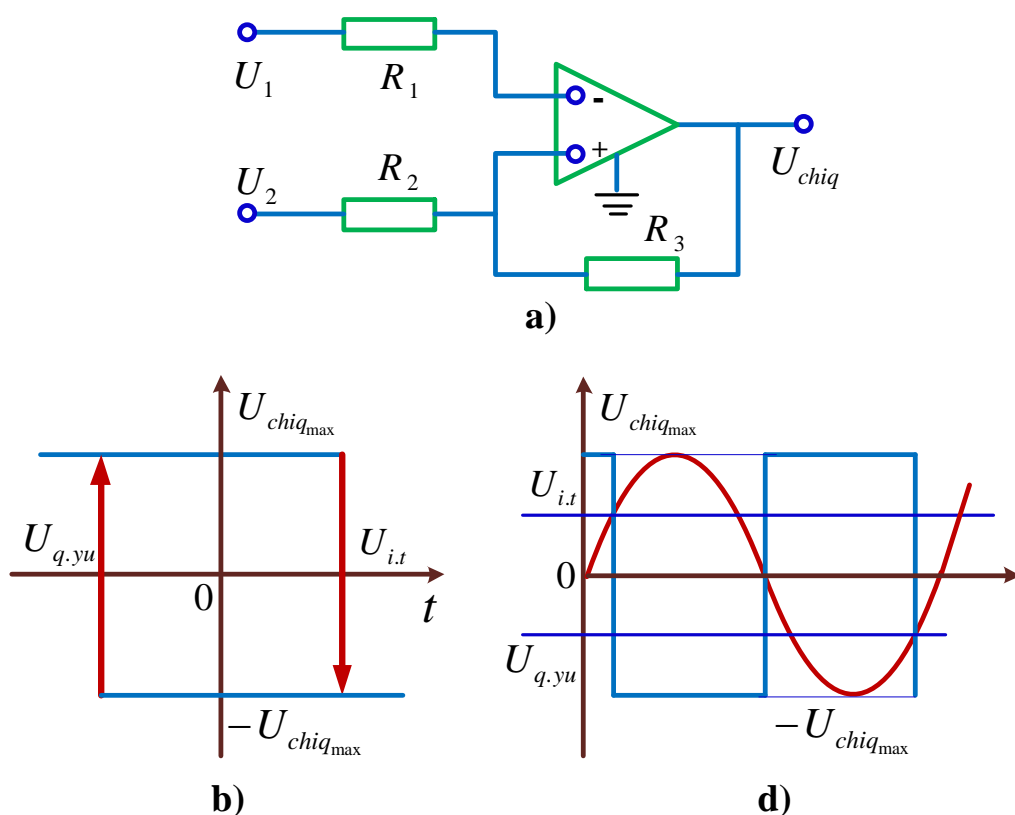


8.2-rasm.

To`yinish rejimida bazaga musbat potensial beriladi, baza toki  $I_{B_2} = \frac{u_{kir}}{R_B}$ , kollektor toki  $I_{K_2} = \frac{E_K}{R_K}$ , kollektor potentsiali esa  $U_{K_2} \approx 0$ . Uzish rejimidan to`yinish rejimiga o`tish tez ro`y beradi va baza potentsiali (kirish kuchlanishi  $U_{kir}$ ) ning ortishi kollektor potentsiali (chiqish kuchlanishini) ning kamayishiga olib keladi. Bunday «kalit» *invertorlovchi* deyiladi. Emitter takrorlovchilardan takrorlovchi «kalit» yasash mumkin. Bunday kalitlarda kirish signalining ortishi, chiqish signalining ortishiga olib keladi.

Elektron kalitlar turli o`zgartgichlarda keng qo`llanadi. Impul`sli rejimda ishlovchi qurilmalardan biri komparatordir. Komparator ikki signalni o`zaro taqqoslash uchun ishlatiladi (8.3-rasm). Komparator impul`sli rejimda ishlaydigan OK lar asosida quriladi. Bu rejimda OK amplituda xarakteristikasining chiziqsiz qismida ishlaydi va kuchaytirgichning chiqish kuchlanishi  $+U_{chiq_{max}}$  va  $-U_{chiq_{max}}$  qiymatlarga ega bo`la oladi. Komparatorning kirishiga ikki (tayanch va o`lchanadigan) kuchlanish beriladi. Tayanch kuchlanish o`zgarmas bo`ladi. Kirish kuchlanishining qiymati tayanch kuchlanishga tenglashganda OK ning chiqishidagi

kuchlanish o'z qutblanishini o'zgartiradi. Komparatorning oddiy sxemasi bilan tanishib chiqamiz (8.3- a rasm). komparatorning noninversion kirishiga musbat teskari bog'lanish berilgan.



8.3-rasm.

OK dan iborat uzatish xarakteristikasi gisterezis xarakteristikasiga o'xshaydi. Komparatorning chiqishidagi kuchlanish  $+U_{chiq_{max}}$  va  $-U_{chiq_{max}}$  qiymatlarga ega bo'lib, uning xarakteristikasida ishga tushish  $U_{i.t}$  va qo'yib yuborish  $U_{q.yu}$  bo'sag'alari mavjuddir.  $u_{kir}$  kuchlanishni nolga teng, deb hisoblab, ishga tushishi bo'sag'asini aniqlaymiz:

$$U_1 \frac{R_3}{R_1+R_3} + U_{chiq} \frac{R_1}{R_1+R_3} = 0;$$

$$U_1 = -U_{chiq} \frac{R_1(R_1+R_3)}{(R_1+R_3)R_3} = -U_{chiq} \frac{R_1}{R_3}.$$

Binobarin,

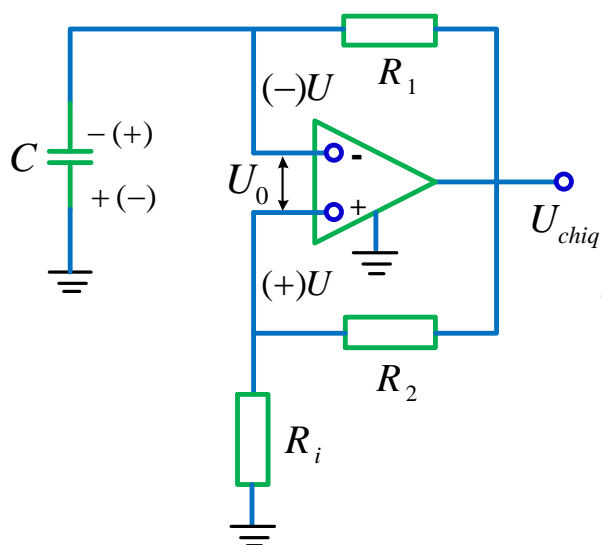
$$U_{i.t} = -\frac{R_1}{R_3} (-U_{chiq_{max}}) = \frac{R_1}{R_3} U_{chiq_{max}};$$

$$U_{q.yu} = -\frac{R_1}{R_3} U_{chiq_{max}}.$$

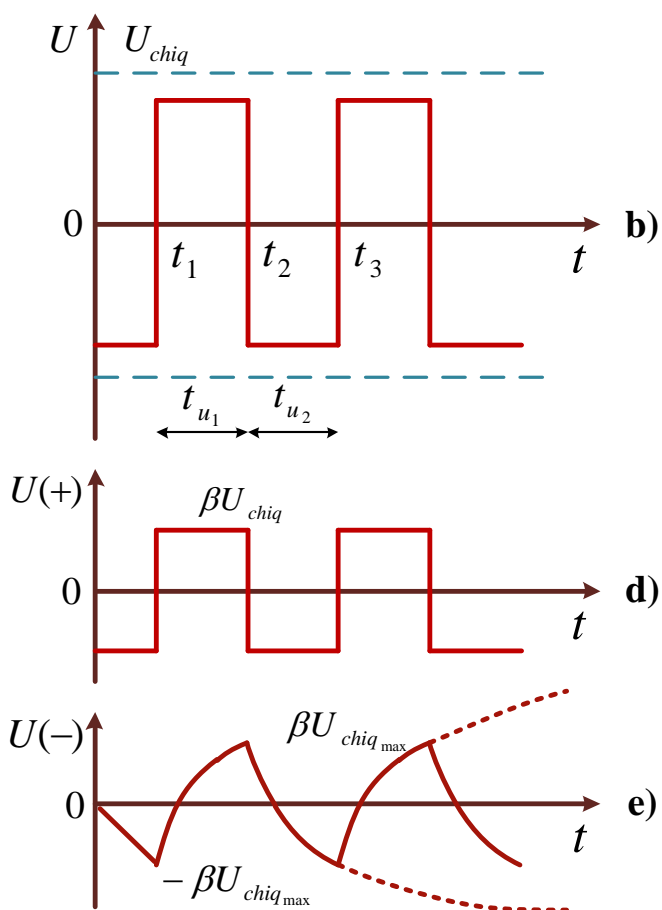


Komparatorning ishlashini tushuntiruvchi diagramma (8.3- d rasm) tayanch kuchlanishini o'zgarimas va nolga teng bo'lgan holat uchun quriladi.

Taqqoslanayotgan kuchlanish  $U_2$  modul' jihatdan tayanch kuchlanish va



noldan katta, ya'ni  $|U_2| > |U_1|$ ,  $U_2 > 0$  bo'lsa, chiqish kuchlanishi  $+U_{chiq_{max}}$  da  $-U_{chiq_{max}}$  ga ulanadi. Agar  $U_2 < 0$  bo'lsa,  $-U_{chiq_{max}}$  va  $+U_{chiq_{max}}$  ga qayta ulanadi. Gisterezis sohasi  $U_2 = U_{i.t} - U_{q.yu} = 2 \frac{R_1}{R_3} U_{chiq}$  ga teng bo'lib, teskari bog'lanishning chuqurligi bilan aniqlanadi. Demak, komparator ikki barqaror holat ( $+U_{chiq_{max}}$  va  $-U_{chiq_{max}}$ ) ga ega bo'ladi va bu holatlarning biri kirish kuchlanishlar ayirmasi ishga tushish kuchlanishidan kichik va qo'yib yuborish kuchlanishidan katta bo'lgan oraliqda saqdanib qoladi. Komparatorlar EHM larda, turli o'zgartgichlarda signallarni taqqoslash uchun ishlatiladi.



**8.4-rasm.**

ishlashini ko'rib chiqamiz (8.4-rasm).

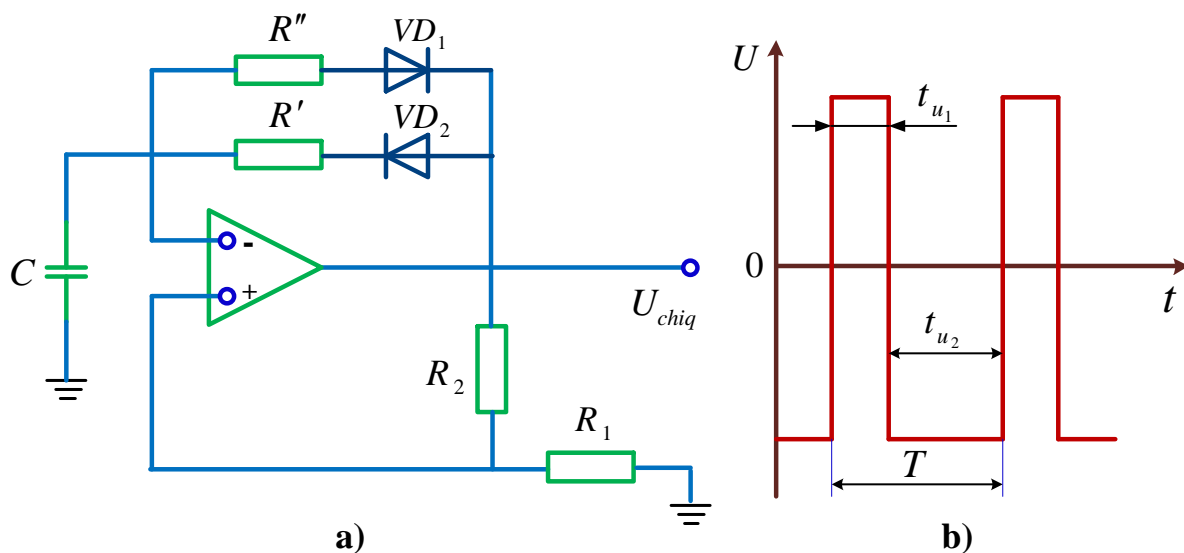
Mul'tivibratorlar simmetrik, nosimmetrik vibratorga bo'linadi. Mul'tivibratorlar o'z-o'zini uyg'otish rejimida ishlaydi. Simmetrik mul'tivibratorning

Komparator sifatida ishlayotgan OK ning invertorlovchi kirishiga  $RC$  zanjirni kiritish yo`li bilan komparatorning chiqishidagi signalning davomiyligi boshqariladi. Vaqt  $t = t_1$  bo`lganda OK ning kirishlaridagi signal  $u_0 > 0$  bo`lsa, chiqish kuchlanishi  $u_{chiq} = -U_{chiq_{max}}$ , noinversion kirishdagi kuchlanish  $u_+ = -\beta U_{chiq_{max}}$  bo`ladi. Bu yerda  $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_3}$  -musbat teskari bog`lanish koeffitsienti. Chiqishdagi kuchlanish ta`sirida kondensator  $C$  rezistor  $R$  orqali zaryadlanadi. Invertorlovchi kirishdagi kuchlanish kondensatoridagi kuchlanishga teng va  $u_2 = -\beta U_{chiq_{max}}$  qiymatga erishganda  $u_0 = 0$  bo`lib qoladi. Natijada OK ning chiqishidagi kuchlanishning qutblanishi o`zgaradi va  $u_{chiq} = U_{chiq_{max}}$  bo`lgani uchun kondensator qayta zaryadlanadi va invertorlovchi kirishdagi kuchlanish yana noinversion kirishdagi kuchlanish ( $u_+$ ) ga teng bo`lib qolganida  $u_0 = 0$  bo`lib, chiqishdagi kuchlanishning qutblanishi  $u_{chiq} = +U_{chiq_{max}}$  dan  $u_{chiq} = -U_{chiq_{max}}$  ga o`zgaradi. Jarayon bir maromda takrorlanib turadi. Musbat impul`slar davomiyligi manfiy impul`slar davomiyligi bilan tenglashadi. Impul`slar chastotasi quyidagicha bo`ladi:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{tu_1 + tu_2} = \frac{1}{2tu}$$

Impul`snings davomiyligi zanjirga ulangan  $R_1$  qarshiliklar va  $C$  kondensatorning sig`imiga bog`liq.

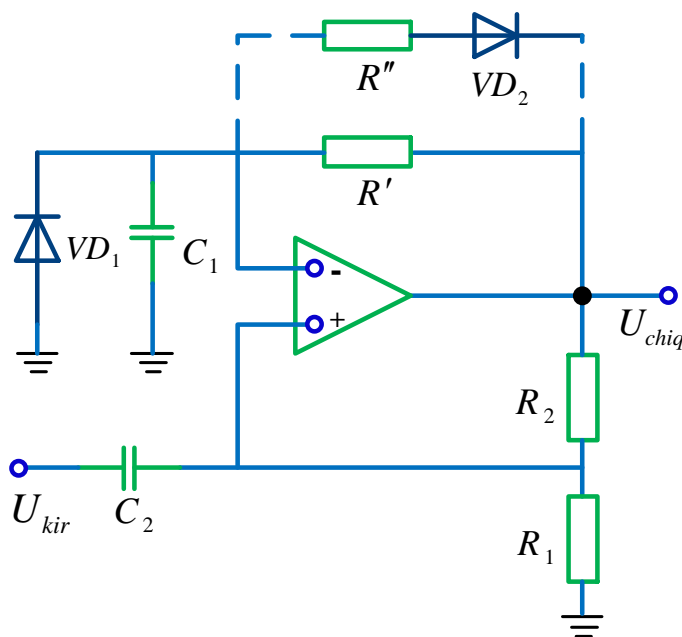
OK ning invertorlovchi kirishiga ketma-ket ulangan rezistor va dioddan iborat ikki shoxobchani o`zaro parallel kondensator bilan ketma-ket ulash orqali nosimmetrik mul`tivibrator hosil qilish mumkin (8.5-rasm). Kondensator  $C$  chiqishdagi kuchlanishning bir qutblanishida rezistor  $R_1$  va diod  $VD_1$  orqali zaryadlanadi. Kuchlanish teskari qutblanganda kondensator rezistor  $R_2$  va diod  $VD_2$  orqali zaryadlanadi. Diodlar qarshiligini hisobga olmasak, musbat va manfiy impul`slarning davomiyligi  $R_1$  va  $R_2$  qarshiliklarga proporsional bo`ladi (8.5- b rasm).



8.5-rasm.

OK ning inverterlovchi kirishidagi kondensatorga parallel diod biriktirib bir impul'sli vibrator hosil qilish mumkin (8.6-rasm). Bir impul'sli vibrator kutuvchi rejimda ishlovchi mul'tivibratoridir. Mul'tivibrator ikkita beqaror holatga ega

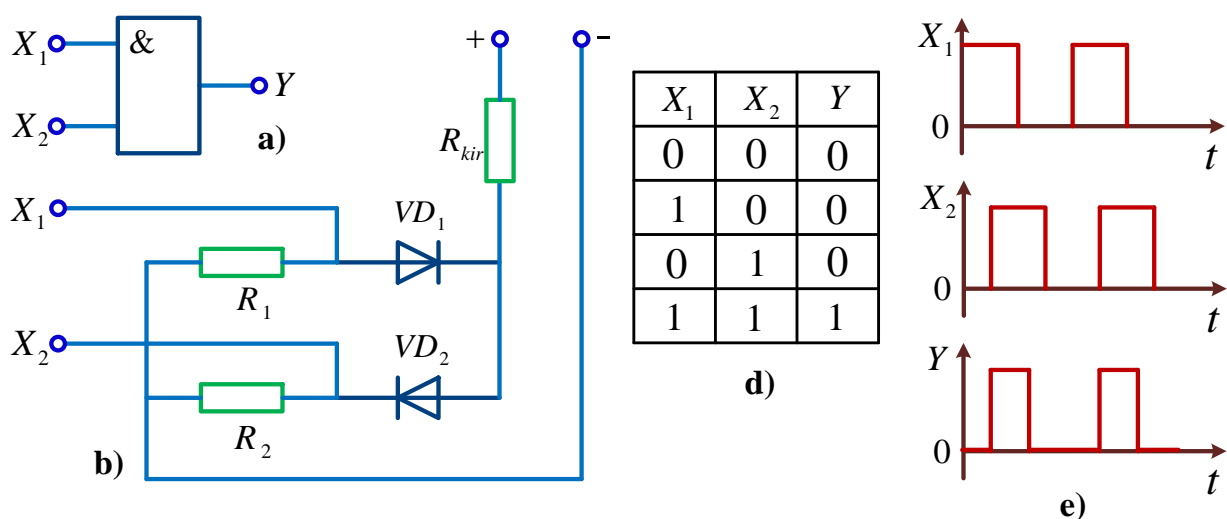
bo'lsa, bir impul'sli vibrator bitta beqaror va bitta barqaror holatga ega. Barqaror holatda vibratorga qisqa ishga tushiruvchi impul's berilsa, u beqaror holatga o'tadi. Chiqish zanjirida to'rtburchak impul's hosil bo'ladi. Kondensatorning zaryadlanishi tugashi bilan bir impulsi vibrator yana barqaror holatga o'tadi.



8.6-rasm.

## 8.2. Mantiqiy funksiyalar va elementlar

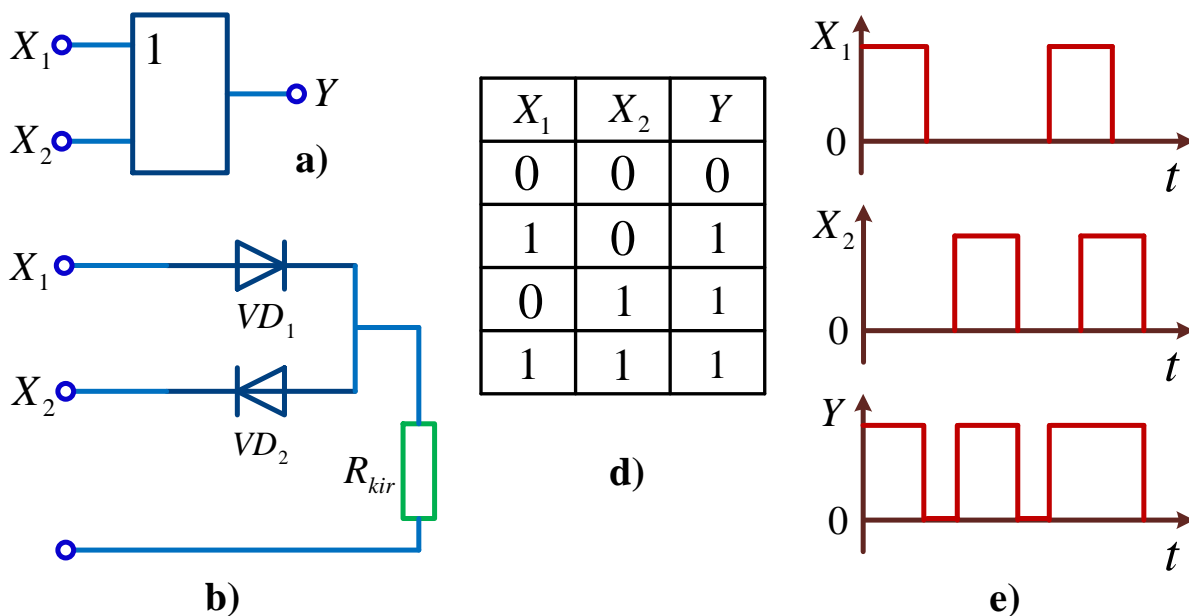
Raqamli axborotdan foydalanuvchi qurilmalar mantiqiy va xotira elementlari asosida quriladi. Mantiqiy elementning kirish va chiqishdagi signal faqat ikki qiymatga ega bo'lishi mumkin. Bu qiymatlar «1» va «0» tarzda belgilanadi. Mantiqiy elementning kirishidagi miqdor mantiqiy algebra yoki Bul' algebrasi qoidalari asosida chiqishdagi miqdorga aylantiriladi. Bul' algebrasi qoidalari asosida chiqishdagi miqdorga aylantiriladi. Bul' algebrasi axborotning fizik xususiyatlarini hisobga olmay, uning faqat «to'g'ri» (mantiqiy «1») yoki «noto'g'ri» (mantiqiy «0») ligi tomonidan qarashga imkoniyat beradi. Mantiqiy elementlar yordamida bir necha oddiy mantiqiy funksiyalar bajarilishi mumkin.



8.7-rasm.

Asosiy mantiqiy funksiyalar – diz'yunksiya (mantiqiy qo'shish funksiyasi), kon'yunksiya (mantiqiy ko'paytirish), inversiya (mantiqiy inkor etish) funksiyalaridir. Mantiqiy qo'shish funksiyasi «YOKI» deb ataladi. Funktsional sxemalarda esa 8.8- a rasmda ko'rsatilganidek tasvirlanadi.

Uning bajarilish qoidasi quyidagicha. Kirishga berilgan signallardan loqal bittasi mantiqiy «1» ga teng bo'lsa, chiqishdagi signal ham «1» ga teng. «YOKI» operatsiyasini bajarish qoidasi 8.8-d rasmda diagrammasi 8.8-e rasmda ko'rsatilgan. Shu funksiyalarni bajarib beruvchi oddiy sxema bo'linish sxemasi bo'lib, 8.8-b rasmda ko'rsatilgan.  $VD_1$  yoki  $VD_2$  dioddan yoki ikkala dioddan tok o'tgandagina qarshilik  $R_{kir}$  da kuchlanish hosil bo'ladi.

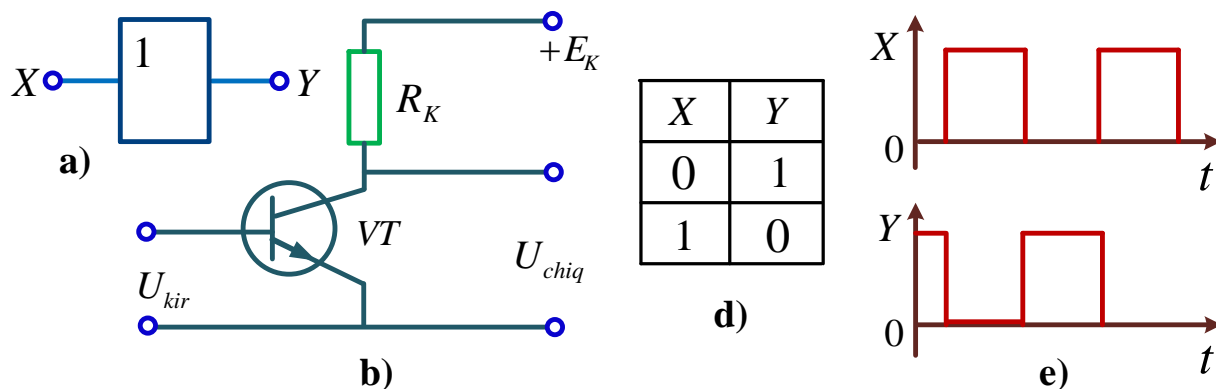


8.8-rasm.

Kon'yuksiya yoki mantiqiy ko'paytirish funksiyasi «HAM» operatsiyasi deb ataladi. 8.7-rasmda uning funksional sxemasi, bajarilishi qoidasi va diagrammalari ko'rsatilgan. Ikkala kirishda ham mantiqiy «1» bo'lgandagina chiqishda ham «1» bo'ladi. Kirishdagi biror signal mantiqiy «0» ga teng bo'lsa, chiqishdagi signal ham «0» ga teng bo'ladi. Shu operatsiya 8.7- b rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha bajariladi. Ikkala diodning kirishiga «0» signal berilsa, diodlar ochiq bo'lib, rezistor va diodlardan tok o'tadi. Manba kuchlanishining kattagina qismi qarshilik  $R$  dagi kuchlanish pasayuvi bilan muvozzantlashib, chiqishdagi signal juda kichik, ya'ni «0» bo'ladi. Agar ikkala diodning kirishiga «1» signal berilsa, diodlar yopiladi, rezistor  $R$  dan tok o'tmaydi va chiqishdagi kuchlanish manba kuchlanishiga tenglashadi.

Inversiya yoki mantiqiy inkor etish funksiyasi «YO'Q» operatsiyasi deb ataladi. Bu operatsiyaning funksional tasviri, bajarilishi qoidasi va diagrammalari 8.9-rasmda ko'rsatilgan. Mazkur operatsiyani bajarish qoidasi quyidagicha. Kirishdagi signal «1» bo'lsa, chiqishda «0» bo'ladi, kirishda «0» bo'lsa, chiqishda «1» bo'ladi. 8.9- b rasmda ko'rsatilgan sxema «YO'Q» operatsiyasini bajaradi. Kirishdagi kuchlanish «0» ga teng bo'lganda tranzistor yopiq,  $E_K$  kuchlanish chiqishdagi kuchlanishga teng, ya'ni «1» bo'ladi. Kirishga signal berilganda tranzistor ochilib, undan va qarshilik  $R_K$  dan tok o'tadi va  $R_K$  qarshilikda

kuchlanish pasayuvi hosil bo`ladi. Chiqishdagi kuchlanish  $U_{chiq} = E_K - I_K R_K$  ning qiymati kichik, ya`ni «0» bo`ladi.

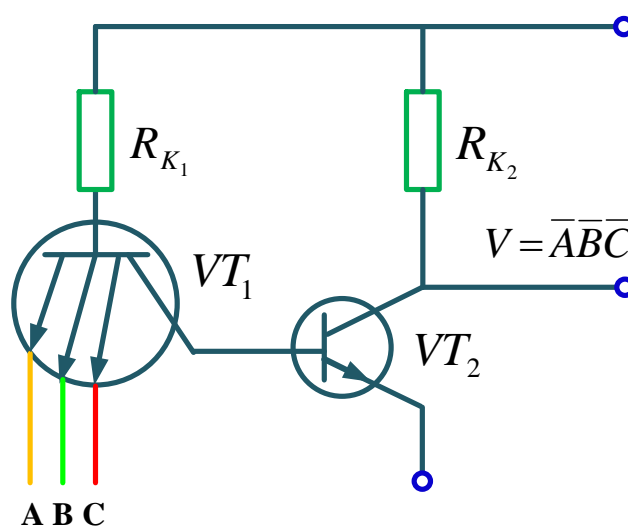


8.9-rasm.

Shu uch asosiy mantiqiy element yordamida har qanday mantiqiy funksiyalarni bajarish mumkin. Bu elementlar eng oddiy elementlar hisoblanadi. Shuningdek, kombinasiyalangan, ya`ni 2 va undan ortiq operatsiya bajara oladigan (masalan YOKI-YO`Q, HAM-YO`Q va boshqalar) elementlar ham bor.

Hozirgi vaqtda EHM larda mantiqiy elementlar sistemasidan keng foydalaniladi. Funktsional to`liq bo`lgan mantiqiy elementlar to`plami mantiqiy elementlar sistemasi deb ataladi. Bu to`plamdagi elementlar umumiy empirik, konstruktiv va texnologik parametrlarga egadir. Ularning axbootni tasvirlash usuli ham bir xil bo`ladi.

Qanday elementlardan hosil qilinganligiga qarab mantiqiy elementlar rezistor-tranzistorli mantiq (RTM), diod-tranzistorli mantiq (DTM), tranzistor-tranzistorli mantiq (TTM) va MOYA (metall,



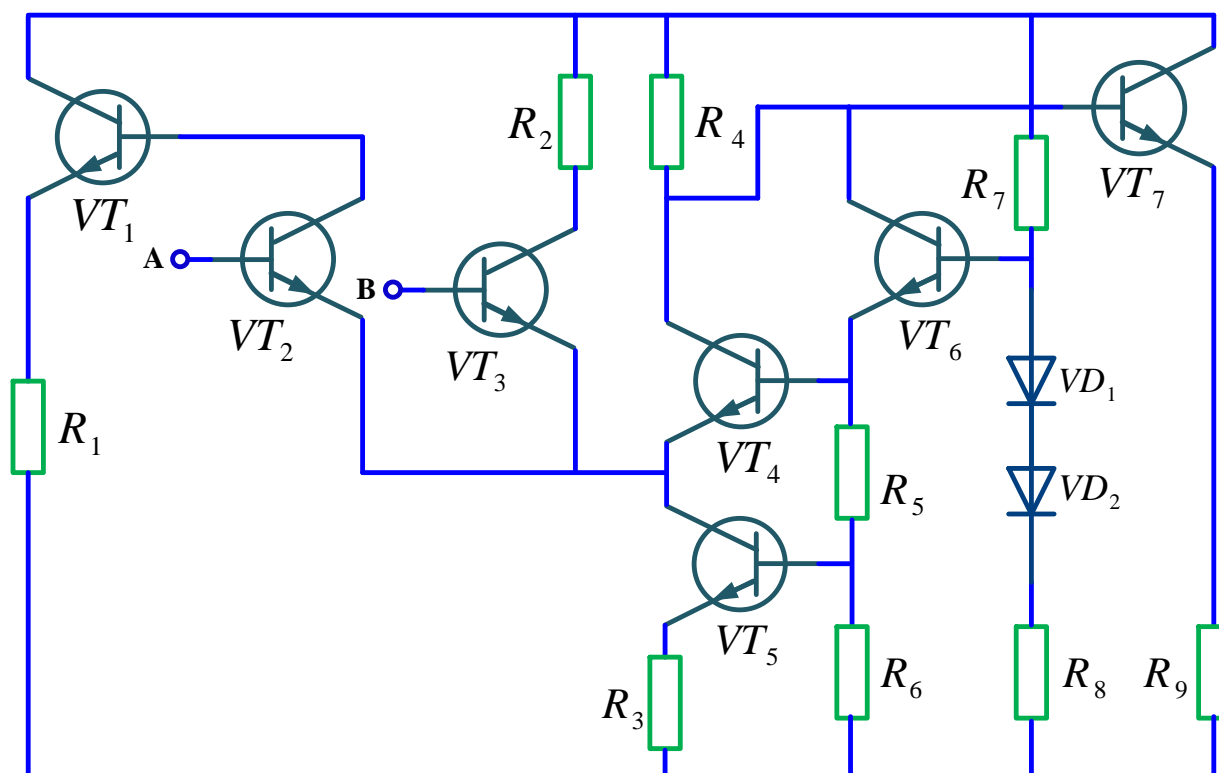
8.10-rasm.

oksid, yarim o`tkazgich)-tranzistorli mantiq (TM) larga bo`linadi. 8.10-rasmda ko`rsatilgan TTM elementning sxemasini ko`rib chiqamiz. Bu element HAM-YO`Q operatsiyasini bajaradi.

8.10-rasmda ko'p emitterli tranzistor asosida qurilgan TTM elementning sxemasi ko'rsatilgan. Sxema ko'p emitterli  $VT_1$  tranzistor va  $VT_2$  tranzistordan iborat.  $VT_1$  tranzistorning A, B, C kirishlariga 0 yoki 1 qiymatga ega bo'lgan signallar beriladi. «0» deb to'yinish rejimida ishlayotgan tranzistorning  $U_{KE}$  kuchlanishiga teng bo'lgan kuchlanish qiymati tushuniladi. Agar sxemaning biror kirishiga «0» signal berilsa, baza manba kuchlanishi  $E_K$  bilan rezistor  $R_{B_1}$  orqali ulangani uchun tranzistor  $VT_1$  to'yinish rejimiga bo'di. Bunda  $I_{K_1}$  kollektor toki katta emas va  $I_{B_2}$  tokiga tengdir.  $U_{BE_2}$  kuchlanish esa  $VT_2$  tranzistorni ishga tushirish uchun yetarli emas. Elementning chiqishidagi kuchlanish  $E_K$  ga, ya'ni chiqishdagi signal «1» ga tengdir. Agar kirish zanjirlarining barchasiga «1» ga to'g'ri keladigan signal, ya'ni  $E_K$  teng bo'lgan kuchlanish berilsa,  $VT_1$  tranzistor inversion rejimda ishlay boshlaydi. Tranzistordagi kollektor va emitterning vazifalari o'zaro o'rin almashadi.

Inversion rejimda tranzistorning uzatish koeffitsienti va emitter tokining vazifasini bajaruvchi kollektor toki kichikdir. Rezistor  $R_{B_1}$  va  $VT_2$  tranzistorning emitter o'tishidan o'tayotgan tok  $VT_2$  tranzistorni to'yinish rejimiga o'tkazadi. Chiqish kuchlanishi tranzistor  $VT_2$  ning  $U_{KE}$  kuchlanishiga, ya'ni chiqishdagi signal «0» ga tengdir. TTM tipidagi sxemalar o'rtacha tezkorlikka egadir. Ulardagi signadning chiqish vaqti 10-30 ns ga teng. TTM tipidagi xar bir elementning chiqishiga 10 tadan mantiqiy sxema ulash mumkin. TTM elementlari mikrosxemalarda bajarilgan bo'lib, belgilanishdagi  $LI$  xarflar uning funksional vazifasini mantiqiy «HAM» ga olib keladi. Bu elementlar manba kuchlanishi 5 vol't bo'lganda ishlaydi. Ular uchun «1» ning qiymati  $U^1 \approx 2,4 V$ ; «0» ning qiymati  $U^0 \approx 0,4 V$ .

Emitter bog'lanishli mantiqiy (EBM) elementlarning ishlash printsipi kirish kuchlanishi biroz o'zgarganda toklarning qayta ulanishiga asoslanadi. «YOKI» yoki «YOKI-YO'Q» operatsiyasini bajaruvchi EBM tipidagi elementning ishlashini ko'rib chiqamiz (8.11-rasm).



**8.11-rasm.**

Kirish signallari A va B tranzistorlar  $VT_2$  va  $VT_3$  ning kirishiga beriladi. Tranzistorlar  $VT_2$ ,  $VT_3$  va  $VT_4$  differensial kuchaytirgichni hosil qiladi va sxemaning kirish qarshiligi katta bo'lishini ta'minlaydi. Tranzistor  $VT_5$  tokning barqaror bo'lishini ta'minlaydi. Tranzistor  $VT_4$  ning bazasidagi o'zgarmas tayanch kuchlanishni tranzistor  $VT_6$  va qarshiliklar ( $R_7, R_8$ ) dagi bo'lgichlarni hosil qiladi. Diodlar  $VD_1$  va  $VD_2$  tayanch kuchlanishning temperaturaviy barqarorligini ta'minlab beradi. Tranzistorlar  $VT_1$  va  $VT_7$  chiqish qarshiliklarining kichik bo'lishini ta'minlaydi. Agar tranzistor  $VT_5$  ning kirish zanjiriga «0» ga mos tushadigan signal berilsa,  $VT_2$  va  $VT_3$  tranzistorlar uzish rejimida bo'lib,  $VT_5$  tranzistorning toki  $VT_4$  tranzistor orqali o'tadi. Bunda kollektor zanjiri uchun yuklama bo'lgan  $R_4$  rezistorda kuchlanish hosil bo'ladi. Bu kuchlanish emitterli takrorlagich bo'lmish  $VT_7$  tranzistor yordamida takrorlanadi.

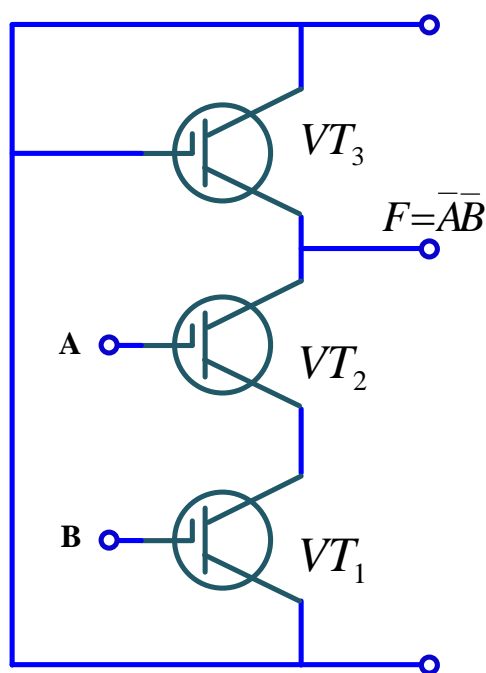
Agar kirish zanjiriga «1» signali berilsa,  $VT_4$  tranzistorning toki  $VT_2$  va  $VT_3$  tranzistorlar zanjiriga qayta ulanadi. Tranzistor  $VT_4$  esa yopiladi,  $R_2$  qarshilikda hosil bo'lgan kuchlanish  $VT_1$  emitterli takrorlagich orqali chiqishga beriladi.



Sxema YOKI-YO'Q operatsiyasini bajaradi. EBM tipidagi element yuqori tezkorlikka egadir. Ushbu elementning ikki chiqishi (to'g'ri va inversion) bo'lib, ularga 25-30 ta element ulash mumkin. Biroq bu elementlarga xalaqitlar ta'siri kuchli bo'ladi. Undan tashqari, iste'mol qiladigan quvvati xam kata. EBM tipidagi elementlarda signalning kechikish vaqti 1-5 NS (nanosekund). Shu sababdan ular, asosan, tezkor sistemalarda keng qo'llaniladi.

MOP tranzistorlar asosida qurilgan integral sxemalar TTM va EBM elementlarga qaraganda sekinroq ishlaydi. Signalning kechikish vaqti 50-100 ns. Bu elementlar iste'mol qiladigan quvvatning nisbatan kichikligi, chiqishiga ulanadigan elementlar sonining ko'pligi bilan farq qiladi. Shuningdek, mikrosxemada egallaydigan yuzasi ham kichikdir. HAM-YO'Q operatsiyasini

bajaruvchi MOYA elementining ishlashini ko'rib chiqamiz.



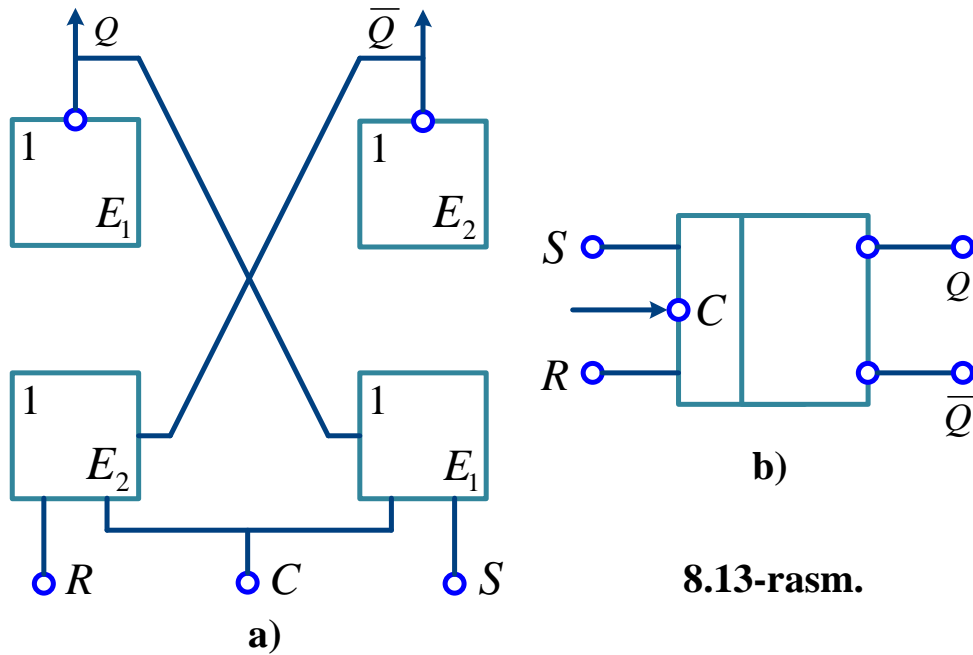
**8.12-rasm.**

8.12-rasmda bir qutbli tranzistorlar asosida qurilgan mantiqiy sxemasi ko'rsatilgan. Sxema uchta bir qutbli tranzistordan iborat.  $VT_1$  va  $VT_2$  tranzistordarga kirish signali beriladi. Tranzistor  $VT_3$  esa iste'molchi tranzistordir. Kirish signallari ya'ni  $VT_1$  va  $VT_2$  tranzistorlarga beriladi. Agar ikkala kirishga,  $VT_1$  va  $VT_2$  larning tambasiga (zatvoriga) «1» signali (tambalar potentsiali manfiy) berilsa,  $VT_1$  va  $VT_2$  tranzistorlar ochiq,  $VT_3$  tranzistorda kuchlanish pasayadi, chiqishda

esa, «0» signal bo'ladi. «0» signalning qiymati  $U_u$  kuchlanishga yaqin bo'lishi uchun  $VT_1$  va  $VT_2$  ochiq tranzistorlarning natijaviy qarshiligi  $VT_3$  tranzistorning qarshiligidan ancha kichik bo'lishi kerak. Sxemaning chiqishiga 10 tadan 20 tagacha element ulash mumkin.

### 8.3. Elektron hisoblash mashinalarining ayrim elementlari

Trigger ikki barqaror holatga ega bo'la oladigan impul'sli rejimda ishlovchi qurilmadir. Trigger bir barqaror holatdan ikkinchisiga tashqi kuchlanishlar ta'sirida o'tadi. Tashqi ta'sir etuvchi kuchlanishlar uzilgandan so'ng trigger uzoq muddat (yangi signal kelguncha) ichida shu barqaror xolatini saqlab qoladi. Yangi signal kelganida trigger Yangi barqaror holatga o'tadi. Triggerlar boshqarilish turiga qarab asinxron va taktli xillarga bo'linadi. Vazifasiga qarab triggerlarni  $R - S$ ,  $D, T, T - K$  turlarga bo'lish mumkin. Triggerlar asosan HAM-YO'Q yoki YoKI-YO'Q mantiqiy elementlardan iborat bo'ladi. YoKI-YO'Q mantiqiy elementlardan qurilgan taktli R-S triggerning ishlashini ko'rib chiqamiz (8.13-rasm).

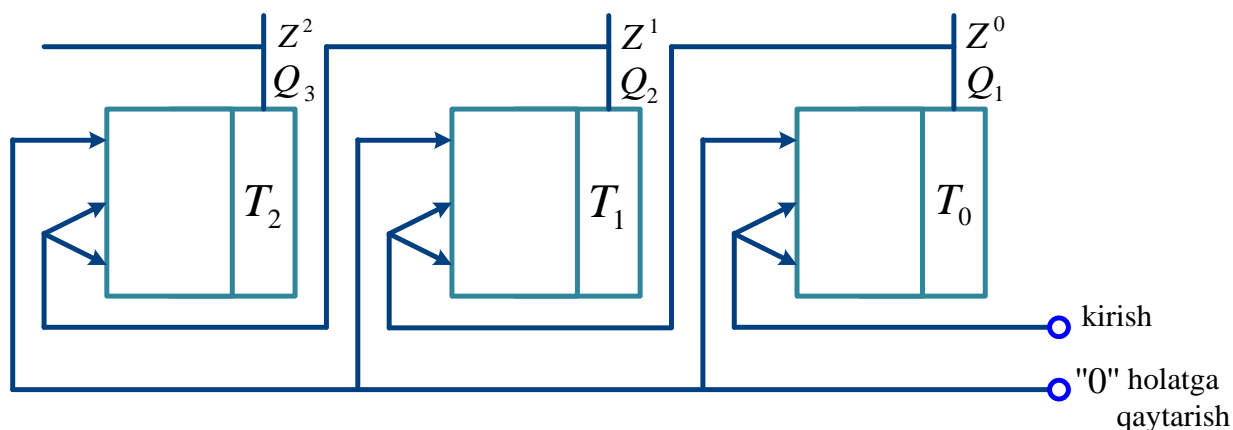


8.13-rasm.

Trigger uchta kirish  $R, S, Q (\bar{Q})$  va ikkita chiqish  $Q, \bar{Q}$  ga ega. Kirishga «1», «0» va hisoblash (takt) impul'si beriladi, chiqishdan «nol» yoki «bir» ni olish mumkin. Agar triggerning  $S$  kirishiga «1»  $R$  kirishiga «0» bersak, noninversion chiqish  $Q$  da «1» signali hosil bo'ladi va bu holat teskari bog'lanish tufayli uzoq muddat saqlanib qoladi. Triggerni bir holatdan ikkinchi holatga taktli kirishiga berilgan signal yordamida xam o'tkazish mumkin.

Integral mikrosxemalarda trigger va uning kirishlarini boshqaruvchi sxema korpusga joylashtirilgan yagona kremniy plastinkasida bajariladi va  $TT, TR, TL$  harflar bilan belgilanadi.

Triggerlar asosida impul's hisoblagich kirish signallarni hisoblab beradi. Hisoblagichkirish signallarni hisoblab beradi. Hisoblagichlar asosida tuzilgan jamlovchi hisoblagichning ishlashini ko'rib chiqamiz (8.14-rasm).



**8.14-rasm.**

Boshlang'ich holatda barcha triggerlar «0» holatda bo'ladi. Trigger  $T_0$  ning kirishiga impul's beriladi va trigger «1» holatiga o'tadi. Bunda triggerlar  $T_1$  va  $T_2$  dastlabki holatda bo'ladi. Keyingi impul'sdan so'ng trigger  $T_0$  ning chiqishida trigger  $T_1$  ga impul's uzatiladi, trigger  $T_0$  «0» holatga o'tadi. Uchinchi impul's  $T_0$  triggerini «1» holatga o'tkazadi, trigger  $T_1$  «1» holatda, trigger  $T_3$  «0» holatda bo'ladi. To'rtinchi impul's trigger  $T_0$  ni «0» holatga o'tkazadi, trigger  $T_1$  ning chiqishdan impul's trigger  $T_2$  ga o'tib, uni «1» holatga o'tkazadi va hokazo.

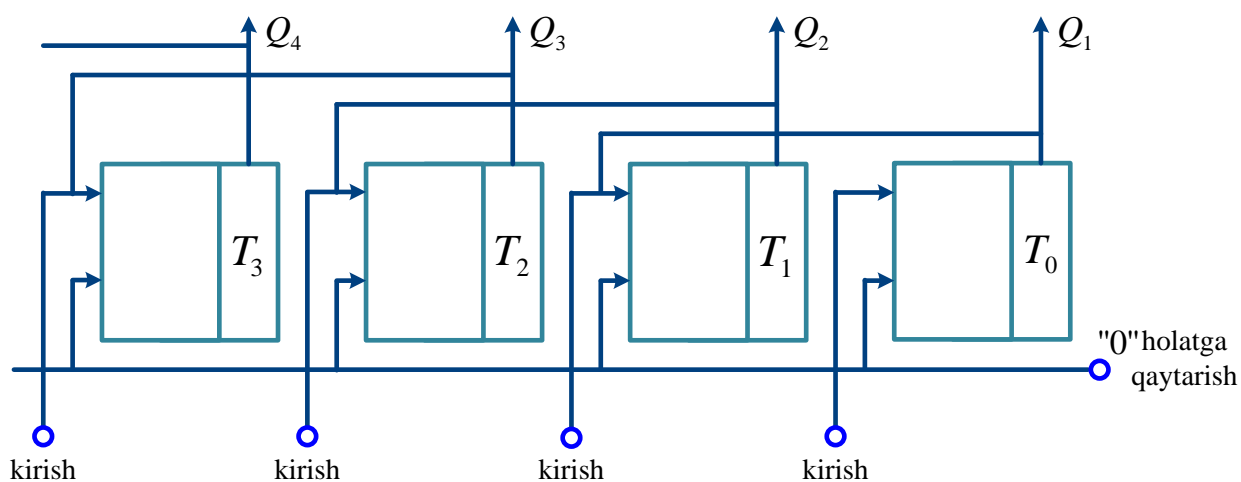
Triggerlar holatini 8.1-jadval ko'rinishida ifodalash mumkin.

8.1-jadval

Impulslarning tartibi №	Triggerlarning holati		
	$T_1$	$T_2$	$T_0$
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

Demak, triggerlarning holati ikkili sanoq sistemasidagi impul'slar sonining yozilishiga mos tushadi. Triggerlar soniga qarab hisoblanishi mumkin bo'lgan impul'slar soni aniqlanadi. Agar triggerlar soni  $n = 3$  bo'lsa, impul'slar  $N = 2^n = 2^3 = 8$ . Hisoblagichlar (schetchiklar) 4, 8, 12 razryadli bo'ladi. Ikkili sanoq sistemada ishlaydigan hisoblagichlar ham bor. Ular ikkili sanoq sistemasida ishlaydigan hisoblagichlardan triggerlar soni invertorlovchi chiqishi va kirish zanjiri orasida teskari bog'lanishning mavjudligi bilan farq qiladi.

Registr deb axborotni yozib oluvchi, saqlovchi va chiqarib beruvchi qurilmaga aytiladi. Registrlar asosan ikkita raqamni xotiraga olish uchun ishlatiladi. Bir son yozilganidan keyin ikkinchi son yozilmaguncha registr birinchi sonni eslab turadi. Registrlar ham triggerlar asosida quriladi (8.15-rasm).

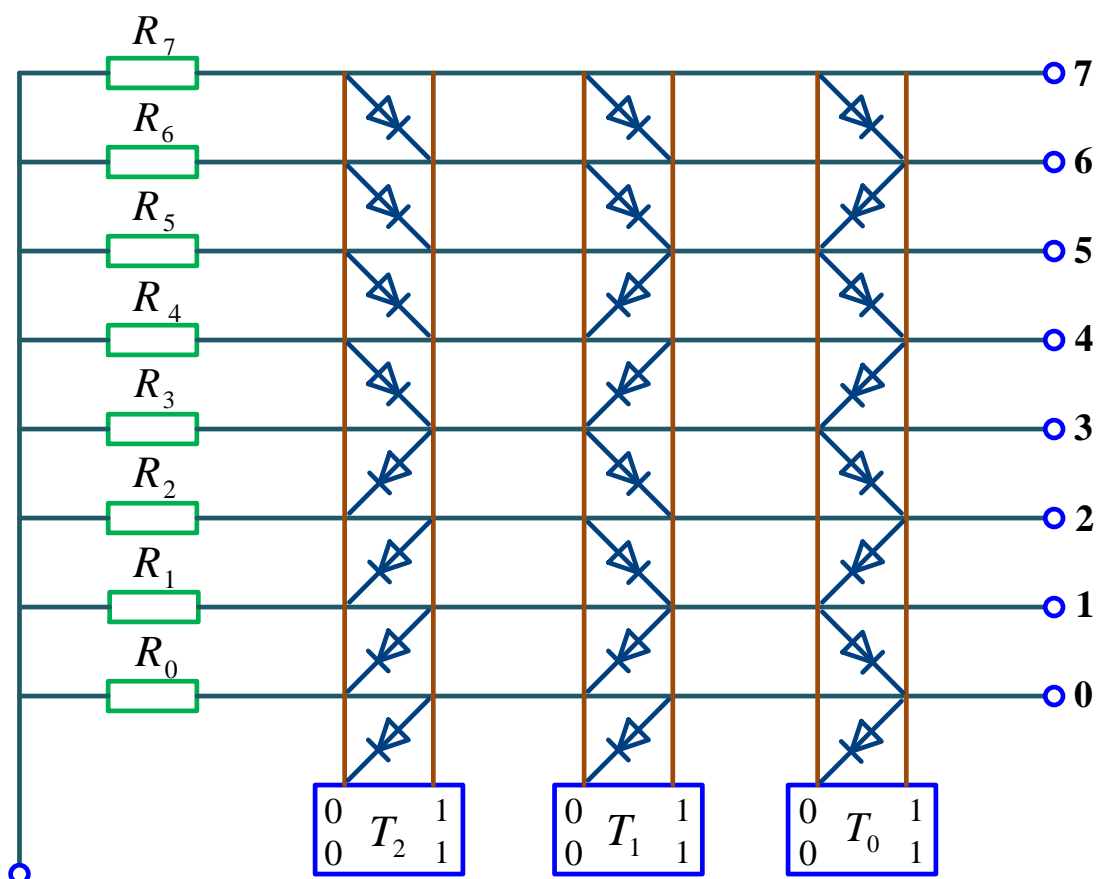


**8.15-rasm.**

Ikkili sonning har bir razryadi o'z triggeriga yoziladi. Triggerlar soni registrning razryadlarini aniqlab beradi. To'rt razryadli suruvchi registrning ishlashini ko'rib chiqamiz (8.15-rasm). Masalan, registrga 3 raqamini yozish kerak bo'sin. Bu raqam ikkili sanoq sistemasida 0011 deb yoziladi. Dastlabki holatda hamma triggerlar «0» holatda bo'ladi. Kirish zanjiriga 0011 raqamiga mos keluvchi impul'slar seriyasi beriladi. «Suruvchi» kirishiga suuvchi impul'slar beriladi. Suruvchi impul'slar kichik razryadli triggyerdan yuqori razryadli triggerga impul's o'tishi uchun ruxsat beradi va kichik razryadli triggerni yana «0» holatga o'tkazadi. Triggerlar holati 3 raqami yozilganida quyidagicha ifodalanadi (8.2-jadval).

Suruvchi impulslar soni	Triggerlarning holati			
	$T_3$	$T_2$	$T_1$	$T_0$
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1

Kerak bo'lgan son yozilgandan keyin suruvchi impulslarni berish to'xtatiladi va axborot yozilib qoladi. Registr axborotni ketma-ket qabul qilib oladi. Mazkur axborotni triggerdan ketma-ket va parallel holda chiqarib olish mumkin. Axborot parallel holda chiqarib olinganida u hamma triggerlarning chiqishidan birvarakayiga olinadi. Registrda axborotni o'ngga yoki chapga surib, ikkili sanoq sistemasida yozilgan raqamni 2 ga bo'lish yoki ko'paytirish mumkin.



8.16-rasm.

Bundan tashqari, registrlarda ikkili kodda yozilgan ikkita soni ko'paytirish yoki bo'lish mumkin. Kupaytirish operatsiyasi razryadlar bo'yicha surilgan sonlarni qo'shish operatsiyasi bilan almashtiriladi. Bo'lish operatsiyasi esa ayirish operatsiyasi bilan almashtiriladi.

Deshifratör turli kodli axborotni ajrata oluvchi qurilmaga aytiladi. Uch elementli kodni ajrata oladigan deshifratörning tuzilish prinsipini ko'rib chiqamiz. Kirishadgi zanjirlar soni  $n=3$  bo'lgani uchun chiqishda  $N=2^3=8$  shina bo'lishi kerak. Ulovchi liniyalar to'plami shina deb ataladi. Axborotni yozib olib, saqlash uchun uchta trigger va bir nechta «HAM» elementlari kerak (8.16-rasm). Triggerlarning har bir chiqish shinasini diod va rezistorlardan tashkil topgan «HAM» elementining chiqish shinalari o'zining kirish shinalari bilan kesishib o'tib, matrisa shaklida bo'ladi va bunday deshifratör diodli-matrisa deb ataladi. Triggerning kirish zanjiriga 4 raqami (100) berilsa, faqat to'rtinchi chiqish shinasini  $u=E$  kuchlanishni olish mumkin. 7 signali (111) berilganda ettinchi shinadagi kuchlanish  $E$  ga teng bo'ladi va hokazo. Deshifratör tezkor bo'lib, asosiy kamchiligi nisbatan ko'p element talab etishdadir.

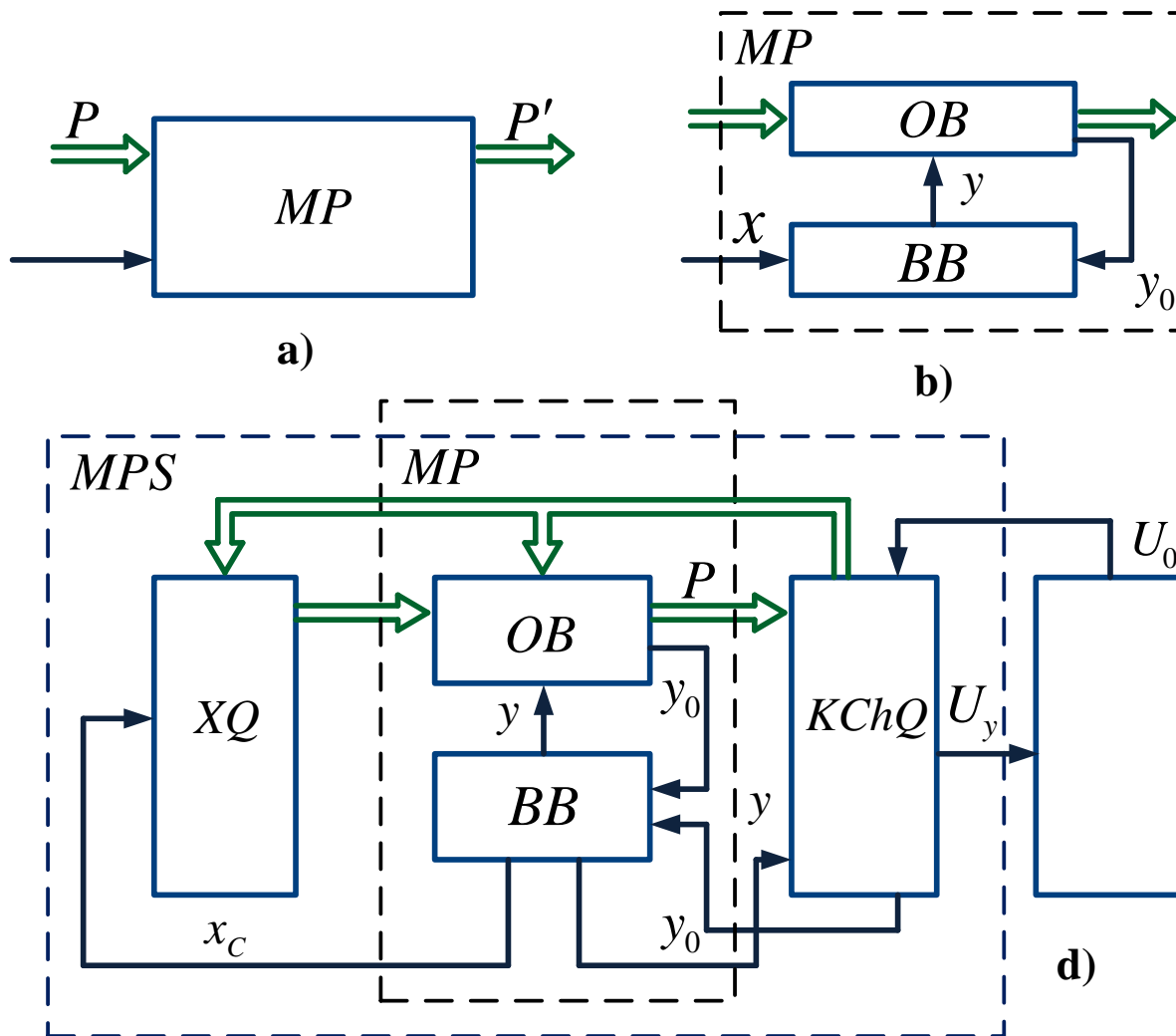
#### 8.4. Mikroprosessorlar

Hozirgi zamon ilm-texnika taraqqiyoti KIS-mikroprosessorlarning ishlab chiqilishi bilan bog'liqdir. Axborot ustida arifmetik va mantiqiy operatsiyalarning tugallangan ketma-ketligini bajaradigan qurilma mikroprosessor deb ataladi. Shuningdek, mikroprosessor

axborotni xotirada saqlab, uni tashqi qurilma bilan almashib turadi. Uning vazifasi EHM prosessorining vazifasiga o'xshaydi, lekin imkoniyatlari unikidan kamroq.

Mikroprosessor ( $MP$ ) ning funksional tuzilishi va ishlash bilan tanishib chiqamiz (8.17-rasm).  $MP$  ning kirishiga ma'lumotlar massivi  $P$  berilib, bu massivga ma'lum ( $x$ ) programma asosida ishlov beriladi va chiqishda  $P'D'$  ma'lumotlar massivi olinadi.  $P$  massivga ishlov berish uchun  $MP$  ga ikkita asosiy qism: operatsiyalar bloki ( $OB$ ) va boshqaruv bloki ( $BB$ ) kiritiladi.  $OB$  berilgan

ma'lumotlar ustida turli operatsiyalar (qo'shish, ayirish, ko'paytirish va hokazo) ni bajaradi. *OB* ning to'g'ri ishlashini *BB* ta'minlab turadi. Buning uchun *BB* da  $x$  programmaning bajarilish ko'rsatmalari boshqaruvchi signal  $y$  ga aylantiradi. *OB* ning holatini tekshirish uchun  $y_0$  signali hosil bo'lib, u *BB* tomonidan kuzatiladi.



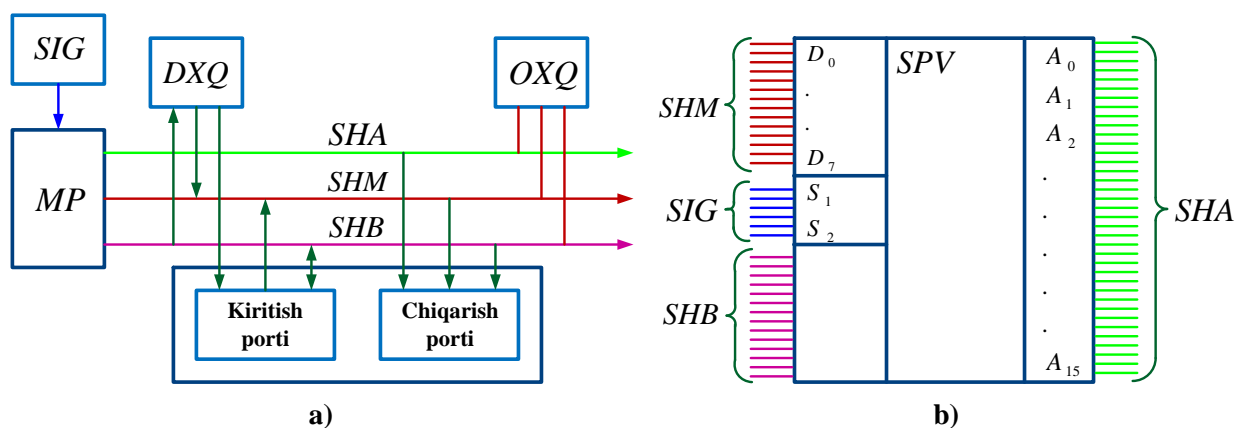
**8.17-rasm.**

*MP* ning asosiy vazifasi biror ob'ektni (masalan, displey, shaxsiy EHM klaviaturasi, dastur asosida boshqariladigan dastgoxlar va boshqalarni) boshqarishdan iborat bo'lib, boshqarish ob'ekti (*BO*) bilan bog'lanish uchun kiritish–chiqarish qurilmasi (*KChQ*) ga ega. Dastur va dastlabki ma'lumotlar xotira qurilmasi (*XQ*) da saqlanadi. *BO* dan *KChQ* ga uzluksiz signal beriladi. *KChQ* da signal raqamli axborotga aylantiriladi va *BB* ga uzatiladi. Xotirlovchi

qurilmasi, mikroprosessor va kiritish-chiqarish qurilmasidan iborat sistemada axborot *KChQ* dan *MP* ga va *XQ* ga berilishi mumkin.

Bunda axborot almashuvi mavjud bo'lib, u saqlanib qolishi ham mumkin. MPS dagi barcha blok va qurilmalarning sozlanishini bir xil chastotalar generatori ishlab chiqaradigan sinxronlash impul'slari ta'minlab beradi.

Dastur asosida ishlaydigan qurilmalarning barchasini (bir kristalli mikrokontrolliyerdan tortib, mikro *EHM* gacha) 8.18- a rasmdagi struktura sxemasi tarzida ifodalash mumkin. Bunda *SIG*-standard impulslar generatori; *DXQ*-doimiy xotira qurilmasi; *O*-operativ xotira qurilmasi; *ASh*-adreslar shinasini; *MSh*-ma'lumotlar shinasini; *BSh*-boshqaruv shinasini.



**8.18-rasm.**

*MSh* informatsiyani *MP* dan tashqi qurilmalarga va aksincha, tashqi qurimalardan *MP* ga uzatish uchun xizmat qiladi.

*BSh* boshqaruv signallarni uzatish uchun xizmat qiladi.

Shinalardagi liniya (sim) lar soni *MP* ning turiga bog'liq. Masalan, keng tarqalgan mikroprosessor *K 580* da *ASh16* ta adres liniyasi (*AO-A15*), *MSh* da 8 ta ma'lumot liniyasi va *BSh* da 12 boshqaruv liniyasi bor. 8.18-rasmda *K580* mikroprosessoridagi chiqish simlarining sxemasi ko'rsatilgan. Kiritish-chiqarish sxemalarida (ular portlar deb ataladi) axborotni vaqt bo'yicha ketma-ket yoki parallel uzatish mumkin.

*MP*, *XQ* va *KChQ* lar orasida axborot almashuvini ta'minlab beruvchi qo'shimcha qurilmalar va shinalar *EHM* interfeysini tashkil qiladi.



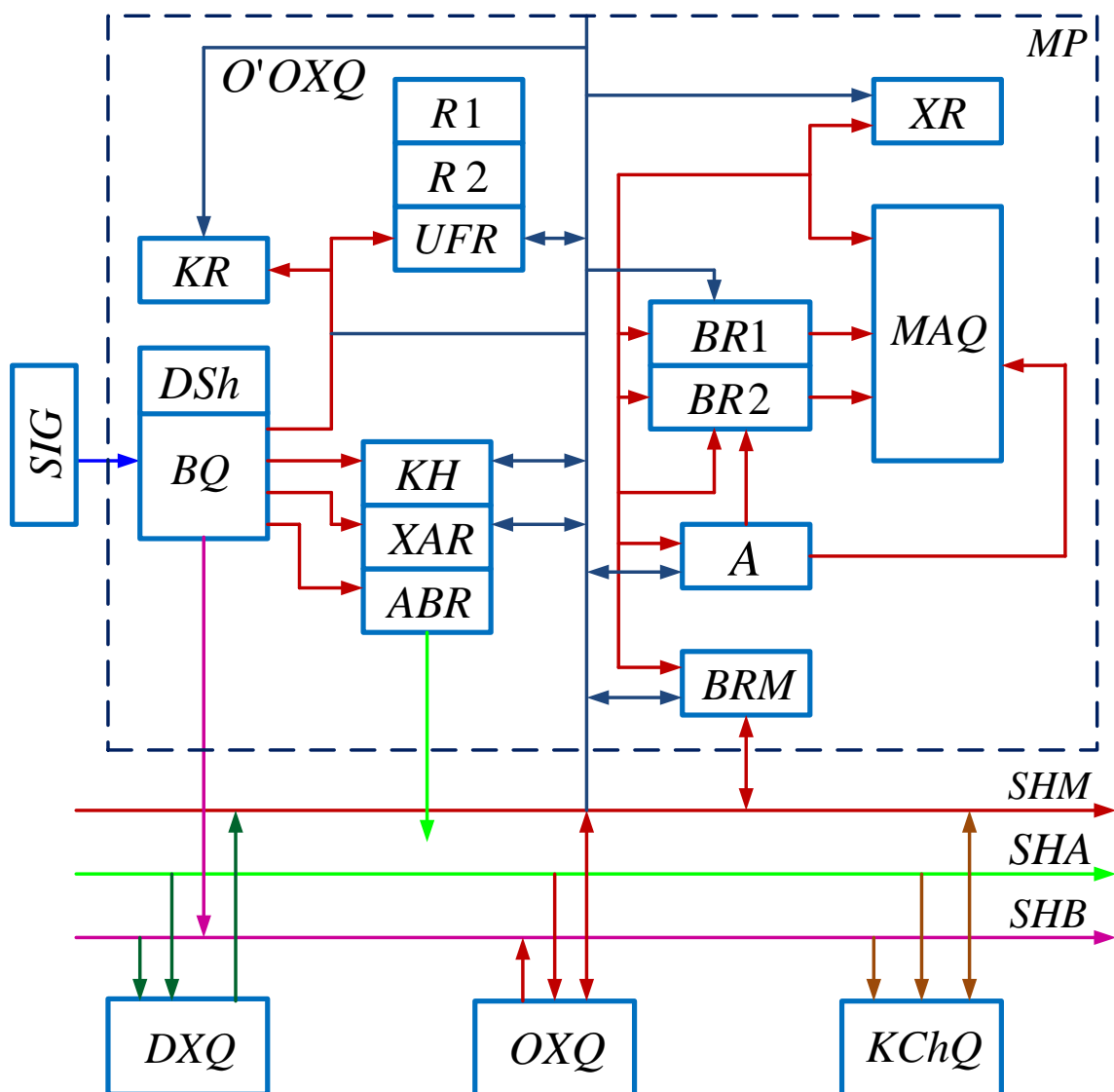
*MP* da ma`lumotlar quyidagi tartibda yoziladi.  $t = t_0$  vaqtda *ASh* ga *MP* ma`lumotlar yozilishi kerak bo`lgan *OXQ* katagining adresini «olib chiqadi».  $\Delta t_1$  vaqtdan so`ng ko`rsatilgan adres bo`yicha *OXQ* ga yozilishi kerak bo`lgan *MP* ma`lumotlari *MSh* ga uzatiladi.  $\Delta t_2$  vaqtdan so`ng *BSh* ga yozish liniyasiga raqam yozishni ruxsat etuvchi signal beriladi.  $\Delta t_3$  vaqt ichida raqam *OXQ* ga yoziladi va yozish liniyasiga taqiqlash signali beriladi. Axborotni o`qish liniyasiga beriladi. *MP* uchta rejim (sinxron, asinxron va xotiraga to`g`ri murojaat etish) da ishlashi mumkin. Sinxron rejimda *MP* ning murojaatlari orasidagi vaqt bir xil va eng kata qiymatga ega. Asinxron rejimda oldingi operatsiya tugashi bilan ma`lumot almashuvi davom etadi. Xotiraga to`g`ri murojaat etish rejimi bajarilayotgan operatsiyani tugatmasidan to`xtatib, xotiraga murojaat etish imkoniyatini beradi.

*MP* ning struktura sxemasini (8.19-rasm) batafsilroq ko`rib chiqamiz. *MP* ning tarkibiga uch gurux registrlar kiradi. Akkumulyator *A*, bufer registrlar *BR1*, *BR2*, *BRM* va alomatlar registri *AR* dan iborat bo`lgan ma`lumotlarga ishlov berish jarayonini ta`minlab beruvchi registrlardan iborat gurux ko`rsatmalar registri *KR*, ko`rsatmalar hisoblagichi *KH*, xotira adresi registri *XAR*, adresning bufer registri *ABR* dan iborat bo`lgan ma`lumotlarga ishlov berish jarayonini boshqaruvchi guruh va umumiy foydalanishdagi registrlar (*UFR*) guruxi.

Operatsiyalar bloki (*OB*) ning asosini mantiqiy arifmetik qurilma (*MAQ*) hosil qiladi. *MAQ* ikki raqamga ishlov beradi. Bu raqamlarning biri *BR1* registrda ikkinchisi *A* akkumlyatorida joylashadi. Ishlov natijasi akkumlyatorga kiritiladi. *MP* ning ishnochliligini *BR2* registr ta`minlaydi. Akkumlyatoridagi raqam operatsiya boshlanishidan oldin *BR2* ga o`tkaziladi. Raqamlar ustidagi operatsiyalar natijasi *AR* tomonidan baholanadi. *BRM* va *BRA* registrlar kuchaytirgichlar bo`lib, *ASh* va *MSh* shinalar iste`molchilarini *MP* bilan moslashtirish uchun xizmat qiladilar.

*BB* da boshqaruv signallari ishlab chiqariladi. Ko`rsatmalar registridan deshifратор (*DSh*) ga ko`rsatmalar berilib, boshqaruv signallari, ahamiyatini ochadi.

$Y = [(X_1 + X_2) \cdot X_3 + X_1] \cdot X_1$  mantiqiy operatsiyani bajarish misolida *MP* ning ishlashini ko'rib chiqamiz.



8.19-rasm.

(+) mantiqiy qo'shishni, (·) ko'paytirishini bildiradi. Operatsiyani bajarish uchun *YoKI* va *HAM* elementlari kerak bo'ladi. Operatsiya bajarilishidan oldin  $X_1 \rightarrow P_1$ ,  $X_2 \rightarrow P_2$ ,  $X_3 \rightarrow P_3$  ga kiritiladi. Dastur *AXK* ga yoziladi. Uni aniqlash uchun quyidagi dastur bajarilishi kerak:

$P_r A R_1$ ;  $MQA$  va  $R_2$ ;  $MKA$  va  $R_3$ ;  $MQA$  va  $R_1$ ;

$MKA$  va  $R_3$ ; ChiqA  $KChQ_i$  ga.

Bu yerda  $P_R$  - registrdagi ma`lumotni akkumlyatorga uzatishni bildiradi; MQ- mantiqiy qo`shish; MK- mantiqiy ko`paytirish. ChiqA KChQ ga  $i$  -nomyerdagi chiqishga akkumlyator ichidagi ma`lumot chiqarilishini ko`rsatadi.

Boshlang`ich holatda KX ga OXQ dagi birinchi ko`rsatma adresi yoziladi. Birinchi ko`rsatma 0 adres bo`yicha yozilgan bo`lsa,  $KX := 0$ . MP ning ishlashiga ruxsat etuvchi signal kelsa, 0 adresdagi ko`rsatma kodi OXQ dan KX ga MSh BRM, Sh zanjir orqali o`tadi. Bu oraliqda registrlar holati quyidagicha bo`ladi:

$$KX := 0; XAP := 0; KX := P_R AR1.$$

Keyingi laxza DSh yordamida ko`rsatma kodi ochilib, BB boshqaruv impul`slarni ishlab chiqadi. Registrlar to`latilgan holatga keladi.

$$KX := KX + 1; XAP := R1; A := R1.$$

Keyingi hisoblagichi 1 ga ortib keyingi ko`rsatma adresini aniqlaydi. XAR ga X sonning adresi beriladi. (R1). Keyint akkumlyator A ga kiritiladi. Shu ikkila oraliq «tanlash-bajarish» mashina siklini hosil qiladi. Bu sikl SIG dan impul`s berilishi bilan boshlanadi. Ikkinchi sikl da registrlar quyidagi holatda bo`ladi.

$$1) KX := 1; XAP := 1; RK := (MQA \vee R2) - \text{«tanlash»};$$

$$2) KX := KX + 1 = 2; XAP := R2; BR1 = R2; BR2 = A$$

$$A := (BR1) \vee (BR2) - \text{bajarish.}$$

Uchinchi sikl

$$KX := 3; XAP := 3; RK := (\text{chiqA-KChQ ga}) - \text{«tanlash»}$$

$$KX := KX + 1 = 4; XAP := KChQ_i; RK := KChQ_i; KChQ := A - \text{«bajarish»}$$

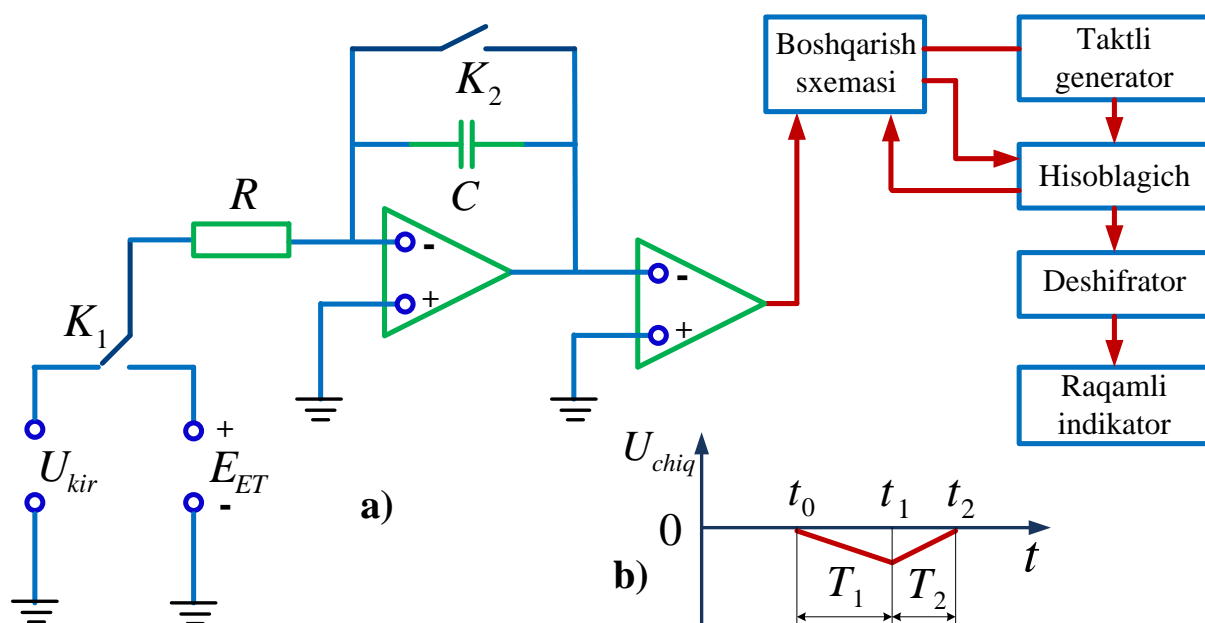
Turtinchi sikl natijasida  $i$  - nomerli chiqarish qurilmasida akkumlyatorning ichidagi axborot paydo bo`ladi.

## 8.5. Elektron vol'tmetr

Analog raqamli o'zgartirgich. Ko'pincha temperatura, bosim va shunga o'xshash boshqa kattaliklarni EHM da ishlov berish uchun raqamli miqdorlarga aylantirish zarur bo'ladi. Bu vazifani analog-raqamli o'zgartirgichlar (ARO') bajaradi.

ARO' lar o'zgartirish tezligiga qarab parallel kodlash ARO' hamda ikki taktli integrallash ARO' va boshqalarga bo'linadi. Agar tezkorlik talab qilinmasa, ikki taktli integrallash ARO' dan foydalaniladi. Bunday ARO' larda kuchlanish vaqt oralig'iga aylantiriladi.

ARO' ning sxemasi 8.20-rasmda keltirilgan.



8.20-rasm.

Boshlang'ich holatda  $K$  kalit yopiq bo'ladi.  $t = t_0$  vaqt ichida kalit  $K_1$  sxemani kirish kuchlanishi  $U_{kir}$  ga ulaydi. Kalit ochiladi va OK (operasion kuchaytirgich) integrator sifatida ishlaydi. Kirish kuchlanishi integrallanib, arrasimon manfiy chiqish kuchlanishiga aylantiriladi.  $t = t_1$  vaqtda kalit  $K$  integratorni  $E_{ET}$  kuchlanishga ulaydi.  $|E_{ET}| < |U_{kir}|$  va  $E_{ET}$  ning ishorasi manfiy bo'lgani uchun chiqishdagi kuchlanish musbat nishabga ega.  $T_2 = t_2 - t_1$  vaqtda nishabning tikligi  $T_1 = t_1 - t_0$  vaqtdagidan kattaroq. Integratorning chiqishidagi kuchlanish  $U_{chiq} = 0$  bo'lganida komparator rejimida ishlovchi ikkinchi operasion

kuchaytirgich chiqish kuchlanishining qutblanishini o'zgartiradi. Bu kuchlanish boshqarish sxemasiga uzatiladi. Bu sxema esa, o'z navbatida  $K_1$  va  $K_2$  kalitlarining holatini boshqaradi, so'ng jarayon davom etadi.

Chiqish kuchlanishini aniqlaymiz:

$$u_{chIQ}(t_1) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} u_{kir} dt$$

$$u_{chIQ}(t_2) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^t u_{kir} dt + \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} E_{ET} dt$$

Integrallashdan so'ng

$$-U_{kir}T_1 + E_{ET}T_2 = 0$$

hosil bo'ladi. Bundan

$$U_{kir} = \frac{E_{ET}T_2}{T_1}$$

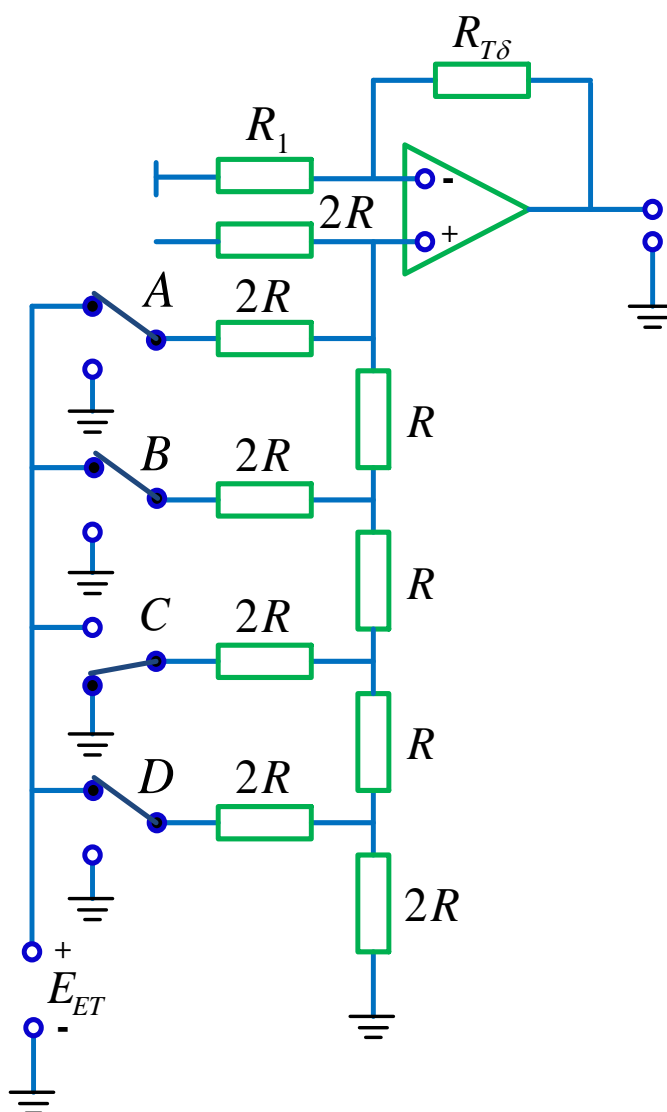
kelib chiqadi.

Agar  $T_1$  va  $E_{ET}$  - o'zgarmas miqdorlar bo'lsa,  $U_{kir} = kT_2$ .  $T_2$  ning qiymatini esa hisoblagichga deshifrador orqali ulangan raqamli indikator ko'rsatadi. Hisoblagichning ishini boshqarish sxemasi rostlaydi. Bundan tashqari, boshqarish sxemasi taktli generator va hisoblagichning ishini shunday rostlaydiki,  $T_1$  vaqt ichida hisoblagich taktli impul'slar xisobining to'la siklini tugallaydi. Vaqt  $t_1$  da hisoblagich «0» holatdadir.  $t_2$  vaqt ichida esa hisoblagichning chiqishida  $T_2$  oraliqqa proporsional bo'lgan  $N_2$  son bo'ladi. Kirish kuchlanishi o'zgaruvchan bo'lgani uchun integrallash natijasida kirish kuchlanishining o'rtacha qiymati olinadi.

Raqam-analogli o'zgartirgich. Raqamli axborotni analogli axborotga aylantirishda raqam-analogli o'zgartirgichlar keng qo'llanadi. Bunday o'zgartirgichlarning turi ko'p bo'lib, ulardan keng tarqalgani operasion kuchaytirgich hamda R-2R tipidagi «narvonsimon» bo'luvchi asosida qurilgan o'zgartirgichdir (8.21-rasm). A, B, S, D kalitlar 2R rezistorlarni yo etalon kuchlanish manbaiga, yo nol` potentsialga (yerga) ulaydi.

Agar ikkili sonning mos razryadi 1 ga teng bo'lsa,  $2R$  rezistor etalon kuchlanishga, agar «0» ga teng bo'lsa nol` potensialga ulanadi. Masalan, agar o'zgartirgichning kirish zanjiriga 1101 signali berilsa,  $A, B, D$  kalitlar  $E_{ET}$  kuchlanishga ulanadi,  $C$  kalit esa «yer» ga ulanadi.

Operasion kuchaytirgichning to'g'ri kirishiga  $\frac{E_{ET}}{3} + \frac{E_{ET}}{6} + \frac{E_{ET}}{24}$  kuchlanish beriladi, ya'ni  $B$  kalitning  $E_{ET}$  kuchlanishga ulanish  $A$  kalitning ulanishidan 2 marta,  $C$  kalitning ulanishidan 4 marta,  $D$  kalitning ulanishidan 8 marta kichik kuchlanishni xosil qiladi. Chiqish kuchlanishi o'zgartirilishi kerak bo'lgan ikkili kodga to'g'ri proposionaldir.



8.21-rasm.

Keltirilgan misoldagi 1101 kodi 13 songa to'g'ri keladi.

$$u_{chiq} = \frac{E_{ET}}{24} (1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0) \frac{E_{ET} \cdot 13}{24}$$

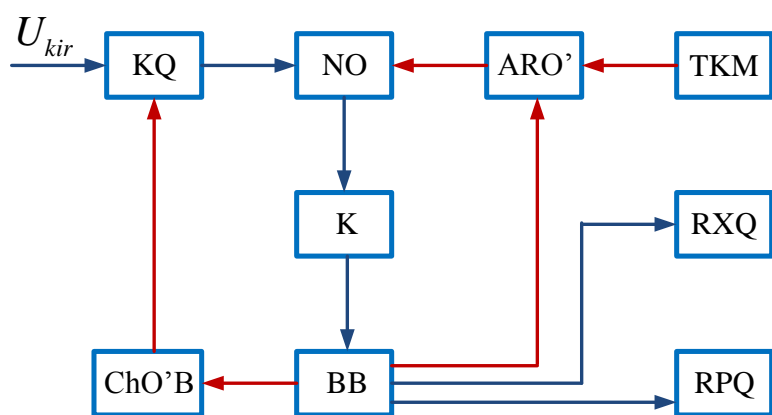
Demak, chiqish kuchlanishi 13 ga proporsionaldir.

Umuman,

$$u_{chiq} = \frac{E \cdot R}{R_{\Sigma}} \cdot X,$$

bu yerda  $X$  – berilgan kod.

Elektron vol'tmetrlar o'zgarvas va turli chastotadagi kuchlanishlarni ayrim hollarda qarshilikni ulash uchun ishlatiladi. Hozirgi paytda kod-impul'sga o'zgartgichli raqamli vol'tmetrlar keng qo'llaniladi.



**8.22-rasm.**

8.22-rasmda elektron vol'tmetrning struktura sxemasi keltirilgan. O'lchanayotgan kuchlanish  $u_{kir}$  kirish qurilmasiga beriladi. Kirish qurilmasining chiqishidan, kirish kuchlanishining qiymatidan qat'iy nazar,

ma'lum chegarada o'zgaruvchi (masalan,  $0 \div 1$  V) kuchlanish olinadi. Bu kuchlanish nol' organga (NO) uzatiladi. NO ning ikkinchi kirishiga ARO' dan kuchlanish uzatiladi. ARO' esa tayanch kuchlanish manbai (TKM) dan ta'minlanadi. Normallashtirilgan, o'lchanayotgan va ARO' dan berilayotgan kompensasion kuchlanishlar ayirmasi kuchaytirilib boshqarish bloki (BB) ga uzatiladi. U, o'z navbatida, signalni chegaralarini o'zgartirish bloki (ChO'B) va ARO' ga uzatiladi.

Qurilmada o'lchanayotgan qiymatning miqdoriga qarab o'lchash chegarasini avtomatik ravishda o'zgartirish imkoniyati bor. O'lchanayotgan kuchlanish ta'minlangan chegaraning ichida bo'lganida boshqarish qurilmasi siganlni hisoblash yoki chop etish qurilmasiga uzatiladi.

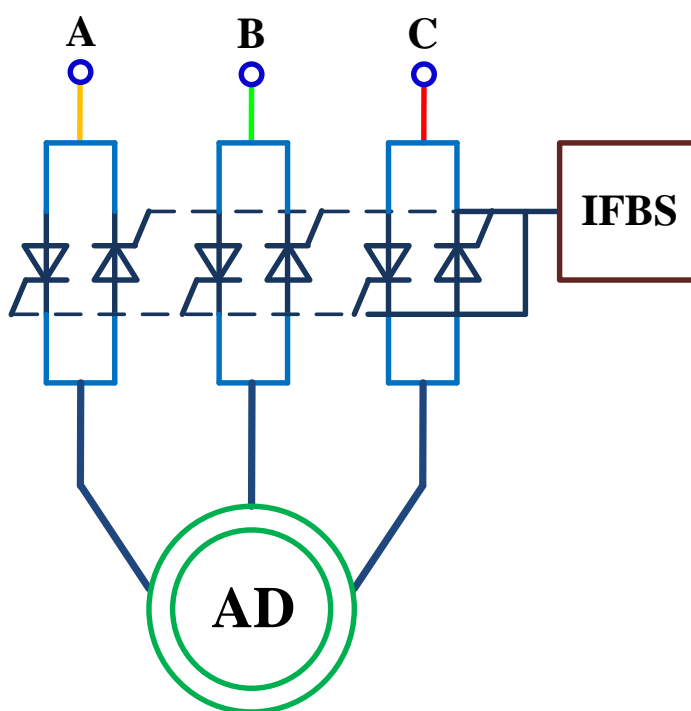
### **8.6. Elektr yuritmani tiristor bilan boshqarish.**

Tiristorli o'zgartgichlarning yuqori FIK ( $0,95 \div 0,97$ ), gabarit o'lchamlarining nisbatan kichikligi va shu kabi boshqa ko'rsatkichlari tufayli tiristorli elektr yuritmalardan keng foydalanish yo'lga qo'yilmoqda. Tiristorlar va tegishli boshqarish sistemalaridan foydalanish ham o'zgaruvchan, ham

o'zgaras tok motorlarini ishga tushirish muammosini hal qiladi hamda kerakli roslash xarakteristikalari va dinamik rejimlarni olish imkonini beradi.

**Tiristorli o'zgaruvchan tok elektr yuritmasi.** Asinxron motorning aylanishlar chastotasini roslash uchun tiristorlar stator zanjiriga ulanadi. Bunda ular yordamida stator cho'lg'amlaridagi sinusoidal kuchlanishning amplitudasini (fazali roslash) yoki chastotasini (chastotali roslash) roslash mumkin. Har ikkala holda ham asinxron motorning aylantirish momenti o'zgaradi. Bu aylanishlar chastotasining o'zgarishiga olib keladi.

Asinxron motorning aylanishlar chastotasini tiristorli kuchlanish o'zgartirgichi (*TKO*) yordamida roslash sxemasi 8.23-rasmda ko'rsatilgan. *TKO*'ning har bir fazasida ikkita qarama-qarshi (parallel) ulangan tiristor bo'lib, o'zgaruvchan tokning har ikkala yarim davrini o'tkazadi. *TKO* yordamida kuchlanishni o'zgartirish uchun impul'sli faza boshqaruvchi sistemasi (*IFBS*)



**8.23-rasm.**

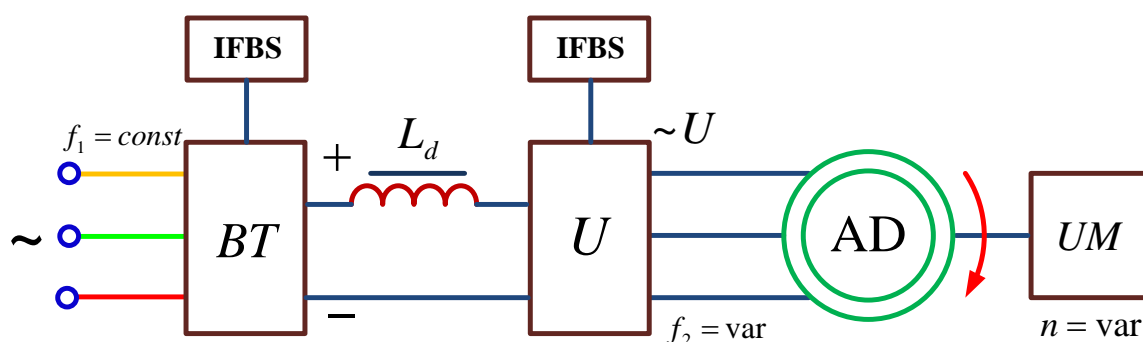
deb ataluvchi qurilma bo'lishi kerak. U ikkita vazifani bajaradi: boshqaruvchi impul'sni vujudga keltiradi va uni tarmoq kuchlanishiga nisbatan faza bo'yicha siljitadi. IFBS tiristorli o'zgartirgichning roslash burchagi  $\alpha$  ni 0 dan 180 elektrik gradusga o'zgartirish imkonini beradi (8.23-rasm).

Boshqaruvchi impul'sni tiristorlarga berish lahzalarini o'zgartirib, asinxron motorning stator cho'lg'amiga berilayotgan kuchlanishni o'zgartirishga va rotorning aylanishlar chastotasini uncha katta bo'lmagan oraliqda o'zgartirishga erishish mumkin. Shu bilan birga, kuchlanishni kamaytirish asinxron motorning ishga tushirish va maksimal momentlarini kamaytirishga olib keladi. Asinxron



motorning aylanishlar chastotasini roslash oralig'ini kengaytirish uchun yopiq yoki chastotali boshqarish sistemalaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Motorlarning aylanishlar chastotasini tarmoq tokining chastotasini o'zgartirib roslash alohida manba bo'lishini taqozo qiladi. U asinxron motorni ta'minlovchi kuchlanish chastotasini sanoat toki chastotasi  $f_1 = 50 \text{ Hz}$  dan oshirish yoki kamaytirishni ravon o'zgaritirish imkonini beradi. Bu roslash usulining kamchiligi ancha murakkab va qimmatbaxo chastota o'zgartgichining talab qilinishidadir. Asinxrok motorning aylanishlar chastotasini chastota o'zgartgich yordamida roslashning blok sxemasi 8.24-rasmda ko'rsatilgan.

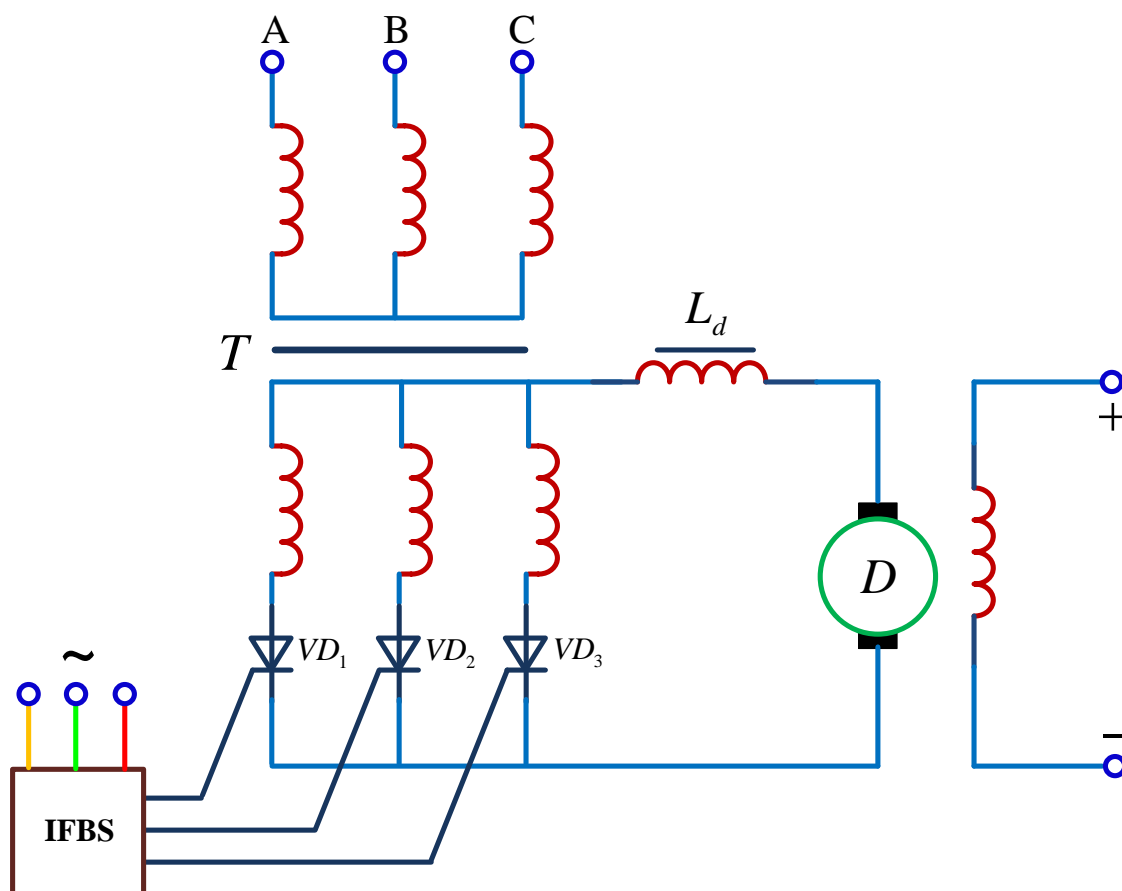


8.24-rasm.

Chastota o'zgartgich boshqariladigan to'g'rilagich BT, u uch fazali va  $f_1 = const$  bo'lgan tarmoq kuchlanishini o'zgarms tok kuchlanishi ( $U$ ) ga aylantiradi, to'g'rilangan kuchlanishning pul'slanishini tekislovchi drosseli  $L_d$  fil'tr, o'zgarms tok kuchlanishini aylantiruvchi chastota  $f_2$  li uch fazali o'zgaruvchan tok kuchlanishiga aylantiruvchi (asinxron motorni ta'minlash uchun) inventar I va IFBS lardan iborat. Eelektron-impul'sli faza boshqarish sistemalari IFBS to'g'rilagich va inventar tiristorlarini boshqarishni amalga oshiradi va qurilmaning kerakli ishlash rejimini ta'minlaydi.

**Tiristorli o'zgarms tok elektr yuritmasi.** O'zgarms tok motorining aylanishlar chastotasini roslash kerak bo'lganda va haddan tashqari katta quvvatli motorlarni ishga tushirishda tiristorli o'zgartgichlar keng ishlatilmoqda. Ular yordamida o'zgarms tok motorlari uch fazali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanishi mumkin.

Tiristorli o`zgartgich – motor (TO`-D) sistemasining sodda sxemalaridan biri 8.25-rasmda ko`rsatilgan.



8.25-rasm.

Tiristorli o`zgartgich IFBS bilan birgalikda uch fazali o`zgaruvchan tarmoq kuchlanishini o`zgaradigan kuchlanishli o`zgarmas tokka aylantiradi. IFBS ning qisqa muddatli boshqaruvchi impulslari tiristor  $VD_1$ ,  $VD_2$ ,  $VD_3$  larni faza kuchlanishlarining musbat yarim davrlarida, fazalarning almashinish tartibiga mos holda ochadi. Faza kuchlanishlarining manfiy yarim davrlarida tabiiy kommutatsiya tufayli tegishli fazalarning tiristorlari yopiladi. Agar boshqaruvchi impulslar tiristorlar  $VD_1$ ,  $VD_2$ ,  $VD_3$  larga tegishli tabiiy ochilish nuqtalarida berilsa, eng katta to`g`rilangan o`rtacha kuchlanishi:

$$U_d = U_{do} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

bu yerda  $\alpha$  -roslash burchagi.

$U_d$  kuchlanish motorning yakoridagi kuchlanishga teng bo`ladi. Shuning uchun TO`-D sistema uchun elektromexanik xarakteristika tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega = U_{d0}(1 + \cos\alpha)/(2\kappa\Phi) - RI/(\kappa\Phi),$$

bu yerda  $R$ -yakor` zanjirining umumiy qarshiligi (u yakor` cho`lg`aming va o`zgartgichning qarshiliklaridan iborat).

Yuqoridagi formuladan ko`rinadiki, rostlash burchagi  $\alpha$  ni o`zgartirish yakorga kelayotgan kuchlanishni o`zgartirish imkonini beradi. Natijada motorning burchak tezligini keng oraliqda o`zgartiradi.  $\alpha$  ning turli qiymatlari uchun TO`-D sistemasining mexanik xarakteristikalarini G-D sistema xarakteristikalariga o`xshash va o`zaro parallel holda bo`ladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Karimov A.S. va boshq. «Elektrotexnika va elektronika asoslari». Darslik.-T.: «O‘qituvchi» 1995.-466 b.
2. Karimov A.S. va boshq. «Elektrotexnika va elektronika asoslari» (masalalar to‘plami va laboratoriya ishlari) .-T.: «O‘qituvchi» 1985.-244 b.
3. John Bird. “Electrical and Electronic Principles and Technology” london and new york, 2014.-455 p.
4. basic electronics tutorials. electronics-tutorials. com» basics electronics. htm, 2015.p.1-8. Elektronika asoslari. Elektrondarslik
5. Qayumov S.N., Burhonhodjayev O.M., va boshq «Elektrotexnika va elektronika asoslari». Darslik.-T.: «O‘qituvchi» 2018.-308 b.
6. Karimov A.S. Elektrotexnikaning nazariy asoslari: Oliy o‘quv yurtlari talabalari uchun o‘quv qo‘llanma. – Toshkent, 2007
7. Charles K. Alexander Matthew N.O. Sadiku “Fundamentals of Electric Circuits” NEW YORK, 2014.-458 p
8. КАРИМОВ А.С. Назарий электротехника. Дарслик. -Т.: Ўқитувчи, 2003. - 422 б.
9. Г.П. Гаев, В.Г. Герасимов, О.М. Князьков и др.; Под ред. проф. В.Г. Герасимова Электротехника и электроника. Учебник для вузов. – в 3-х кН. Энергоатомиздат 1998 г.
10. Скорняков В. А., Фролов В. Я. Электротехника и электроника, Общая электротехника и электроника учебник для вузов. 2021 г. 176 с.
11. Karimov A.S., Ibadullayev M.I., Abdullayev B. Elektrotexnikaning nazariy asoslari. 1-kism. Darslik. “Fan va texnologiyalar” nashiryoti, Toshkent. 2017, -324 b.
12. Alimxodjayev K.T., Abdullayev B., Abidov K.G. Nazariy elektrotexnika. 2-kism. Darslik. “Fan va texnologiyalar” nashiryoti, Toshkent. 2018, -288 b.
13. Amirov S.F., Yoqubov M.S., Jabborov N.G. Elektrotexnikaning nazariy asoslari.I-III qismlar.–Toshkent; 2007.- 426 b.
14. Поляков А. Е, Иванов М.С. Электротехника и электроника учебное пособие для вузов. 2022 г. 352 с.

## MUNDARIJA

KIRISH .....	3
Kalitli soʻzlarning izohli lugʻati.....	5
<b>I BOB. OʻZGARMAS TOK ELEKTR ZANJIRLARI</b>	
1.1. Elektr zanjiri va uning elementlari.....	10
1.2. Elektr zanjirlarining asosiy qonunlari.....	14
1.3. Manba va istemol'chi qismlaridagi kuchlanishlar.....	16
1.4. Elektr tokining quvvati.....	17
1.5. Elektr tokining issiqlik taʼsiri.....	18
1.6. Elektr zanjirida quvvatlar muvozanati.....	19
1.7. Elektr zanjiridagi qarshiliklarni ulash sxemalari.....	22
1.8. Elektr zanjirlarining ish rejimlari.....	26
1.9. Murakkab elektr zanjirlarini hisoblash usullari.....	28
<b>II BOB. BIR FAZALI OʻZGARUVCHAN TOK ELEKTR ZANJIRLARI</b>	
2.1. Oʻzgaruvchan tok turlari.....	46
2.2. Sinusoidal oʻzgaruvchan EYuK ni hosil qilish.....	47
2.3. Sinusoidal oʻzgaruvchan funktsiyani xarakterlovchi kattaliklar.	49
2.4 Sinusoidal oʻzgaruvchan funktsiyaning taʼsir etuvchi va oʻrtacha qiymatlari.....	52
2.5. Sinusoidal oʻzgaruvchan kattaliklarni aylanuvchan vektorlar yordamida ifodalash.....	55
2.6. Aktiv qarshilik, induktiv gʻaltak va kondensator ulangan oʻzgaruvchan tok zanjirlari.....	59
2.7. Aktiv va reaktiv qarshiliklari oʻzaro ketma-ket ulangan zanjir...	63
2.8. Aktiv va reaktiv qarshiliklari oʻzaro parallel ulangan zanjir.....	66
2.9. Oʻzgaruvchan tok zanjiridagi energetik jarayonlar.....	69
2.10. Oʻzgaruvchan tok zanjirining quvvati va quvvat koeffitsienti...	72
2.11. Kuchlanishlar rezonansi.....	74
2.12. Toklar rezonansi.....	76
2.13. Oʻzgaruvchan (sinusoidal) tok zanjirlarini kompleks usulida hisoblash.....	78
2.14. Quvvat kompleksi va sinusoidal tok zanjirlarida quvvatlar balansi.....	81
<b>III BOB. UCH FAZALI OʻZGARUVCHAN TOK ELEKTR ZANJIRLARI</b>	
3.1. Umumiy tushunchalar.....	86
3.2. Uch fazali EYuK, kuchlanish va tok sistemasini hosil qilish.....	87
3.3. Manba va isteʼmolchilarni toʻrt simli yulduz usulida ulash.....	89
3.4. Manba va isteʼmolchilarni uch simli yulduz usulida ulash.....	93
3.5. Isteʼmolchilarni uchburchak usulida ulash.....	93
3.6. Uch fazali zanjirlarning quvvati.....	96
<b>IV BOB. TRANSFORMATORLAR</b>	
4.1. Umumiy tushunchalar.....	99

4.2.	Transformatorning tuzilishi va ishlash prinsipi.....	101
4.3.	Transformatorning ish rejimlari.....	103
4.4.	Transformatorni salt ishlash va qisqa tutashuv rejimlarida ishlatishtajribalari.....	109
4.5.	Transformatoridagi quvvat isroflari va uning foydali ish koefitsienti.....	112
4.6.	Transformatorning nominal kattalıkları.....	113
4.7.	Transformatorning tashqi xarakteristikasi va undagi kuchlanishning o'zgarishi.....	114
4.8.	Uch fazali transformator	115
4.9.	Uch fazali transformatorlarning chulg'amlarini ulash sxemalari va turkumlari.....	117
4.10.	Transformatorlarning parallel ishlashi.....	120
4.11.	Avtotransformatorlar.....	121
4.12.	O'lchash transformatorlari.....	123
4.13.	Payvandlash transformatori.....	125
<b>V BOB. ASINXRON MASHINALAR</b>		
5.1.	Asinxron motorning tuzilishi.....	127
5.2.	Uch fazali tok sistemasi yordamida aylanuvchan magnit maydonining hosil bo'lishi.....	131
5.3.	Asinxron motorning ishlash prinsipi.....	136
5.4.	Asinxron motor magnit yurituvchi kuchining tenglamasi.....	140
5.5.	Asinxron motorning almashtirish sxemasi va vektor diagrammasi.....	141
5.6.	Asinxron motorning elektromagnit quvvat va aylantiruvchi momenti.....	144
5.7.	Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi.....	148
5.8.	Asinxron motorning pasportidagi ma'lumotlari bo'yicha mexanik xarakteristikasini qurish.....	150
5.9.	Asinxron motorning energetik diagrammasi va foydali ish koefitsienti.....	151
5.10.	Asinxron motorning ish xarakteristikasi.....	153
5.11.	Asinxron motorlarni ishga tushirish.....	154
5.12.	Asinxron mashinalarning generator va elektromagnit tormoz rejimlari.....	162
5.13.	Asinxron motorning aylanish tezligini rostlash va aylanish yo'nalishini o'zgartirish (reverslash).....	164
5.14.	Asinxron motorlarning quvvat koefitsientini oshirish.....	167
5.15.	Asinxron motorlarning turlari.....	168
<b>VI BOB. O'ZGARMAS TOK MASHINALARI</b>		
6.1.	O'zgarmas tok mashinasining tuzilishi va ishlash prinsipi.....	172
6.2.	O'zgarmas tok hosil qilishda kollektorning ahamiyati.....	174
6.3.	O'zgarmas tok mashinasining chulg'amlari.....	176
6.4.	Yakorda induksiyalangan E.Yu.K.....	179

6.5.	Tormozlovchi va aylantiruvchi momentlar.....	180
6.6.	Yakor reaksiyasi.....	181
6.7.	Yakor kommutatsiyasi.....	183
6.8.	Magnit maydonini uyg`otish usuliga ko`ra o`zgarmas tok generatorlarini tasniflash.....	185
6.9.	O`zgarmas tok generatorlarining o`z-o`zidan uyg`otilishi.....	186
6.10.	Parallel uyg`otishli o`zgarmas tok generatorining xarakteristikalari.....	189
6.11.	Ketma-ket uyg`otishli generator.....	193
6.12.	Aralash uyg`otishli generator.....	194
6.13.	O`zgarmas tok motorlari .....	196
6.14.	Parallel uyg`otishli o`zgarmas tok motorining xarakteristikalari	201
6.15.	Ketma-ket uyg`otishli o`zgarmas tok motorining xarakteristikalari.....	203
6.16.	Aralash uyg`otishli o`zgarmas tok motorining xarakteristikalari.....	205
6.17.	O`zgarmas tok motorlarining nominal kattaliklari va FIK.....	206
<b>VII BOB. ELEKTRONIKA. YARIM O`TKAZGICH ASBOBLAR VA QURILMALAR</b>		
7.1.	Umumiy tushunchalar.....	208
7.2.	Yarim o`tkazgichli asboblarning ish jarayonlari.....	210
7.3.	Yarim o`tkazgich asboblari va ularning volt-amper tavsiflari..	212
7.4.	Impuls bilan boshqariladigan yarim o`tkazgich diod. Tiristor.	219
7.5.	Tiristorli kontaktorlar.....	222
7.6.	Mikroelektronika elementlari.....	225
7.7.	Fotoelektron asboblari.....	228
7.8.	O`zgaruvchan tokni to`g`rilash zanjirlari.....	234
7.9.	Tiristorli o`zgartirgichlar.....	246
7.10.	Invertorlar.....	252
7.11.	Chastota o`zgartirgichlar.....	258
7.12.	Kuchaytirgichlar.....	260
7.13.	Elektron generatorlar.....	280
<b>VIII BOB. IMPUL`SLI VA RAQAMLI TEXNIKA QURILMALARI</b>		
8.1.	Impul`sli va raqamli texnika.....	286
8.2.	Mantiqiy funksiyalar va elementlar.....	293
8.3.	Elektron hisoblash mashinalarining ayrim elementlari.....	299
8.4.	Mikroprosessorlar.....	303
8.5.	Elektron vol`tmeter.....	309
8.6.	Elektr yuritmani tiristor bilan boshqarish.....	312
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO`YXATI.....	317

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глоссарий ключевых слов .....	5
<b>I ГЛАВА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА</b>	
1.1. Электрическая цепь и ее элементы.....	10
1.2. Основные законы электрических цепей.....	14
1.3. Напряжения в источниках и частях потребителей.....	16
1.4. Мощность электрического тока.....	17
1.5. Тепловое воздействие электрического тока.....	18
1.6. Баланс мощности в электрической цепи .....	19
1.7. Схемы включения резисторов в электрическую цепь.....	22
1.8. Режимы работы электрических цепей.....	26
1.9. Методы расчета сложных электрических цепей.....	28
<b>II ГЛАВА. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</b>	
2.1. Виды переменного тока.....	46
2.2. Генерация синусоидальной переменной ЭДС.....	47
2.3. Величины, характеризующие синусоидальную переменную функцию.....	49
2.4. Эффективные и средние значения синусоидальных переменных функции.....	52
2.5. Выражение синусоидальных переменных с использованием вращающихся векторов.....	55
2.6. Подключенные к цепи переменного тока активного сопротивления, катушки индуктивности и конденсатора.....	59
2.7. Последовательное соединение активных и реактивных сопротивлений.....	63
2.8. Параллельное соединение активных и реактивных сопротивлений.....	66
2.9. Энергетические процессы в цепях переменного тока.....	69
2.10. Мощность цепи переменного тока и коэффициент мощности.....	72
2.11. Резонанс напряжения.....	74
2.12. Резонанс тока.....	76
2.13. Комплексный расчет цепей переменного синусоидального тока.....	78
2.14. Комплекс и баланс мощности в цепях синусоидального тока.....	81
<b>III ГЛАВА. ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</b>	
3.1. Общие понятия.....	86
3.2. Создание трехфазной системы ЭДС, напряжения и тока.....	87
3.3. Соединение трехфазного источника и потребителя по	89



	схеме четырехпроводной звезды.....	
3.4.	Подключение источников и потребителей в режиме трехпроводной звезды.....	93
3.5.	Соединение потребителей по схеме треугольник.....	93
3.6.	Мощность трехфазных цепей.....	96
<b>IV ГЛАВА. ТРАНСФОРМАТОРЫ</b>		
4.1.	Общие понятия.....	99
4.2.	Устройство трансформатора и принцип работы .....	101
4.3.	Режимы работы трансформатора .....	103
4.4.	Опыт эксплуатации трансформатора в режимах холостого хода и короткого замыкания .....	109
4.5.	Потери мощности в трансформаторе и его КПД .....	112
4.6.	Номинальные выключены трансформатора .....	113
4.7.	Внешняя характеристика и изменения напряжения трансформатора .....	114
4.8.	Трехфазный трансформатор.....	115
4.9.	Группы и схемы соединения трехфазных трансформаторов	117
4.10.	Параллельная работа трансформаторов .....	120
4.11.	Автотрансформаторы .....	121
4.12.	Измерительные трансформаторы .....	123
4.13.	Сварочный трансформатор .....	125
<b>V ГЛАВА. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ</b>		
5.1.	Устройство асинхронного двигателя .....	127
5.2.	Формирование вращающегося магнитного поля с помощью системы трехфазного тока .....	131
5.3.	Принцип работы асинхронного двигателя .....	136
5.4.	Уравнение магнитной движущей силы асинхронного двигателя .....	140
5.5.	Схема замещения и векторная диаграмма асинхронного двигателя .....	141
5.6.	Электромагнитная мощность и крутящий момент асинхронного двигателя .....	144
5.7.	Механические характеристики асинхронного двигателя.....	148
5.8.	Построение механических характеристик асинхронного двигателя по паспортным данным .....	150
5.9.	Энергетическая диаграмма и КПД асинхронного двигателя.....	151
5.10.	Рабочие характеристики асинхронного двигателя .....	153
5.11.	Пуск асинхронных двигателей .....	154
5.12.	Асинхронные машины в режимах генератора и электромагнитного торможения .....	162
5.13.	Регулируемые скорости и реверс асинхронного двигателя	164
5.14.	Повышение коэффициента мощности асинхронных	167

двигателей.....	168
5.15. Типы асинхронных двигателей .....	168
<b>VI ГЛАВА. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА</b>	
6.1. Устройство и принцип работы машины постоянного тока	172
6.2. Роль коллектора в приобразовании постоянного тока.....	174
6.3. Обмотки машин постоянного тока .....	176
6.4. Индуцированный ЭДС в якоря .....	179
6.5. Тормозной и крутящий моменты .....	180
6.6. Якорная реакция .....	181
6.7. Коммутация якоря.....	183
6.8. Классификация генераторов постоянного тока по способу возбуждения магнитного поля .....	185
6.9. Самовозбуждение генераторов постоянного тока.....	186
6.10. Характеристики генератора постоянного тока с параллельным возбуждением .....	189
6.11. Генератора постоянного тока с последовательным возбуждением .....	193
6.12. Генератора постоянного тока с смешанным возбуждением	194
6.13. Двигатели постоянного тока .....	196
6.14. Характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением .....	201
6.15. Характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением .....	203
6.16. Характеристики двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением .....	205
6.17. Номинальные величины двигателей постоянного тока и КПД .....	206
<b>VII ГЛАВА. ЭЛЕКТРОНИКА. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА</b>	
7.1. Общие понятия .....	208
7.2. Рабочие процессы полупроводниковых приборов .....	210
7.3. Полупроводниковые приборы и их вольтамперные характеристики .....	212
7.4. Полупроводниковый диод с импульсным управлением. Тиристор .....	219
7.5. Тиристорные контакторы .....	222
7.6. Элементы микроэлектроники .....	225
7.7. Фотоэлектронные приборы .....	228
7.8. Цепи выпрямления переменного тока .....	234
7.9. Тиристорные преобразователи .....	246
7.10. Инверторы .....	252
7.11. Преобразователи частоты .....	258
7.12. Усилители .....	260
7.13. Электронные генераторы .....	280

## VIII ГЛАВА. ИМПУЛЬСНЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНИКИ

8.1.	Импульсные и цифровые технологии .....	286
8.2.	Логические функции и элементы.....	293
8.3.	Некоторые элементы электронно-вычислительных машин...	299
8.4.	Микропроцессоры .....	303
8.5.	Электронный вольтметр .....	309
8.6.	Тиристорное управление электроприводом .....	312
	СПИСОК ИСПОЛЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ.....	317

## TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION.....	3
Glossary of keywords .....	5
<b>I CHAPTER. DC ELECTRIC CIRCUITS</b>	
1.1. Electrical circuit and its elements.....	10
1.2. Basic laws of electrical circuits.....	14
1.3. Voltages in sources and parts of consumers.....	16
1.4. Electric current power.....	17
1.5. Thermal effect of electric current.....	18
1.6. Power balance in an electrical circuit.....	19
1.7. Schemes for including resistors in an electrical circuit.....	22
1.8. Operating modes of electrical circuits.....	26
1.9. Methods for calculating complex electrical circuits.....	28
<b>II CHAPTER. SINGLE-PHASE AC ELECTRIC CIRCUITS</b>	
2.1. Types of alternating current.....	46
2.2. Generation of a sinusoidal EMF variable.....	47
2.3. Quantities characterizing a sinusoidal variable function .....	49
2.4. Effective and mean values of sinusoidal function variables.....	52
2.5. Expression of sinusoidal variables using rotating vectors .....	55
2.6. Connected to the AC circuit active resistance, inductor and capacitor.....	59
2.7. Series connection of active and reactive resistances .....	63
2.8. Parallel connection of active and reactive resistances.....	66
2.9. Energy processes in AC circuits.....	69
2.10. AC circuit power and power factor .....	72
2.11. Voltage resonance.....	74
2.12. current resonance.....	76
2.13. Complex calculation of AC sinusoidal current circuits .....	78
2.14. Complex and power balance in sinusoidal current circuits.....	81
<b>III CHAPTER. THREE-PHASE AC ELECTRIC CIRCUITS</b>	
3.1. General concepts.....	86
3.2. Creation of a three-phase system of EMF, voltage and current.....	87
3.3. Connection of a three-phase source and consumers according to the four-wire star scheme.....	89
3.4. Connecting sources and consumers in three-wire star mode.....	93
3.5. Connection of consumers according to the triangle scheme.....	93
3.6. Power of three-phase circuits.....	96
<b>IV CHAPTER. TRANSFORMERS</b>	

4.1.	General concepts .....	99
4.2.	Transformer device and principle of operation .....	101
4.3.	Transformer operating modes .....	103
4.4.	Experience in operating a transformer in idle and short circuit modes .....	109
4.5.	Power losses in the transformer and its efficiency.....	112
4.6.	Rated cured transformer .....	113
4.7.	External characteristic and voltage changes of the transformer ....	114
4.8.	Three phase transformer .....	115
4.9.	Groups and connection diagrams of three-phase transformers.....	117
4.10.	Parallel operation of transformers .....	120
4.11.	Autotransformers .....	121
4.12.	Instrument transformers .....	123
4.13.	welding transformer .....	125
V CHAPTER. ASYNCHRONOUS MACHINES		
5.1.	Induction motor device .....	127
5.2.	Formation of a rotating magnetic field using a three-phase current system .....	131
5.3.	The principle of operation of an induction motor .....	136
5.4.	The equation of the magnetic driving force of an induction motor.....	140
5.5.	Equivalent circuit and vector diagram of an induction motor .....	141
5.6.	Electromagnetic power and torque of asynchronous motor .....	144
5.7.	Mechanical characteristics of an induction motor.....	148
5.8.	Construction of the mechanical characteristics of an asynchronous motor according to passport data .....	150
5.9.	Energy diagram and efficiency of an induction motor.....	151
5.10.	Performance characteristics of asynchronous motor .....	153
5.11.	Starting induction motors .....	154
5.12.	Asynchronous machines in generator and electromagnetic braking modes .....	162
5.13.	Variable speeds and reverse asynchronous motor.....	164
5.14.	Improving the power factor of asynchronous motors.....	167
5.15.	Types of induction motors .....	168
VI CHAPTER. DC MACHINES		
6.1.	The device and principle of operation of a DC machine.....	172
6.2.	The role of the collector in DC supply .....	174
6.3.	Windings of DC machines .....	176
6.4.	Induced EMF in armatures .....	179
6.5.	Braking and torque .....	180
6.6.	Anchor reaction .....	181
6.7.	Armature switching .....	183
6.8.	Classification of DC generators according to the method of	185

	excitation of the magnetic field .....	
6.9.	Self-excitation of DC generators .....	186
6.10.	Characteristics of the DC generator with parallel excitat.....	189
6.11.	DC generator with series excitation .....	193
6.12.	DC generator with mixed excitation.....	194
6.13.	DC motors .....	196
6.14.	Parallel Excited DC Motor Characteristics.....	201
6.15.	Series Excited DC Motor Characteristics .....	203
6.16.	Characteristics of a mixed-excitation DC motor.....	205
6.17.	Rated values of DC motors and efficiency .....	206

## VII CHAPTER. ELECTRONICS. SEMICONDUCTOR DEVICES AND DEVICES

7.1.	General concepts .....	208
7.2.	Semiconductor Workflows .....	210
7.3.	Semiconductor devices and their current-voltage characteristics... ..	212
7.4.	Semiconductor diode with pulse control. Thyristor.....	219
7.5.	Thyristor contactors .....	222
7.6.	Elements of microelectronics .....	225
7.7.	Photoelectronic devices .....	228
7.8.	AC rectifier circuits .....	234
7.9.	Thyristor converters .....	246
7.10.	Inverters .....	252
7.11.	Frequency converters .....	258
7.12.	Amplifiers .....	260
7.13.	Electronic generators .....	280

## VIII CHAPTER. PULSE AND DIGITAL TECHNIQUES

8.1.	Pulse and digital technologies .....	286
8.2.	Logic functions and elements .....	293
8.3.	Some elements of electronic computers.....	299
8.4.	Microprocessors .....	303
8.5.	Electronic voltmeter .....	309
8.6.	Thyristor drive control .....	312

	LIST OF USED LITERATURE.....	317
--	------------------------------	-----