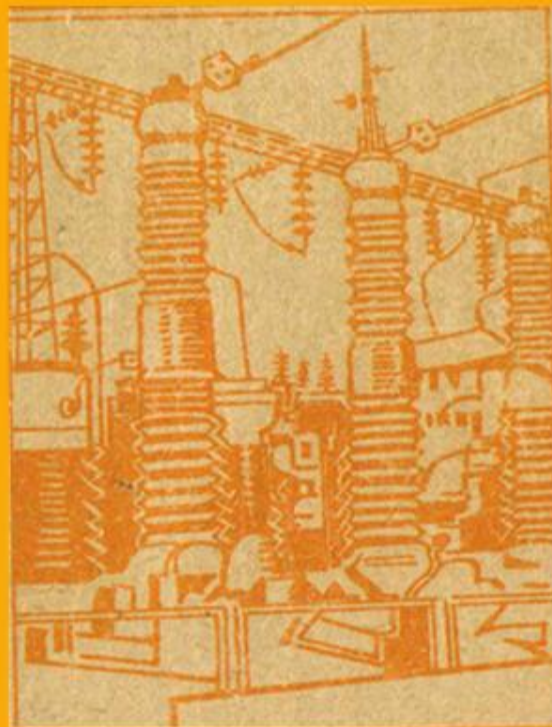
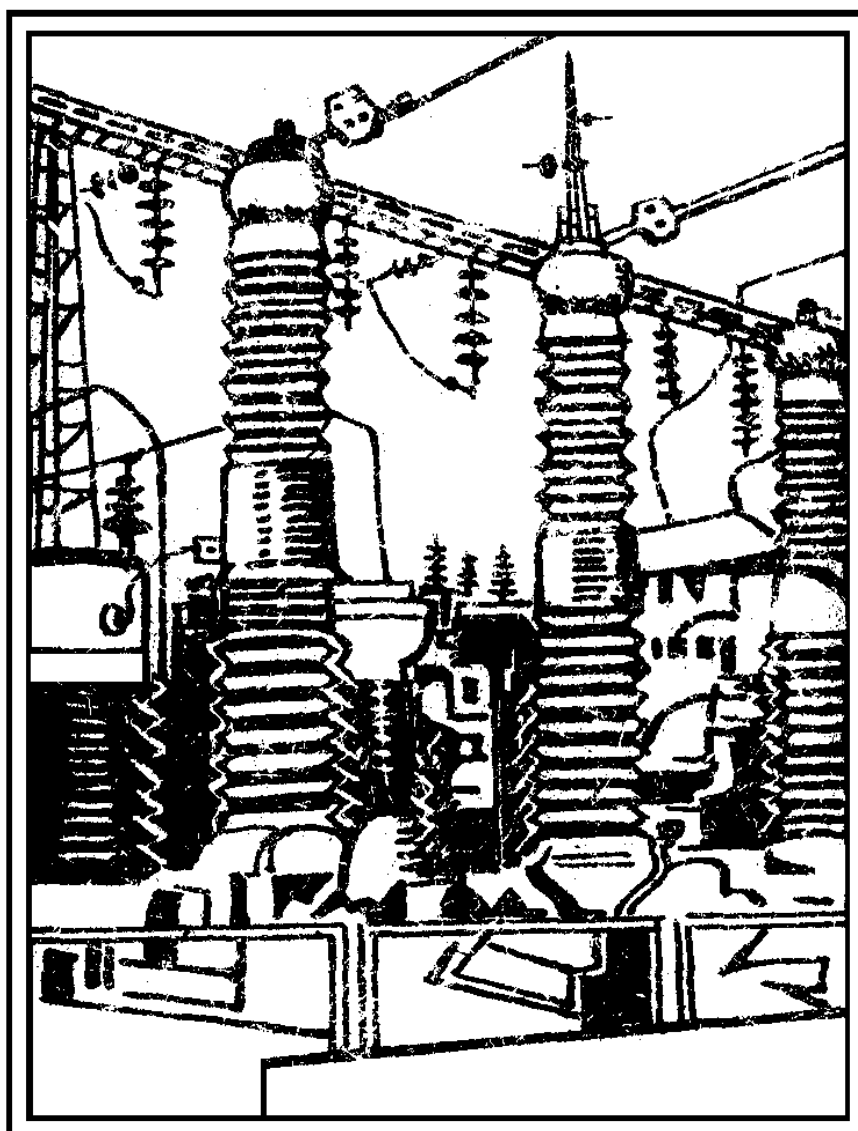


# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ



# Электротехника ва электроника асослари



*Устозимиз проф. Гофур Раҳимович  
Раҳимовнинг ёрқин хотираларига  
бағишланади.*

## Сўз боши

Ушбу „Электротехника ва электроника асослари“ дарслиги техника олий ўқув юрғларининг электротехника асосий бўлмаган ихтисосликлари учун „Электротехника ва электроника“ курсининг дастурига мувофиқ тузилган.

Мазкур дарслик тегишли ихтисосликлар учун „Электротехника“, „Электротехника ва электроника асослари“ дан зарур билимларни ўзлаштиришга имкон беради. Бунда электротехник асбоблар, қурилмалар, машиналарни тегишли ихтисосликдаги кафедралар билан келишилган дастур асосида ўқитиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Ушбу дарслик Тошкент Давлат техника университетининг „Назарий ва умумий электротехника“ кафедраси ўқитувчилари жамоаси томонидан т. ф. д., профессор А. С. Каримовнинг умумий таҳрири остида тузилган бўлиб, унинг 2, 3-бобларини А. С. Каримов, 1, 5, 8-бобларини М. М. Мирҳайдаров, 4-бобини Б. А. Абдуллаев, 6-бобини С. Г. Блейхман ва А. А. Қашқаров, 7, 13, 14-бобларини Ф. Р. Шоёқубов, 9-бобини О. М. Бурхонхўжаев ва А. А. Қашқаров, 10, 11-бобларини А. С. Каримов ва С. Г. Блейхман, 12-бобини А. С. Каримов ва Ф. Р. Шоёқубов, 15-бобини Н. У. Турсунхўжаева ва С. А. Каримова ёзганлар.

Муаллифлар китобнинг қўлёзмаси билан танишиб чиқиб, маслаҳат ва кўрсатмалар берган профессорлар С. З. Усмонов ва С. Мажидовга ҳамда ўзининг фикр-мулоҳазаларини билдирган доцент У. Иброҳимовга, шунингдек, қўлёзмани тайёрлашда берган ёрдамлари учун Тошкент Давлат техника университети „Назарий ва умумий электротехника“ кафедрасининг ўқитувчилари Д. Б. Мавлонова, В. А. Попов ва бошқаларга ўзларининг самимий миннатдорчиликларини изҳор этадилар.

## КИРИШ

Электротехника — электр занжирларида ва электромагнит майдонларида электр ва магнит энергияларининг ҳосил бўлиш ва ўзгариш қонуниятларини ўрганадиган фан ва техника соҳасидир. Бугунги электротехника кўп қиррали бўлиб, жуда кўп соҳаларда қўлланилмоқда.

Электротехника электр ҳақидаги фан сифатида эрампиздан аввалги VI — V асрларда юзага келган. Инсоният электр ва магнит ҳодисаларининг оддий кузатувчиси бўлишдан то унинг сунъий энергия манбаларини яратгунича орадан кўп давр ўтди. Биринчи электр машина 1650 йилда, кучланишнинг биринчи электрохимиявий манбаи эса 1799 йилда яратилди.

XIX асрнинг биринчи ярмиларига келиб назарий ва амалий электротехника бирмунча ривожлана бошлади. Ана шу даврларда токнинг иссиқлик таъсири, электр ва магнит майдонлари орасидаги боғланиш, электродинамик ҳодисалар кашф этилди. XIX асрнинг 50 — 60-йилларида эса ўзгармас ток двигателларини ясаш устида изланишлар қизиқ кетди. Шунингдек, катта қувватли ўзгарувчан ток манбаларини яратиш ва электр энергиясини узоқ масофаларга узатиш борасидаги инженерлик ишлари авж олиб кетди. Бу давр электротехника тараққиёти иккинчи босқичининг бошланиши бўлиб, бунда саноат аҳамиятига эга бўлган электротехникага асос солинди. Бу даврда электротехника билан бир қаторда электроавтоматика, телеграфия, телефония ҳам ривожлана бошлади.

Ўзгарувчан ток энергиясини узоқ масофаларга узатиш масаласи трансформаторларни ясаш назариясини ишлаб чиқишга олиб келди. Биринчи ясалган трансформаторларнинг ўзиёқ кучланишни 100 ва ҳатто 1000 — 2000 вольтгача кучайтириб бера олар эди.

XIX асрнинг охирларига келиб рус инженери М. О. Доливо-Добровольский уч фазали ўзгарувчан ток ҳосил қилишни ва унинг асосий истеъмолчиси бўлмиш уч фазали асинхрон двигателни кашф этди. Ҳозирги кунда эса бутун дунёдаги электр двигателларнинг асосий қисмини асинхрон двигателлар ташкил этади.

XX асрнинг ўтган 90 йили энергетика ва электротехника соҳасида муҳим давр ҳисобланади. Чунки бу давр радио ва ярим ўтказгичлар техникасининг пайдо бўлиши, телевидениенинг кашф этилиши, автоматика ва телемеханиканинг тараққий этиши, микроэлектроника ва энергетиканинг мисли кўрилмаган даражада ўсиши, интеграл схемаларнинг ва атом энергиясининг кашф этилиши ва тараққиёти билан чамбарчас боғлиқдир. Умуман, электротехниканинг ютуқларидан халқ хўжалигининг барча соҳаларида фойдаланилади. Айниқса, халқ хўжалигини механизациялаш ва автоматлаштириш соҳаларида эришилган ютуқларни электрлаштиришсиз тасаввур қилиб бўлмайди. Шунинг учун электротехниканинг ва унинг соҳаси бўлмиш электроэнергетиканинг ўсиш суръатлари халқ хўжалигининг электр энергиясига бўлган талабидан доимо устун бўлиши керак.

Электротехника ва электроэнергетика соҳасидаги тадқиқотларимизнинг самараси ўлароқ яқка генераторларнинг қуввати тобора ортмоқда. Ҳозирги вақтда қуввати 500, 640 МВт бўлган гидрогенераторлар, қуввати 800, 1200 МВт бўлган турбогенераторлар ва қуввати 1000 МВт бўлган реакторларни ишлаб чиқариш тўла ўзлаштирилган. Бундай катта қуввагли электр энергиясини узатиш учун 500, 750, 1150 кВ кучланишли ўзгарувчан ток узатиш линиялари ишлаб турибди. Натижада трансформаторларни 3 — 5 миллион вольт кучланиш билан текшириш имконияти яратилди.

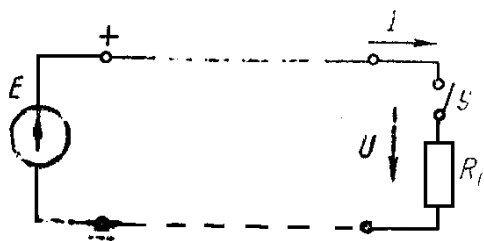
Ҳозирги даврда ишлаб чиқаришни бошқариш системасини автоматлаштириш, асосан, электротехник ва ярим ўтказгичли ҳамда микропроцессорли асбоблардан фойдаланиш билан ҳал этилмоқда. Шунинг учун бўлажак инженерлар халқ хўжалигининг турли соҳаларидаги вазифаларни муваффақиятли ҳал этишлари учун ихтисослиги электрик бўлиш бўлмаслигидан қатъи назар етарли даражада электротехник билимга ва тайёргарликка эга бўлишлари керак.

# 1-боб. ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ

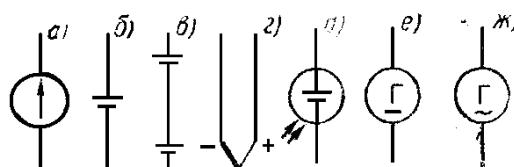
## 1.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Ҳар қандай электр занжири ўзаро симлар билан бириктирилган, битта ёки бир нечта электр энергияси манбаларидан ва истеъмолчиларида иборат бўлади. Шунинг учун *электр занжири* деб, электр токини ҳосил қилувчи ва унинг оқиб ўтишини таъминлаш учун берк йўл ҳосил қиладиган қурилмалар йиғиндисига айтилади. Электр занжирларини шартли белгилар ёрдамида тасвирлаш электрик схема деб аталади. Олдий электр занжирининг схемаси 1.1-расмда кўрсатилган. Электр занжири, асосан, электр энергиясининг манбаи —  $E$ , электр энергиясининг истеъмолчиси (нагрузка) —  $R_n$ , бирлаштирувчи симлар (масалан, электр узатиш лиңияси) ва занжирни улаб-узиш учун мослама (улагич) —  $У$  каби элементлардан ташкил топган.

Занжирдан ток узлуксиз ўтиб туришининг асосий шартининг таркибида электр энергияси манбаининг бўлишидир. Электр энергиясининг манбаида энергиянинг бошқа турлари электр энергиясига айлантирилади. Масалан, электр машина генераторлари, буғ, газ ёки гидравлик турбиналарнинг механик энергиясини, гальваник элементлар ва аккумуляторлар химиявий жараёнлар энергиясини, термоэлементлар ва магнетогидродинамик генераторлар иссиқлик энергиясини, турли фотоэлементлар ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантиради. Электр энергиясини ҳосил қилувчи турли манбаларнинг шартли белгиланиши 1.2-расмда кўрсатилган. *а* — ЭЮК, *б* — гальваник элементлар ёки аккумулятор батареяла-

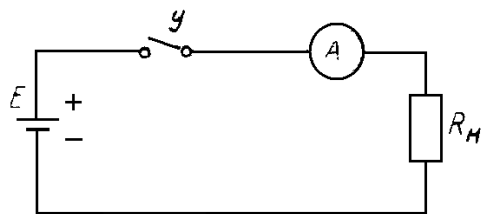


1.1- расм.



1.2- расм.

ри,  $z$  — термоэлементлар,  $\partial$  — фотоэлемент,  $e$  — ўзгармас токнинг электр машина генератори,  $жс$  — ўзгарувчан токнинг электр машина генератори. Булар электр юритувчи кучлари —  $E$ , ички қаршилиги —  $r_0$ , номинал токи —  $I_{ном}$  ва бошқа катталиқлари билан бир-бирларидан фарқ қилади.



1.3-расм.

Электр энергиясини истеъмолчиларга узатиш электр узатиш линиялари орқали амалга оширилади. Электр энергиясини энергиянинг бошқа турлари (механик, иссиқлик, химиявий, ёруғлик ва ҳ.) га айлантириб берувчи мосламалар (электр двигателлари, электр печлар, электролазерлар, электр ёритиш асбоблари ва б.) электр истеъмолчилари дейилади. 1.3-расмда кўрсатилган электр занжирда электр энергиясининг манбаи (аккумулятор) мазкур занжирнинг ички қисмини, истеъмолчи (нагрузка) —  $R_n$ , амперметр —  $A$ , улагич —  $У$ , бирлаштирувчи сим (ёки линия) занжирнинг ташқи қисмини (яъни, ташқи занжирни) ташкил этади. Улагич  $У$  уланганда берк занжир (контур) ҳосил бўлиб, занжирдан электр токи ўта бошлайди. Унинг қийматини амперметр ёрдамида ўлчаш мумкин. Занжирдан ўтаётган электр токининг қиймати ёки кучи ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан вақт ( $t$ ) бирлиги ичида ўтган электр зарядларининг миқдори —  $q$  билан аниқланади, яъни ток кучи зарядларнинг ҳаракат тезлигига пропорционал катталиқдир:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Агар занжирдан ўтаётган токнинг йўналиши ва қиймати вақт давомида ўзгармас бўлса, бундай ток *ўзгармас ток* дейилади ва қуйидагича ифодаланади:

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

Халқаро бирликлар системаси ( $SI$ ) да электр токининг ўлчов бирлиги сифатида ампер қабул қилинган. Ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан бир секунд давомида бир кулон электр зарядлари ўтгандаги ток кучи бир амперга тенг бўлади:

$$1 \text{ Ампер} = \frac{1 \text{ Кулон}}{1 \text{ секунд}} \text{ ёки } 1 \text{ А} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}}.$$

Металларда электр токи манфий ишорали зарядларнинг (электронларнинг) ҳаракатидан иборат бўлса, электролитларда эса мусбат ҳам манфий ишорали зарядларнинг (ионларнинг) ўзаро қарама-қарши йўналишдаги ҳаракатларидан иборат. Шунга кўра, ўтказгичларда токнинг шартли йўналишини қабул қилиш муҳим аҳамиятга эга. Бу йўналиш учун мусбат заряд-

ларнинг ҳаракат йўналиши қабул қилинган. Манбанинг (генератор, аккумулятор ва б.) электр юритувчи кучи туфайли унинг қисмаларида маълум потенциаллар фарқи юзага келади. Потенциали юқори бўлган қисмани мусбаб деб, уни „+“ ишора, потенциали паст бўлган қисмани манфий „—“ ишора билан белгилаш қабул қилинган. Манбада (ички занжирда) электр токининг йўналиши „—“ ишорадан „+“ ишорага, яъни қўйи потенциалли нуқтадан юқори потенциалли нуқтага йўналади. Ташқи занжирда эса аксинча „+“ ишорадан „—“ ишорага, яъни юқори потенциалли нуқтадан қўйи потенциалли нуқтага йўналади.

Электр занжирида ҳаракатланаётган зарядга ўтказгич муҳит маълум қаршилик кўрсатади. Мазкур қаршилик ўтказгичнинг электр қаршилиги дейилиб, қўйидаги формула бўйича аниқланади:

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

бу ерда:  $\rho$  — ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги, Ом  $\cdot$  м;  $l$  — ўтказгичнинг узунлиги, м;  $S$  — ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзаси, м<sup>2</sup>.

$S/l$  системасида ўтказгичнинг электр қаршилик бирлиги учун Ом қабул қилинган. Қисмаларида 1 вольт кучланиши бўлган ҳолда, 1 ампер ток кучи ҳосил қилган ўтказгичнинг қаршилиги 1 Ом деб ҳисобланади, яъни 1 Ом = 1 В/1 А. Амалда қаршилиқнинг нисбатан катта birlikлари килоом (кОм) ва мегаом (МОм) дан ҳам фойдаланилади.

Айрим ҳолларда электр қаршилиги ўрнига (қаршилиқлари параллел уланган занжирлар ўрганилганда) унга тескари бўлган катталиқ *ўтказувчанликдан* фойдаланилади, яъни

$$G = \frac{1}{R}; \quad \left[ \frac{1}{\text{Ом}} = 1 \text{ сименс} = 1 \text{ См} \right]. \quad (1.3)$$

Солиштирма қаршилиқка тескари катталиқ *солиштирма ўтказувчанликдир*:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \text{ См/м}. \quad (1.4)$$

Электротехникада турли мақсадлар учун тайёрланадиган симлар учун ишлатиладиган асосий матери л нисбатан юқори солиштирма ўтказувчанликка эга бўлган металллардир (мис, алюминий, пўлат). Шунингдек, мазкур металлларнинг қотишмалари (манганин, константан, нихром ва б.) дан ҳам кенг фойдаланилади. Ушбу материалларга хос хусусиятлар 1-жадвалда кўрсатилган.



Материал	Солиштирма ўтказувчанлиги (20°C)	Солиштирма қаршилиги (20°C)	Қаршиликнинг (20:100°C) даги температура коэффициенти, 1°/C
Кумуш	62,0	0,016	0,0035
Мис	57,0	0,0175	0,004
Алюминий	35,0	0,0294	0,004
Вольфрам	19,0	0,053	0,004
Пўлат	7,7	0,13	0,006
Манганин	2,4	0,42	0,00003
Константан	2,0	0,5	0,00000
Нихром	1,0	1,0	0,0001

### 1.2. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

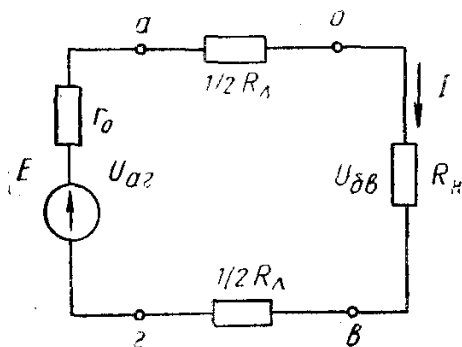
Ом қонуни электр занжирига оид асосий қонун бўлиб, занжирдаги ток ва кучланиш ўзаро қандай нисбатда боғланганлигини ифодалайди. Бу қонунга кўра тармоқланмаган берк занжирдаги (контурдаги) ток ЭЮК га тўғри пропорционал, занжирнинг тўла қаршилигига тескари пропорционалдир. Мазкур қонунга биноан 1.4-расмда кўрсатилган электр занжирдаги ток қуйидагича ифодаланади:

$$I = \frac{E}{r_0 + R_{\text{л}} + R_{\text{н}}} = \frac{E}{r_0 + R_{\text{т}}}, \quad (1.5)$$

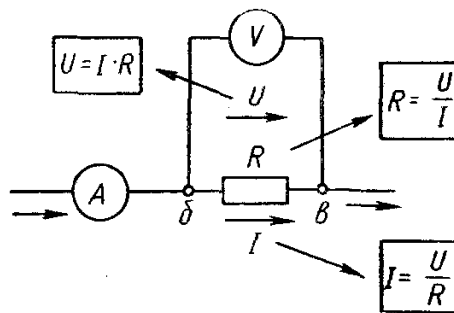
бу ерда  $r_0$  — манбанинг ички қаршилиги;  $R_{\text{л}} = \frac{1}{2} R_{\text{л}} + \frac{1}{2} R_{\text{л}}$  — электр узатиш линия симининг қаршилиги;  $R_{\text{н}}$  — истеъмолчининг (нагрузканинг) қаршилиги;  $r_0 + R_{\text{т}}$  — занжирнинг тўла қаршилиги;  $R_{\text{т}} = R_{\text{л}} + R_{\text{н}}$  — ташқи занжирнинг қаршилиги:

(1.5) формула берк контур учун Ом қонунини ифодалайди. Шунингдек, ЭЮК манбаи бўлмаган электр занжирининг исталган қисми учун ҳам татбиқ этиш мумкин. У ҳолда занжирнинг  $бв$  қисмидаги (1.4 ва 1.5-расмлар) ток:

$$I = \frac{U_{бв}}{R_{\text{н}}}, \quad (1.6)$$



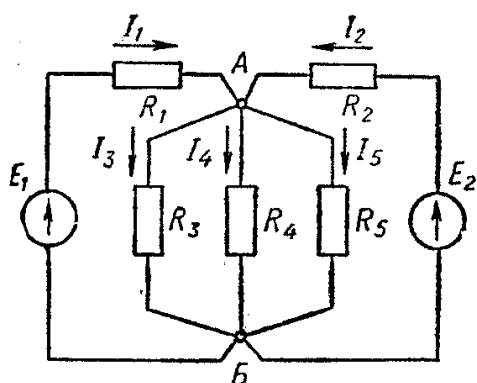
1.4-расм.



1.5-расм.

бундан

$$U_{68} = I \cdot R_n.$$



1.6- расм.

Демак,  $R_n$  қаршилигида кучланишнинг пасайиши у орқали ўтган токнинг мазкур қаршиликка кўпайтмасига тенг.

**Кирхгоф қонунлари** мураккаб (икки ва ундан ортиқ контурли) электр занжирларни ҳисоблаш ва уларнинг электр ҳолатларини тўла аниқлаш учун хизмат қилади. Мураккаб занжирлар учун тармоқ, тугун ва контур тушунчалари қўлланади. *Тармоқ* — электр занжирининг маълум бир

қисми бўлиб, кетма-кет бирлаштирилган қаршиликлар (резисторлар), энергия манбалари ва ҳоказолардан иборат. *Тугун* — электр занжирининг учта ва ундан ортиқ тармоқларининг бирлашган жойи. *Контур* — занжирнинг бир неча тармоқларидан иборат ёпиқ йўл. Масалан, 1.6-расмдаги электр занжири бешта тармоқ (булардан иккитасининг энергия манбаи бор), иккита тугун ва тўққизта контурдан иборат.

*Кирхгофнинг биринчи қонуни (токлар қонуни)* электр занжирининг тармоқланиш тугунидаги токларнинг қандай тақсимланганлигини ифода қилади. Бу қонунга кўра, электр занжирининг тармоқланиш тугунига келаётган ва ундан чиқиб кетаётган токларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг. Чунинчи, 1.6-расмдаги электр занжирининг *A* тугуни учун

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

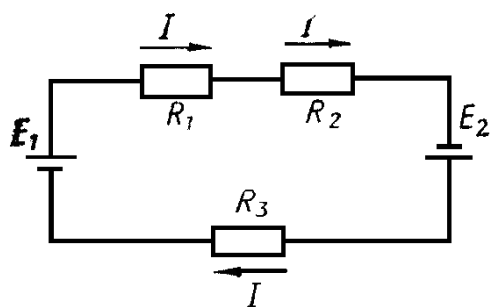
деб ёзиш мумкин. Бунда тармоқланиш тугуни келаётган токларни „+“ ишора ва ундан чиқиб кетаётган токларни „-“ ишора билан олган бўламиз. Умумий ҳолда

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

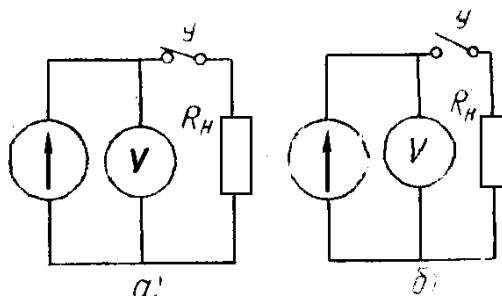
*Кирхгофнинг иккинчи қонуни (кучланишлар қонуни)* берк электр занжирининг қисмларида ЭЮК ва кучланишларнинг қандай тақсимланганлигини аниқлашга ёрдам беради. Бинобарин, берк контурдаги барча ЭЮК ларнинг алгебраик йиғиндиси шу контурнинг барча қисмларидаги кучланишлар пасайишининг алгебраик йиғиндиси га тенг:

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

Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан, 1.7-расмда кўрсатилган электр занжирида ЭЮК нинг шартли мусбат йўнали-



1.7- расм.



1.8- расм.

ши бўйича, (яъни, соат милининг ҳаракат йўналиши бўйича) занжирнинг электр мувозанат тенгламаси:

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

Занжирдаги ҳар қандай нуқтанинг потенциали мазкур нуқтанинг занжирдаги ҳолати билан аниқланади. Умумий ҳолда  $\sum E - \sum IR = 0$  деб ёзиш мумкин.

### 1.3. МАНБА ВА ИСТЕЪМОЛЧИ ҚИСМАЛАРИДАГИ КУЧЛАНИШЛАР

(1.5) ифодани  $E = I \cdot r_0 + I \cdot R_{\text{л}} + I \cdot R_{\text{н}} = I \cdot r_0 - I \cdot R_{\text{т}}$  кўринишда қайта ёзиб, қуйидаги хулосага келиш мумкин: ҳар қандай манба ЭЮК ининг бир қисми унинг ички қаршилиги  $r_0$  га сарфланади. Шунга кўра, манба қисмаларидаги кучланиш унинг ЭЮК идан доимо  $I \cdot r_0 = \Delta U_0$  миқдорга кичик бўлади. У ҳолда 1.4-расмдаги манбанинг *аз* қисмаларидаги кучланиш  $U_{\text{ар}} = E - I \cdot r_0$  бўлади.

Манбанинг ички қаршилиги қанчалик кичик бўлса, у ишлаб чиқараётган электр энергиясининг қуввати шунчалик катта бўлади. Ички қаршилиги  $r_0 \approx 0$  бўлган ЭЮК манбалари шартли равишда қуввати чексиз генераторлар дейилади. Бунга ўта катта қувватли (ГЭС, ГРЭС, АЭС ва б.) электр станцияларининг генераторлари киради. Агар манба қисмаларидан ташқи занжир ажратиб қўйилса,  $I = 0$  бўлади. У ҳолда  $\Delta U_0 = I \cdot r_0 = 0 \cdot r_0 = 0$ , яъни ташқи занжир ажратиб қўйилганда манбанинг кучланиши унинг ЭЮК ига тенг ( $U_{\text{аз}} = E$ ) бўлади.

Манба билан истеъмолчининг бирлаштирувчи линия сими ҳам маълум қаршиликка эга бўлгани сабабли кучланишнинг бир қисми узатиш линиясида сарфланади, яъни  $I \cdot R_{\text{л}} = \Delta U_{\text{л}}$ . Узатиш симининг (линиянинг) узунлиги ортган сари кучланишнинг пасайиши ҳам орта боради. Бунда истеъмолчининг *бв* қисмаларидаги кучланиш манба қисмаларидаги кучланишдан доимо  $\Delta U_{\text{л}}$  га фарқ қилади, яъни  $U_{\text{бв}} = U_{\text{аз}} - \Delta U_{\text{л}}$ . Шунингдек, истеъмолчининг ток истеъмоли, яъни нагрузка орта борган сари узатиш линиясида кучланишнинг пасаяви орта бориб, истеъмолчи қисмаларидаги кучланиш янада пасая боради.

#### 1.4. ЭЛЕКТР ТОКИНИНГ ИШИ ВА ҚУВВАТИ

Электр токининг иши дейилганда, электр майдонида зарядланган заррачаларнинг (мусбат зарядларнинг) потенциали кичикроқ нуқтадан потенциали юқорироқ нуқтага кўчишида бажарилган иш ( $A$ ) ёки шу ишни бажариш учун сарфланган энергия ( $W$ ) тушунилади, яъни  $A = q \cdot U$ . Бундан кўриниб турибдики, зарядлар миқдори  $q$  ва потенциаллар фарқи  $U$  қанчалик кагта бўлса, бажарилган иш ёки сарфланган энергия шунчалик кагта бўлади. Агар (1.1) ифодага кўра  $q = I \cdot t$  бўлишини ҳисобга олсак,

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

Демак, бажарилган иш (ёки сарфланган энергия) кучланиш, ток ва вақтнинг ўзаро кўпайтмасига тенг. Бажарилган ишнинг жадаллигини аниқлаш учун қувват тушунчаси киритилади. Электр токининг қуввати вақт бирлигида бажарилган ишга ёки шу ишни бажариш учун сарфланган энергияга тенг, яъни

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

$SI$  системасида қувватнинг ўлчов бирлиги сифатида *ватт* (Вт) қабул қилинган.  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Ж}/1 \text{ с}$ , яъни 1 ватт қувват ҳосил қилиниши учун 1 секунд давомида 1 жоуль иш бажарилиши лозим. Худди шунингдек, электр занжирида ўтказгич учларидаги кучланиш 1 В, ток кучи 1 А бўлганида 1 Вт қувват сарф бўлади ( $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А}$ ). Амалда қувватнинг қуйидаги ўлчов бирликлари: милливатт (мВт) [ $1 \text{ мВт} = 10^{-3} \text{ Вт}$ ], киловатт (кВт) [ $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$ ] ва мегаватт (МВт) [ $1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$ ] дан фойдаланилади. Электр занжиридаги токнинг қуввати ваттметр асбоби ёрдамида ўлчанади.

Занжир элементларида эришиладиган қувватни кучланиш билан ҳам, ток билан ҳам ростлаш мумкин. Масалан, узатиш линияларида электр энергиясининг иссиқликка сарфланадиган исрофини камайтириш мақсадида, манба берадиган қувватнинг кучланиши оширилади ва шунга мос равишда ток кучи камайтирилади. Линиядаги ток кучи қанчалик кичик бўлса, кучланишнинг пасайиши ( $I \cdot R_{\text{л}} = \Delta U_{\text{л}}$ ) ҳам шунчалик кичик бўлади. Натижада линиянинг фойдали иш коэффициенти юқори бўлади:

$$\eta = \frac{P_{\text{ист}}}{P_{\text{м}}} = \frac{U_{\text{ист}} \cdot I}{U_{\text{м}} \cdot I} = \frac{U_{\text{ист}} \cdot I}{\Delta U_{\text{л}} \cdot I + U_{\text{ист}} \cdot I}, \quad (1.13)$$

бу ерда  $P_{\text{ист}}$  — истеъмолчининг қуввати;  $P_{\text{м}}$  — манбанинг қуввати.

Электр энергиясини анча юқори кучланиш билан ўзгармас токда узатиш бирмунча тежамли ҳисобланади. Бунга кучла-

ниши 1500 кВ ли ўзгармас ток электр узатиш линияларни мисол бўла олади.

Халқаро бирликлар системасида энергия бирлиги қилиб жой кабул қилинган ( $1 \text{ Ж} = 1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с}$ ), аммо амалда киловатт-соатдан ҳам кенг фойдаланилади ( $1 \text{ кВт} \cdot \text{соат} = 1000 \text{ Вт} \times 3600 \text{ с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ж}$ ).

### 1.5. ЭЛЕКТР ТОКИНИНГ ИССИҚЛИК ТАЪСИРИ

Электр занжирларидаги қаршилик табиати жиҳатидан механикадаги ишқаланишга ўхшаб кетади, чунки ўтказгичда электр токини ҳосил қилувчи эркин электронларнинг илгариланма ҳаракати электронларнинг ўтказгич ичида атомлар ёки молекулалар билан қўшимча тўқнашишига сабаб бўлади. Тўқнашишлар (ишқаланишлар) нағижасида механик энергия иссиқлик энергиясига айланиб (бунда ишқаланиш кучини енгиш учун маълум бир иш бажарилади), ўтказгич (сим) қизийди. Ом қонунига биноан  $U = I \cdot R$  эканлигини ҳисобга олсак, ток  $I$  нинг  $R$  қаршиликли занжир қисмида бажарган иши қуйидагини ташкил этади:

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

(1.14) формула Ленц-Жоуль қонунининг аналитик ифодасидир.

Электр токининг иссиқлик таъсири электр ёритиш, электр пайвандлаш, электр металлургия, электр қизитиш, шунингдек, автоматик назорат асбобларида фойдали ҳисобланади. Аммо электр двигателларда, трансформаторларда ва манба билан истеъмолчини бирлаштирувчи узатиш симларида бу иссиқлик зарарлидир. Чунки бунда электр энергиясининг бир қисми иссиқлик энергияси тарзида исроф бўлади. Шунинг учун электр симларнинг кўндаланг кесимини унинг қизиш даражасидан келиб чиқиб танлаш муҳим аҳамиятга эга.

Ўтказгичдан электр токи ўтиши нағижасида ҳосил бўлган иссиқлик ўтказгични қизитиб, атроф-муҳитга тарқалади. Электр токи ажратиб чиқарган иссиқлик миқдори ташқи муҳитга тарқалаётган иссиқлик миқдорига тенг бўлганда, ўтказгичда иссиқлик мувозанати юзага келади. Шу ўтказгичда турғун температура юзага келади. Бу температура берилган ўтказгич (сим) учун *чегаравий қизиш температураси* ҳисобланади. Чегаравий қизиш температурасидан ўтганда ўтказгичнинг температураси ташқи муҳит температурасидан юқори бўлади. Симларнинг ортиқча қизиши уларнинг изоляциясига путур етказиши, очиқ симнинг механик хусусиятларини сусайтириб юбориши мумкин. Қизиган изоляция совуқ изоляцияга қараганда тезроқ эскириб, электр машиналари ва аппаратларининг хизмат муддатини кескин қисқартиради. Электр симларнинг ортиқча қизиб кетмаслиги учун маълум кўндаланг кесимга эга бўлган ўтказгичдан ўтадиган узоқ вақтли турғун нағрузка токининг миқдорини аниқлаш керак бўлади.

Амалий ҳисоблашларда турли кўндаланг кесимга эга бўлган электр симлар чегаравий нагрузка тоқларининг қийматлари курсатилган тайёр жадваллардан фойдаланилади.

### 1.6. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИДА ҚУВВАТЛАР МУВОЗАНАТИ

Ҳар қандай электр занжирида манбанинг ишлаб чиқарган электр энергияси (қуввати) истеъмолчида, узатиш линиясида ва манбанинг ўзида сарф бўлган энергияга (қувватга) тенгдир. Мисол тариқасида 1.4-расмда берилган электр занжири учун қувватлар мувозанатини кўриб чиқайлик. Бунинг учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни бўйича занжирнинг электр мувозанат тенгламаси:

$$E = I \cdot r_0 + I \cdot R_{\text{л}} + I \cdot R_{\text{н}} = I \cdot (r_0 + R_{\text{л}} + R_{\text{н}}) = I \cdot (r_0 + R_{\text{т}}),$$

унинг иккала томонини  $I$  га кўпайтирсак, занжирнинг қувватлар мувозанати тенгламаси ҳосил бўлади:

$$E \cdot I = I \cdot r_0 + I^2 \cdot R_{\text{л}} + I \cdot R_{\text{н}}$$

ёки

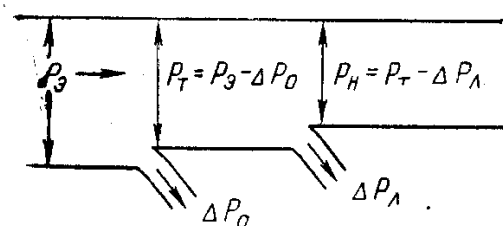
$$P_{\text{э}} = \Delta P_0 + \Delta P_{\text{л}} + P_{\text{н}} = \Delta P_0 + \Delta P_{\text{т}}. \quad (1.15)$$

Бу ерда  $P_{\text{э}} = E \cdot I$ —манба ҳосил қилган электромагнит қувват. У манбанинг ўзида (ичида)  $\Delta P_0 = I^2 \cdot r_0$  қувватга узатиш линияси маълум қаршилик ( $R_{\text{л}}$ ) га эга бўлгани сабабли узатилаётган қувватнинг  $\Delta P_{\text{л}} = I^2 \cdot R_{\text{л}}$  қисми иссиқлик энергиясига, қолган қисми  $P_{\text{н}} = I^2 \cdot R_{\text{н}}$  истеъмолчига (нагрузкага) сарфланади.

Шундай қилиб, кўриб чиқилган занжирнинг қувватлар мувозанати, яъни (1.15) ифода занжирнинг энергетик ҳолатини тўла намоён қилади (1.9-расм)

Амалда электр манбанинг ички қаршилиги занжирнинг ташқи қаршилигидан жуда кичик бўлади, яъни  $r_0 \ll R_{\text{т}}$ . Шунга кўра, электр генераторларнинг фойдали иш коэффициенти катта бўлади.

**1.1-масала.** Ички қаршилик 0,5 Ом, электр юритувчи кучи 150 В бўлган ўзгармас ток генераторининг қисмаларига икки симли узатиш линияси орқали қаршилиги 11,56 Ом бўлган нагрузка уланган (1.4-расм).



1.9-расм.

Узатиш линияси алюминий симлардан иборат бўлиб, унинг параметрлари қуйидагича: узунлиги  $l = 200$  м, кўндаланг кесими  $S = 4$  мм<sup>2</sup>, солиштирма қаршилиги  $\rho = 0,0294 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ . Берилган катталиклар асосида қуйи-

дагилар аниқлансин: 1) занжирдаги ток —  $I$ ; 2) генератор қисмаларидаги кучланиш —  $U$ ; 3) нагрузка қисмаларидаги кучланиш —  $U_n$ ; 4) генераторнинг электромагнит қуввати —  $P_э$ ; 5) генераторнинг ичида сарфланаётган қувват исрофи —  $\Delta P_0$ ; 6) узатиш линиясидаги қувват исрофи —  $\Delta P_l$ ; 7) юклама истеъмол қилаётган қувват —  $P_n$ ; 8) занжирнинг қувватлар мувозанати.

Ечилиши. Узатиш линиясининг қаршилиги

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

Занжирнинг умумий қаршилиги

$$R = r_0 + R_l + R_n = 0,5 + 2,94 + 11,56 = 15 \text{ Ом.}$$

Ом қонунига биноан занжирдаги ток

$$I = \frac{E}{R} = \frac{150}{15} = 10 \text{ А.}$$

Генератор қисмаларидаги кучланиш

$$U_r = E - I \cdot r_0 = 150 - 10 \cdot 0,5 = 145 \text{ В.}$$

Нагрузка қисмаларидаги кучланиш

$$U_n = U_r - I \cdot R_l = 145 - 10 \cdot 2,94 = 115,6 \text{ В.}$$

Генераторнинг электромагнит қуввати

$$P_э = E \cdot I = 150 \cdot 10 = 1500 \text{ Вт} = 1,5 \text{ кВт.}$$

Генераторнинг ичида сарфланаётган қувват исрофи

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

Узатиш линиясидаги қувват исрофи

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

Нагрузка истеъмол қилаётган қувват

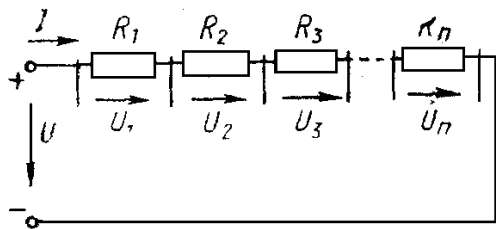
$$P_n = U_n \cdot I = 115,6 \cdot 10 = 1156 \text{ Вт} = 1,156 \text{ кВт.}$$

Занжирдаги қувватлар мувозанати

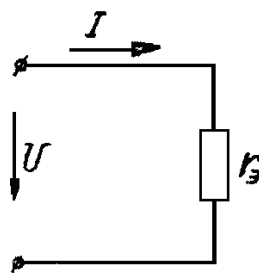
$$P_э = \Delta P_0 + \Delta P_l + P_n = 50 + 294 + 1156 = 1500 \text{ Вт} = 1,5 \text{ кВт.}$$

### 1.7. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИДАГИ ҚАРШИЛИКЛАРНИ УЛАШ СХЕМАЛАРИ

Турли электр занжирларининг иш жараёни таҳлил қилинганда занжирдаги истеъмолчиларнинг эквивалент қаршилигини аниқлаш керак бўлади. Умуман, электр истеъмолчиларни занжирга кетма-кет, параллел ва аралаш улаш схемалари мавжуд.



1.10- расм.



1.11- расм.

Қаршиликларни (истеъмолчиларни) кетма-кет улаш деб, бир қаршилик ( $R_1$ ) нинг охирги учини иккинчи қаршилик ( $R_2$ ) нинг бош учига, иккинчи қаршиликнинг охирги учини учинчи қаршилик ( $R_3$ ) нинг бош учига ва ҳоказ бирлаштиришга айтилади (1.10-расм). Қаршиликлари кетма-кет бирлаштирилган, яъни *тармоқланмаган электр занжири* нинг ўзига хос хусусияти шундаки, унда ток ўтказадиган битта ёпиқ контур бўлиб, контурнинг барча қисмларидан бир хил қийматга эга бўлган ток ўтади. Бундай занжирда унга берилган кучланиш —  $U$  занжирнинг айрим қисмларидаги кучланишлар пасайишининг алгебраик йиғиндисига тенг (Кирхгофнинг II қонунига асосан):

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

ёки

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

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

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

бу ерда:  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  — занжир қисмларининг қаршиликлари;  $R_3$  — занжирнинг эквивалент (умумий) қаршилиги.

Демак, эквивалент қаршилик  $R_3$  занжир айрим қисмлари қаршиликларининг йиғиндисига тенг. У ҳолда 1.10-расмдаги схемага эквивалент электр занжири 1.11-расмдаги кўринишга эга бўлади. Бундай занжирдаги ток Ом қонунига биноан қуйидагича ифодаланади:

$$I = \frac{U}{R_3}. \quad (1.17)$$

Қаршиликларни кетма-кет улаш электротехниканинг турли соҳаларида учрайди. Масалан, ўзгармас ток двигателини ишга туширишда ишга тушириш токини чеклаш мақсадида якорь билан ишга тушириш реостати кетма-кет уланади. Шунингдек, айланиш тезлигини ростлаш мақсадида ростлаш реостати қўлланади. Вольтметрга қўшимча қаршиликни кетма-кет улаш билан унинг ўлчаш чегарасини кенгайтириш мумкин. Манбаларни ҳам ўзаро кетма-кет улаш мумкин. Масалан, аккумулятор ва батарея элементларини ўзаро кетма-кет улаб, керакли кучланишни ҳосил қилиш мумкин.



Қаршиликлари кетма-кет бирлаштирилган занжирнинг бирон қисмида узилиш содир бўлганида унинг тамомила ишдан чиқиши қаршиликларни кетма-кет улаш усулининг асосий камчилигидир.

Қаршиликларни (истеъмолчиларни) параллел улаш деб,  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  ва ҳоказо қаршиликларнинг бош учларини бир тугунга ва ана шу қаршиликларнинг охириги учларини иккинчи тугунга бирлаштиришга айтилади (1.12-расм).

Қаршиликлари параллел уланган электр занжирининг (бундай занжирларни тармоқланган ёки кўп контурли электр занжирлари, деб ҳам аташ мумкин) ўзига хос хусусияти занжирга уланган барча қаршиликлар қисмаларидаги кучланишнинг бир хил қийматга эга бўлишидир.

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  қаршиликлар бош учларининг уланиш нуқталарига келувчи ток ( $I$ ) шу нуқталардан (тугунлардан) тарқалувчи  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  токларнинг йиғиндисига тенг (Кирхгофнинг I қонунига асосан):

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

ёки,

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

Агар

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

бўлса, у ҳолда  $I = U(G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n)$ .

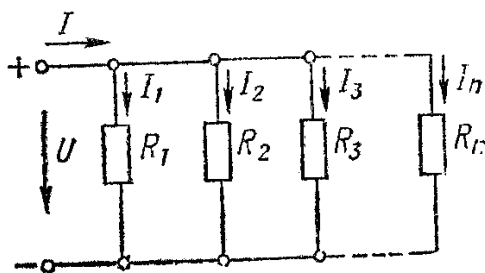
Агар  $G_3 = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$  бўлса, занжирдаги ток қуйидагича ифодаланади:

$$I = U \cdot G_3 \quad (1.19)$$

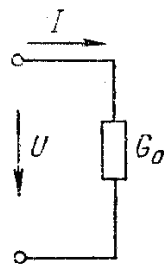
Бу ерда:  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$  — параллел тармоқларнинг ўтказувчанликлари, См;

$G_3$  — параллел тармоқларнинг эквивалент ўтказувчанлиги См.

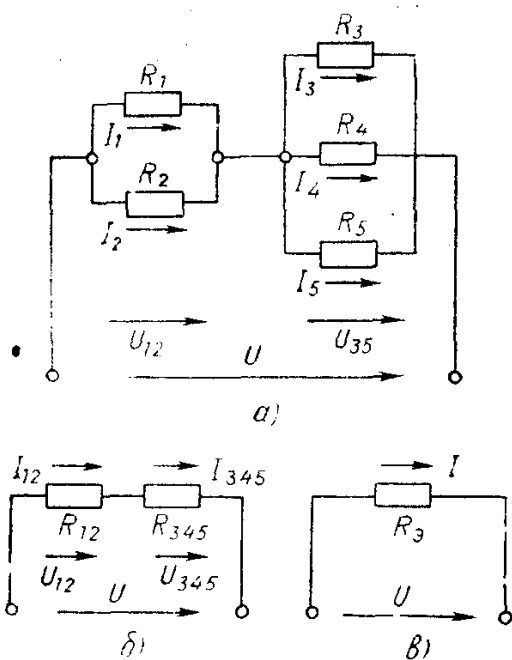
(1.19) формулага биноан 1.12 ва 1.13-расмлардаги схемаларни (занжирларни) ўзаро эквивалент дейиш мумкин. Демак,



1.12- расм.



1.13- расм.



1.14- расм.

веради. Шунинг учун ҳам электр энергиясининг истеъмолчилари тармоққа, асосан, параллел усулда уланади.

Қаршиликларни аралаш улаш кетма-кет ва параллел улашларнинг биргаликда қўлланилишидир (1.14-расм, а) Қаршиликларни аралаш улаш схемаларининг хилма-хиллиги туфайли бундай занжирларнинг эквивалент қаршилигини аниқлашнинг умумий ифодасини чиқариб бўлмайди. Ҳар бир конкрет ҳол учун занжирдаги қаршиликларнинг кетма-кет ва параллел уланган қисмларини шартли равишда ажратиб олиб, маълум формулалар бўйича уларнинг эквивалент қаршиликларини ҳисоблаш лозим.

Қаршиликларни аралаш уланган занжирларнинг эквивалент қаршилигини ҳисоблаш занжирнинг охириги қисмидан манба томон олиб борилади (1.14-расм, б). Бунда занжир тобора содаллашиб бориб, битта эквивалент қаршиликли занжир кўринишига келтирилади (1.14-расм, в). Занжирнинг ҳар бир қисмидаги ток ва кучланиш Ом қонунига биноан ҳисобланади.

**1.2-масала.** 1.14-расм, а да кўрсатилган мураккаб электр занжири учун қуйидагилар:  $U = 36$  В,  $R_1 = 8$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = R_4 = 5$  Ом,  $R_5 = 10$  Ом маълум бўлса, занжирнинг тармоқларидаги  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  токларнинг қиймати аниқлансин.

Ечилиши. Занжирдаги  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликлар ўзаро параллел улангани учун уларнинг эквивалент қаршилиги

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

қаршиликлари параллел уланган электр занжирининг эквивалент ўтказувчанлиги ( $G_3$ ) шу занжир айрим тармоқлари ўтказувчанликлари ( $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ ) нинг йиғиндисига тенг.

Агар электр занжиридаги параллел уланган тармоқларнинг сони иккита бўлса, уларнинг эквивалент қаршилиги қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.20)$$

Қаршиликлари параллел уланган занжирнинг асосий афзаллиги шундаки, бундай занжирнинг бирон тармоғида узилиш содир бўлганида қолган тармоқлар нормал ишлай-

$R_3, R_4, R_5$  қаршиликлар ўзаро параллел улангани учун уларнинг эквивалент ўтказувчанлиги

$$G_3 = \frac{1}{R_{3,4,5}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ См.}$$

Бундан

$$R_{3,4,5} = \frac{1}{G_3} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ Ом.}$$

Қаршиликлар  $R_{1,2}$  ва  $R_{3,4,5}$  ўзаро кетма-кет улангани учун (1.14- расм, б) занжирнинг эквивалент қаршилиги (1.14- расм, в):

$$R_3 = R_{1,2} + R_{3,4,5} = 1,6 + 2 = 3,6 \text{ Ом.}$$

У ҳолда занжирдаги ток

$$I = \frac{U}{R_3} = \frac{36}{3,6} = 10 \text{ А.}$$

Занжирнинг қисмларидаги кучланишлар эса

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

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

У ҳолда тармоқлардаги токларнинг қиймати:

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

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

Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан

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

### 1.8. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИНИНГ ИШ РЕЖИМЛАРИ

Электр занжирларининг иш режимлари, яъни уларнинг электр ҳолатлари мазкур занжир айрим элементларининг токи, кучланиши ва қувватларининг қийматлари билан аниқланади.

Электр занжирларининг характерли ҳисобланган қуйидаги иш режимлари билан танишиб чиқамиз.

**Номинал (нормал) режим** электр машиналарининг, аппаратларнинг, асбобларнинг ва симларнинг ишлаб чиқарувчи завод томонидан кўрсатилган номинал ток —  $I_{\text{ном}}$ , номинал кучланиш —  $U_{\text{ном}}$  ва номинал қувват —  $P_{\text{ном}}$  билан ишлашидир. Электр қурилмасининг номинал параметрлари, одатда, унинг паспортда кўрсатилган бўлади.

Электр қурилмаларининг номинал параметрлари ичида энг характерлиси *номинал кучланиш* ва *номинал ток* ҳисобланади.

Ўзгармас токда ишлайдиган аксарият истеъмолчилар 110, 220, 440 В номинал кучланишларга мўлжалланган бўлади.

Электр қурилмаларининг изоляцияси ва элементларининг конструкцияси унинг номинал кучланишига, уларнинг чегаравий қизиш температураси эса номинал ток кучига боғлиқ.

Электрэнергетик қурилманинг номинал токи ва кучланиши унинг *номинал қувватини* аниқлашга имкон беради. Генераторнинг номинал қуввати дейилганда, унинг нормал шароитда ташқи занжирга бера оладиган энг катта фойдали қуввати тушунилади. Двигателнинг номинал қуввати дейилганда эса нормал шароитда унинг валида ҳосил қилиниб, узок вақт давомида тутиб туриладиган энг катта фойдали қувват тушунилади. Бошқа истеъмолчилар учун номинал қувват, уларнинг нормал режимда истеъмол қила оладиган электр қувватидир.

Электр энергияси истеъмолчиларининг нормал режимда ишлашини таъминлаш учун, биринчи навбатда, уларнинг кириш қисмаларидаги ҳақиқий кучланишнинг номинал кучланиш қийматига тенг бўлишига эришмоқ зарур.

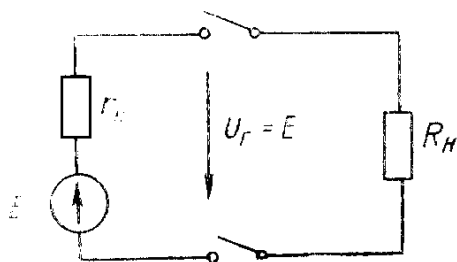
Электр занжирларининг иш режимлари турли сабабларга кўра номиналдан фарқ қилиши мумкин. Агар электр занжири режимининг ҳақиқий характеристикалари унинг номиналидан фарқ қилса-ю, аммо бу фарқ жоиз чегарада бўлса, бундай режим **нагрузка режими** дейилади. Масалан, радио ва телевизорлар учун кучланишнинг жоиз чегараси  $210 \div 235$  В, номинал кучланиш эса  $U_{ном} = 220$  В ҳисобланади.

**Салт ишлаш режими** деганда ташқи занжир манбадан ажратилган ва унинг қаршилиги амалда чексизга тенг бўлиб ( $R_r = \infty$ ), занжирдан ток ўтмагандаги ( $I = 0$ ) ҳолат тушунилади (1.15-расм). Бу ҳолда манба ичида кучланишнинг пасайиши нолга тенг бўлиб, унинг қисмаларидаги кучланиш генераторнинг (манбанинг) ЭЮК ига тенг бўлади ( $E \approx U_r$ ).

Элементлари ўзаро кетма-кет уланиган занжирнинг бирор элементи салт ишласа, қолган барча элементлар ҳам ана шу режимда ишлайди. Шунингдек, электр двигателларнинг вали механик нагрузкасиз айланиши, трансформаторларнинг эса электр нагрузкасиз ишлаши салт ишлаш режимига киради.

**Қисқа туташуш режими** деб, қисмаларида кучланиши бўлган занжир ёки занжир элементларининг (манба, истеъмолчи, узатиш линияси ёки бирлаштирувчи симлар) қаршилксиз, ўзаро уланиб қолишига айтилади.

Электр қурилмалари учун қисқа туташуш режими салбий ҳолат ҳисобланади. Чунки занжирнинг қисқа туташув бўлган жойида қаршилик  $R \approx 0$  бўлиши натижасида қисқа туташуш токи номинал қийматдан бир неча марта ортиб ке-



1.15-расм.

тади. Натижада кагта иссиқлик ажралиб чиқиб, қурилманинг изоляцияси ишдан чиқади. Баъзи қисқа туташиларда электр ёйи ҳосил бўлиши мумкин. Умуман, қисқа туташил режимини похуш оқибатларга олиб келиши сабабли уни *аварияли режим*, деб ҳам аталади. Қисқа туташил электр қурилмаларини монтаж қилиш ва ундан фойдаланишнинг норма ва қоидаларига тўлиқ риоя қилинмаганлигининг натижасидир. Электр қурилмаларини қисқа туташув тоқларидан ҳимоялаш учун занжирнинг шикастланган жойини тармоқдан автоматик равишда узиб қўядиган ҳимоя қурилмаларидан фойдаланилади.

### 1.9. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ УСУЛЛАРИ

Электр занжирларини ҳисоблашдаги асосий вазифа тоқнинг занжир тармоқларида қандай тақсимланганлигини аниқлашдир. Бу вазифа электр занжири учун асосий бўлган Ом ва Кирхгоф қонунларидан фойдаланиб ҳал этилади.

Мураккаб электр занжирларининг ишлашини таҳлил қилиш ва ҳисоблаш учун Кирхгофнинг иккала қонунига асосланган бир нечта усуллар ишлаб чиқилган. Аммо конкрет шароитда берилган электр занжири схемасидаги элементларнинг жойлашишига (конфигурацияси) кўра ва масалада қўйилган шароитларга биноан уни қайси усул билан ечиш самарали бўлса, ўша усулдан фойдаланиш тавсия этилади. Қуйида электр занжирларини ҳисоблашнинг амалда кенг тарқалган усуллари билан танишиб чиқамиз.

**Кирхгоф қонунларини бевосита кўллаш усули.** Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонунларидан фойдаланиб, ҳар қандай мураккабликдаги тармоқланган электр занжири учун керакли тенгламаларни туздан сўнг уларни биргаликда ечиб, зарур катталикларни (масалан, тоқларни) аниқлаш мумкин.

Берилган электр занжири учун Кирхгоф қонунларига асосланиб тенгламалар тузишдан аввал қуйидаги тартиб ва қоидаларга риоя қилиш лозим:

1. Берилган электр занжири схемасини иложи борица содалаштириш.

2. Берилган электр занжири схемасини мустақил контурларга ажратиш.

3. Схепада аввалдан берилган ЭЮК, кучланиш ва тоқларнинг ҳамда аввалдан номаълум бўлган тоқларнинг ихтиёрий шартли мусбат йўналишини кўрсатиш (танлаш).

4. Схепадаги ҳар бир берк контурни айланиб чиқишнинг ихтиёрий йўналишини кўрсатиш (танланган йўналиш бўйича тузилган тенгламалар ўзаро боғлиқ бўлмасин).

5. Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича  $n - 1$  ( $n$  — схемдаги тугунлар сони) ҳол учун тоқлар тенгласини тузиш, акс ҳолда охириги тугун учун тузилган тенглама аввалгиларига боғлиқ бўлиб қолади.

6. Кирхгофнинг иккинчи қонунига кўра (ўзаро боғлиқ бўлмаган)  $K - (n - 1)$  етишмовчи тенгламаларни тузиш ( $K$  — номаълум тоқлар сони).

а) йўналиши контурни айланиб чиқиш йўналиши билан мос бўлган барча ЭЮК ларни мусбат ишора билан, йўналиши қарама-қарши бўлган барча ЭЮК ларни манфий ишора билан тенгламанинг бир томонига ёзиш;

б) йўналиши контурни айланиб чиқиш йўналиши билан мос бўлган тоқларнинг (ички ва ташқи қаршилиқда) барча тармоқларда ҳосил қилган кучланишлар пасайишини мусбаг ишора билан, йўналиши қарама-қарши бўлган барча тармоқлардаги кучланишларнинг пасайишини эса манфий ишора билан тенгламанинг иккинчи томонига ёзиш.

7. Кирхгоф қонунлари бўйича тузилган тенгламалар сони схемадаги тармоқлар сонига тенг бўлиши керак.

Мисол тариқасида 1.16-расмда кўрсатилган электр занжирдаги тоқларни аниқлайлик (ЭЮК ва қаршилиқлар маълум, деб фараз қиламиз).

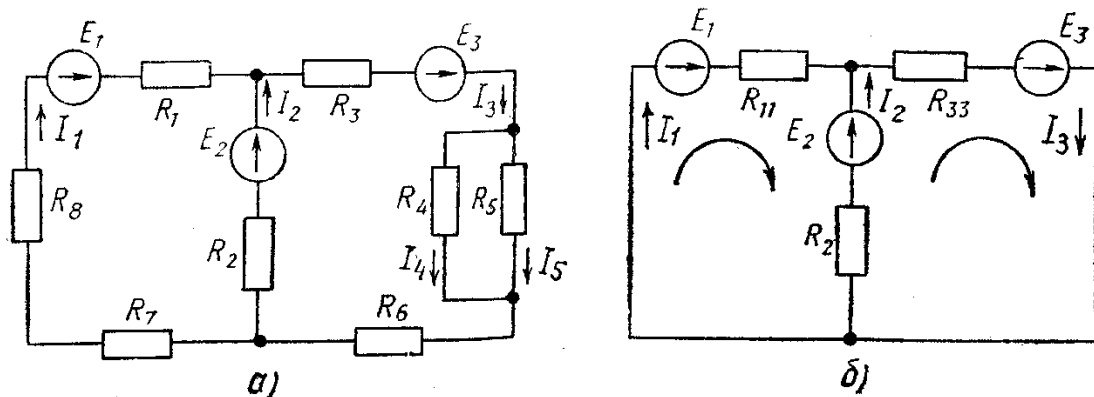
Берилган бошланғич схемани (1.16-расм, а) соддалаштиргандан сўнг 1.16-расм, б даги схема ҳосил бўлади.

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

Схемада аввалдан маълум бўлган ЭЮК йўналишини ва аниқланиши лозим бўлган тоқларнинг ихтиёрий мусбат йўналишини кўрсатиб, Кирхгоф қонунларига кўра тенгламалар системасини тузамиз. Тармоқлар сони учта бўлгани учун тенгламалар сони ҳам учта бўлиши керак:

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

(1.21) тенгламалар системасини ечиш натижасида айрим тоқлар мусбат ёки манфий ишорага эга бўлиб қолиши мумкин. Мусбаг ишоралар тоқларнинг ҳақиқий йўналишлари тўғри белгиланганлигини, манфийлари эса тоқларнинг йўналиши тескари белгиланганлигидан дарак беради.



1.16-расм.

**1.3-масала.** 1.16-расм, *a* да кўрсатилган электр занжири учун

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

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

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

эканлиги маълум бўлса, Кирхгоф қонунларини бевосита қўллаш усули ёрдамида занжирдаги тоқларнинг тақсимланиши аниқлансин.

Ечилиши. Аввал  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  ва  $R_7$ ,  $R_8$  қаршиликларнинг эквивалент қаршилигини аниқлаб, берилган схемани соддароқ кўринишга (1.16-расм, *b*) келтирамиз:

$$R_{11} = 7 + 7 + 8 = 22 \text{ Ом}; \quad R_{33} = 7 + 9,5 + \frac{2 \cdot 6}{2 + 6} = 18 \text{ Ом}.$$

ЭЮК лар ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ) ва тармоқлардаги тоқлар ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) нинг ихтиёрий мусбат йўналишларини 1.16-расм, *b* да кўрсатилгандек қабул қиламиз. Сўнгра ЭЮК ва қаршиликларнинг маълум қийматларини (1.21) тенгламалар системасига қўямиз:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 3U = 22I_1 - 9I_2 \\ 162 = 9I_2 + 18I_3. \end{cases}$$

Мазкур тенгламалар системасини ечиб,  $I_1 = 3 \text{ А}$ ,  $I_2 = 4 \text{ А}$  ва  $I_3 = 7 \text{ А}$  эканлигини топамиз.

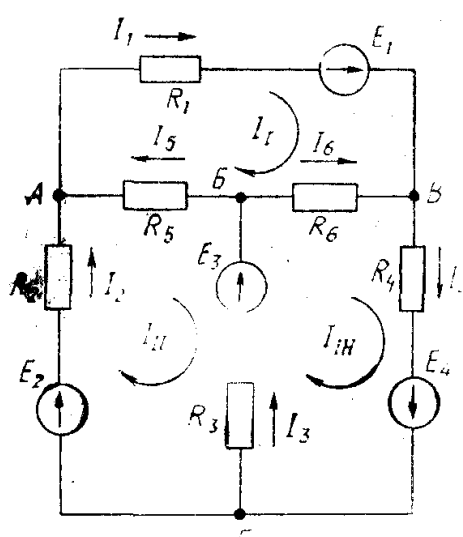
Демак, аниқланган барча тоқларнинг ишораси мусбат бўлиб чиқди, чунки тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий йўналиши уларнинг 1.16-расмда кўрсатилган йўналишларига мос келди.  $I_3$  тоқи ўзаро параллел бўлган  $R_4$  ва  $R_5$  тармоқларда тақсимланиб, уларнинг қаршилигига тесқари пропорционал равишда ўзгаради, яъни:

$$I_4 = I_3 \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5} = 7 \cdot \frac{6}{8} = \frac{21}{4} = 5,25 \text{ А};$$

$$I_5 = I_3 \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5} = 7 \cdot \frac{2}{8} = \frac{7}{4} = 1,75 \text{ А}.$$

**Контур тоқлари усули.** Бу усул мураккаб электр занжирларини ҳисоблашда амалда кенг қўлланиладиган усуллардан бири бўлиб, Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан тузилган тенгламалар бўйича таҳлил қилинади.

Контур тоқлари усули тугун нуқталари кўп бўлган мураккаб электр занжирларни ҳисоблашда самарали бўлиб, у ёрдамида тенгламалар системаси тузилганда, Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича тузиладиган тенгламалардан фарқли ўлароқ, умумий ечиладиган тенгламаларнинг сони аввалги усулга қараганда биттага камаяди.



1.17- расм.

Мазкур усул ёрдамида мураккаб электр занжирининг схемаси (1.17- расм) ҳисобланганда уни аввал мустақил (I; II; III) контурларга ажратиб, ҳар бир контурда ихтиёрий йўналишга эга бўлган контур токлари  $I_I$ ,  $I_{II}$  ва  $I_{III}$  оқиб ўтаяпти, деб фараз қилинади. Контур токларининг йўналишини, иложи борича, ЭЮК лар йўналишига мос қилиб олган маъқул. Агар контур токларининг қийматлари аниқланса, улар орқали барча тармоқлардаги токларнинг ҳақиқий қийматларини аниқлаш мумкин.

Контур токлари абсолют қиймат жиҳатдан мустақил тармоқлардаги токларга тенг бўлиши керак. Агар мустақил тармоқдаги токнинг йўналиши (ихтиёрий олинган) контур токининг йўналиши билан мос бўлса, мустақил тармоқдаги ток „+“ ишорага, мос бўлмаса манфий ишорага эга бўлади. Масалан, 1.17- расмда кўрсатилган схемадаги мустақил (AB; АГ; ВГ) тармоқларнинг токлари  $I_1 = I_I$ ;  $I_2 = I_{II}$ ;  $I_4 = I_{III}$  бўлади.

Ёндош тармоқлар (AB; БВ; БГ) даги ( $I_3$ ;  $I_5$ ;  $I_6$ ) тоklar ёндош контурларнинг токлари орқали аниқланади. Ёндош контурдаги токнинг ҳақиқий қиймати ва йўналиши ёндош токларнинг алгебраик йиғиндисидан иборат. Масалан, 1.17- расмдаги схемада ёндош тармоқларнинг токлари:

$$I_3 = I_{III} - I_{II}; \quad I_5 = I_I - I_{II}; \quad I_6 = I_{III} - I_I.$$

Контур токлари ( $I_I$ ,  $I_{II}$ ,  $I_{III}$ ) ни аниқлаш учун ҳар бир контурга алоҳида. Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан тенглама тузилади. Тенгламани тузишда қуйидагиларга риоя қилиш тавсия этилади.

1. Контурлар учун тенгламалар тузишда контурни айланиб чиқишни контур токлари йўналиши бўйича олиш.

2. Тенгламада тармоқ токларининг ўрнига контурнинг барча тармоқлар учун бир хил бўлган контур тоklarини олиш.

3. Йўналиши контур токининг йўналиши билан мос бўлган ЭЮК ларни „+“ ишора билан, йўналиши мос бўлмаган ЭЮК ларни эса „-“ ишора билан ёзиш\*.

4 Ёндош тармоқлардаги тоklarнинг йўналиши контур тоklarининг йўналиши билан мос бўлса, ёндош тармоқнинг қар-

\* Агарда контурда ЭЮК бўлмаса, тенгламанинг чап томони нолга тенг бўлади.





Бу ерда  $\Delta$  — тенгламалар системасининг бош аниқловчиси:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & \dots & R_{2n} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & \dots & R_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & R_{n3} & \dots & R_{nn} \end{vmatrix}; \quad (1.26)$$

$\Delta k_n$  — бош аниқловчининг  $k$  — қатор ва  $n$  — устунини ўчириб ташлаш билан олинган аниқловчини  $(-1)^{b+n}$  га кўпайтиришдан ҳосил бўлган алгебраик тўлдирувчисидир.

1.4-масала. 1.17-расмда кўрсатилган электр занжири учун қуйидагилар:

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

маълум бўлса, занжир тармоқларидаги тоқларнинг тақсимла- ниши контур тоқлари усули ёрдамида аниқлансин.

Ечилиши. ЭЮК ларнинг, тармоқлардаги тоқларнинг, шу- нингдек контур тоқларининг йўналишини расмда кўрсатилган- дек қабул қиламиз. Ҳар бир контур ЭЮК ларининг алгебраик йиғиндилари:

$$\begin{aligned} E_I &= E_1 = 20 \text{ В}; & E_{II} &= E_2 - E_3 = 25 - 15 = 10 \text{ В}; \\ & & E_{III} &= E_3 + E_4 = 15 + 15 = 30 \text{ В}. \end{aligned}$$

Ҳар бир контур қаршиликларининг йиғиндилари:

$$\begin{aligned} R_{II} &= 12 + 5 + 5 = 22 \text{ Ом}; \\ R_{22} &= 11 + 10 + 5 = 26 \text{ Ом}; \\ R_{33} &= 10 + 10 + 5 = 25 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Ёндош тармоқларнинг қаршиликлари:

$$\begin{aligned} R_{12} &= R_{21} = -5 \text{ Ом}; & R_{13} &= R_{31} = -5 \text{ Ом}; \\ & & R_{23} &= R_{32} = -10 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Олинган ЭЮК ва қаршиликларнинг қийматларини (1.24) тенгламалар системасига қўямиз:

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

Мазкур тенгламалар системасининг бош аниқловчиси  $\Delta$  ни топамиз.

$$\Delta = \begin{vmatrix} 22 & -5 & -5 \\ -5 & 26 & -10 \\ -5 & -10 & 25 \end{vmatrix} = 22 \cdot \begin{vmatrix} 26 & -10 \\ -10 & 25 \end{vmatrix} + 5 \cdot \begin{vmatrix} -5 & -10 \\ -5 & 25 \end{vmatrix} -$$

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

Контур тоқларини аниқлаш учун бош аниқловчининг алгебраик тўлдирувчиларини топамиз.

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

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

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

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

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

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

Аниқланган катталиклар ёрдамида контур тоқларини топамиз:

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

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

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

Контур тоқлари ёрдамида тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий қийматини аниқлаймиз:

$$I_1 = I_I = 1,76 \text{ A}, \quad I_2 = I_{II} = 1,56 \text{ A}, \\ I_3 = I_{III} - I_{II} = 2,18 - 1,56 = 0,62, \quad I_4 = I_{III} = 2,18 \text{ A}, \\ I_5 = I_I - I_{II} = 1,76 - 1,56 = 0,2 \text{ A}, \\ I_6 = I_{III} - I_I = 2,18 - 1,76 = 0,42 \text{ A}.$$

Демак, барча тармоқ тоқларининг қийматлари мусбат бўлгани туфайли 1.17-расмда кўрсатилган тоқларнинг йўналишлари ўзгаришсиз қолади

**Тугун потенциаллари (кучланишлари) усули.** Маълумки, агар занжирдаги берилган ЭЮК (тоқ) манбалари ва қаршиликлари бўйича занжирнинг тармоқларидаги тоқлар ва барча тугунлари орасидаги кучланишлар пасайишини аниқлаш мумкин бўлса, бундай занжирни таҳлил қилиш мумкин, деб ҳисобланади.

Агар ихтиёрий мураккаб электр занжирдаги  $(m + 1)$  тугунлардан биттасини [масалан,  $(m + 1)$  тугунни] ажратиб олиб, унинг потенциали нолга тенглаштирилса ( $\varphi_{m+1} = \varphi_0 = 0$ ), у ҳолда қолган барча тугунларнинг потенциали ана шу тугунга нисбатан аниқланади:

$$\begin{aligned} \varphi_{10} = \varphi_1 - \varphi_0 = \varphi_1; \quad \varphi_{20} = \varphi_2 - \varphi_0 = \varphi_2; \quad \dots; \\ \varphi_{m0} = \varphi_m - \varphi_0 = \varphi_m. \end{aligned}$$

Бунда  $q$  ва  $S$  тугунлари орасига жойлашган  $q - S$  тармоқнинг қисмаларидаги потенциаллар айирмаси  $\varphi_q = \varphi_q - \varphi_s$  бўлади.  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$  тугунларнинг потенциаллари маълум бўлса, улар орасидаги айирма ҳар доим шу тарзда аниқланади. Сўнгра Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан занжирнинг  $m$  та мувозанат тенграмаси тузилади. Тенгламадаги тегишли тармоқларнинг тоқларини шу тармоқ ўтказувчанлигининг унинг элементидаги кучланишнинг пасайишига кўпайтмаси тарзида ифодалаймиз. Масалан, 1.18-расмдаги занжир учун бундай тенграмалар сони иккита бўлади, яъни:

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

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

$a, b$  ва  $v$  тугунларнинг потенциалларини тегишлича  $\varphi_a = \varphi_1, \varphi_b = \varphi_2$  ва  $\varphi_v = 0$  орқали белгилаб, бутун занжирнинг тоқлари учун қуйидаги тенграмаларни тузамиз:

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

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

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

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

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

Бунда  $G_1, G_2, \dots, G_5$  — занжир тегишли тармоқларининг ўтказувчанликлари.





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

$$J_1 = E_1 G_1 = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ A}; \quad J_2 = E_2 G_5 = \frac{30}{16} = 1,875 \text{ A}.$$

Юқоридаги тенгламалар системасини қайта ёзамиз:

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

Бу системани ечиш натижасида қуйидагига эга бўламиз:

$$\varphi_1 = 20 \text{ В}, \quad \varphi_2 = 14 \text{ В}.$$

Тармоқлардаги тоқлар эса қуйидаги қийматларга эга.

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

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

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

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

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

Кирхгофнинг I қонунига биноан:

„a“ тугун учун  $I_1 - I_2 - I_3 = 0 \iff 5 - 4 - 1 = 0;$

„b“ тугун учун  $I_3 - I_4 + I_5 = 0 \iff 1 - 2 + 1 = 0.$

**Устлаш (суперпозиция) усули.** Бу усулдан, асосан, чизиқли электр занжирлари (қаршилиги ўзидан ўтаётган токка боғлиқ бўлмаган электр занжирлари)ни ҳисоблашда фойдаланилади.

Ушбу усулга асосан схемада бирдан ортиқ ЭЮК манбалари бўлса, электр занжири ҳар бир ЭЮК манбаининг таъсиридан ҳосил бўлган хусусий тоқлар учун алоҳида (босқичма-босқич) ҳисобланади. Ҳар бир босқичда схемада битта ЭЮК манбаи қолдирилиб, қолган барча манбалар вақтинча нолга тенг, деб фараз қилинади ва барча тармоқларда шу ЭЮК таъсиридан оқаётган тоқлар топилади. Занжирда нечта ЭЮК манбаи бўлса, ҳисоблаш ишлари шунча марта бажарилади. Аммо занжирдаги барча қаршилиқлар ва схемадан вақтинча ажратилган манбаларнинг ички қаршилиқлари ўзгаришсиз қолдирилади. Агар манбаларнинг ички қаршилиги берилмаган бўлса, у нолга тенг деб қабул қилинади. Агар бирор мураккаб электр занжири  $m$  та ЭЮК манбаидан ва  $n$  та тармоқдан ташкил топган бўлса, у ҳолда  $k$ -номерли ихтиёрий тармоқнинг  $R_k$  қаршилигидан схемадаги ҳар бир ЭЮК таъсиридан ҳосил бўл-

ган  $I_k', I_k'', \dots, I_k^{(m)}$  каби турли қиймат ва йўналишларга эга бўлган хусусий тоқлар оқиб ўтади.

Тармоқлардан оқиб ўтаётган тоқларнинг ҳақиқий қийматлари айрим манбалар таъсирида ҳосил бўлган хусусий тоқларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

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

Тармоқлардаги хусусий тоқларнинг йўналишлари ўзаро мос бўлса, ҳақиқий ток мусбат, қарама-қарши бўлса манфий ҳисобланади. Шунинг учун тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий йўналишларини схемадаги барча манбаларнинг тоқлари (уларнинг қиймати ва йўналиши) аниқлангандан сўнг кўрсатиш маъқул.

**1.6-масала.** Агар 1.19-расм, *а* да берилган электр занжири учун қуйидагилар:  $E_1=99$  В,  $E_2=66$  В,  $R_1=12$  Ом,  $R_2=6$  Ом,  $R_3=18$  Ом эканлиги маълум бўлса, занжир тармоқларидаги тоқлар устлаш усули ёрдамида аниқлансин.

Ечилиши. Агар электр занжирида фақат ЭЮК  $E_1$  нинг таъсири мавжуд десак (1.19-расм, *б*), у ҳолда занжирнинг умумий қаршилиги:

$$R_{13} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 12 + \frac{6 \cdot 18}{6 + 18} = 16,5 \text{ Ом.}$$

Занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток:

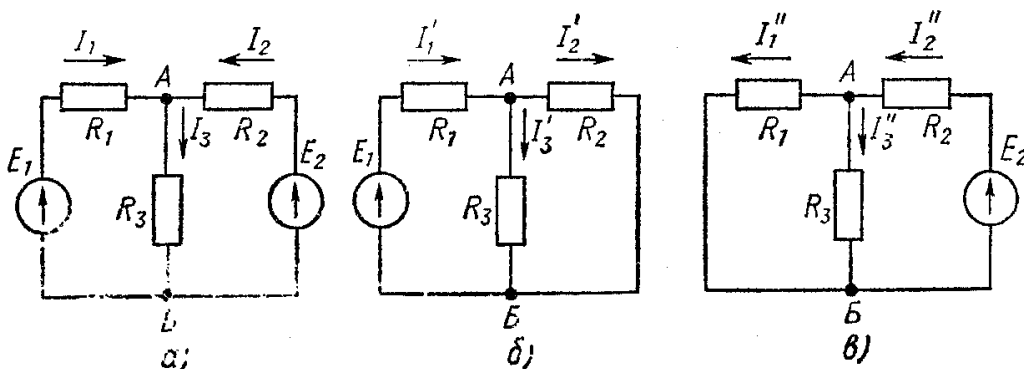
$$I_1' = \frac{E_1}{R_{13}} = \frac{99}{16,5} = 6 \text{ А.}$$

Тармоқлардаги хусусий тоқлар:

$$I_2' = I_1' \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 6 \cdot \frac{18}{6 + 18} = 4,5 \text{ А;}$$

$$I_3' = I_1' \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 6 \cdot \frac{6}{6 + 18} = 1,5 \text{ А.}$$

Агар занжирда фақат ЭЮК  $E_2$  нинг таъсири мавжуд десак, (1.19-расм, *в*), у ҳолда занжирнинг умумий қаршилиги:



1.19-расм.



$$R_{23} = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 6 + \frac{12 \cdot 8}{12 + 8} = 6 + 7,2 = 13,2 \text{ Ом.}$$

Занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток:

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_{23}} = \frac{66}{13,2} = 5 \text{ А.}$$

Тармоқлардаги хусусий тоқлар:

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

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

Хусусий тоқларнинг қийматлари ва йўналишларини ҳисобга олган ҳолда, тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий қиймат ва йўналишларини аниқлаймиз:

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

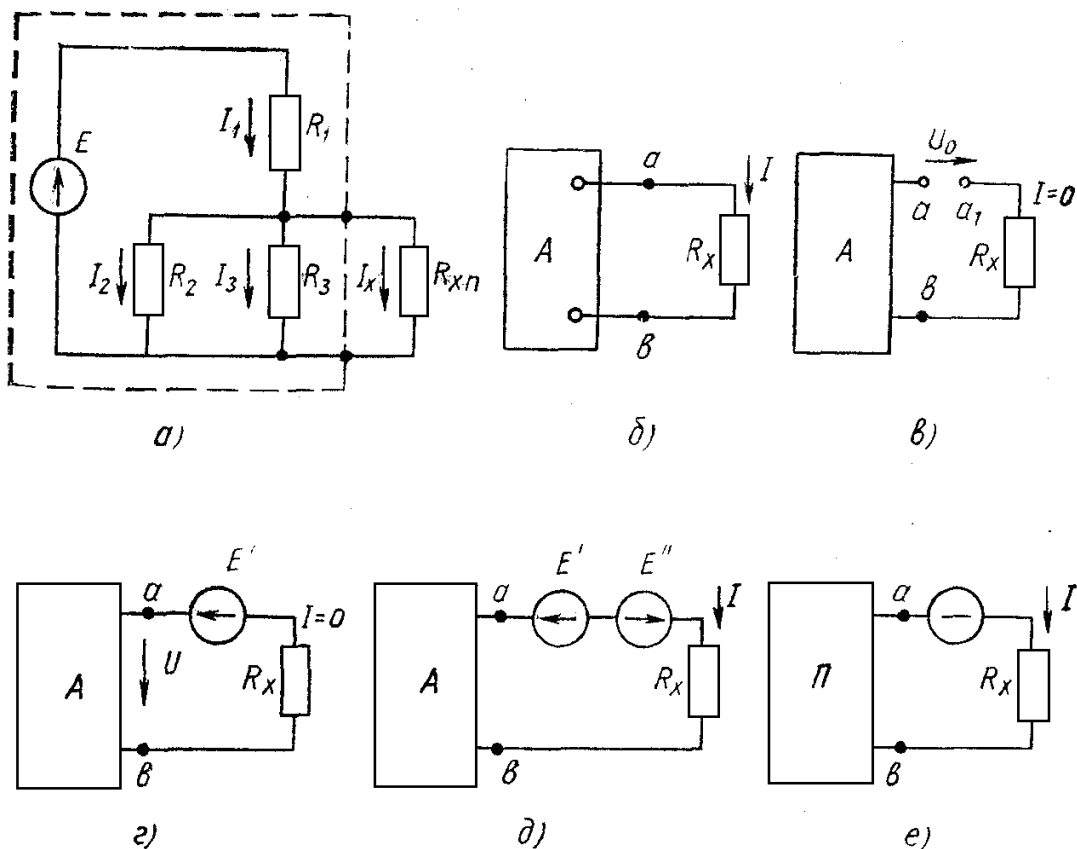
$$I_2 = I_2' - I_2'' = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ А;}$$

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

Демак, тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий йўналишлари 1.19-расм, *a* да кўрсатилган йўналишларга мос келади.

**Эквивалент генератор (манба) усули.** Мураккаб электр занжирининг ихтиёрий битта тармоғидаги тоқнинг қийматини аниқлаш керак бўлганда эквивалент генератор усули бирмунча қулай ҳисобланади. Масалан, 1.20-расм, *a* даги занжир *anb* тармоғининг  $R_x$  қаршилигидан ўтаётган  $I_x$  тоқини аниқлаш керак бўлсин. Албатта, бу ток занжирнинг пунктирга олинган қисмидаги ЭЮК (ЭЮК манбалари бирдан ортиқ бўлиши ҳам мумкин) таъсиридан ҳосил бўлган тоқдир. Занжирнинг пунктирга олинган қисми электротехникада икки қисмали ёки икки қутбли актив занжир дейилади. Шунга кўра, 1.20-расм, *b* да занжирнинг пунктирга олинган қисми иккита қисмаси бўлган тўртбурчак *A* тарзида кўрсатилган. *anb* тармоғидаги тоқни аниқлаш осон бўлиши учун шу тармоқнинг *a* нуқтасидан занжирни ажратамиз (1.20-расм, *b*), у ҳолда *anb* тармоғидаги ток нолга тенг бўлиб, *a* ва *a*<sub>1</sub> нуқталари орасида салт ишлаш кучланиши  $U_0$  ҳосил бўлади. Агар *a* ва *a*<sub>1</sub> қисмаларига қиймати  $U_0$  нинг қийматига тенг, аммо йўналиши унга қарма-қарши бўлган ЭЮК  $E_1$  ни уласак (1.20-расм, *г*),  $R_x$  қаршилигидаги ток нолга тенглигича қолаверади.

Агар *anb* тармоғига қиймати ЭЮК  $E'$  га тенг, аммо йўналиши унга тескари бўлган ЭЮК  $E''$  ни уласак (1.20-расм, *д*),  $R_x$  қаршилигидан қиймати бошланғич занжирдаги (1.20-расм, *a*) ҳақиқий ток қийматига тенг бўлган ток ўта бошлайди. Шунинг учун бу схема бошланғич схемага эквивалент ҳисобланади. Бу ҳолда *anb* тармоғидан фақат ЭЮК  $E'' = U_0$  таъси-



1.20- расм.

рида ҳосил бўлган ток ўта бошлайди, чунки бошқа ЭЮК лар таъсиридан ҳосил бўлган тоқлар нолга тенг бўлади. Шунга кўра,  $anb$  шохобчадан ўтаётган ток қуйидагича аниқланади:

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

Бу ерда  $R_{\text{эи}}$ —икки қутбlilik ички қаршиликларининг эквивалент қиймати (унинг барча ЭЮК лари нолга тенг деб ҳисобланганда), аммо икки қутбlilikка уланувчи қаршилик ўзгаришсиз қолдирилади. Бундай икки қутбlilik пассив қутбlilik дейилиб, шартли равишда ичига П ҳарфи ёзилган тўрт бурчак тарзида кўрсатилади. Қаршилик  $R_{\text{эи}}$  ни икки қутбlilikнинг кириш қаршилиги  $R_{\text{кир}}$  деб ҳам аталади.

**1.7-масала.** 1.20-расм,  $a$  да кўрсатилган занжир учун қуйидагилар;  $E = 60$  В,  $R_1 = 18$  Ом,  $R_2 = 30$  Ом,  $R_3 = 20$  Ом ва  $R_x = 12$  Ом маълум бўлса, занжирнинг  $anb$  шохобчасидан ўтаётган ток  $I$  аниқлансин.

Ечилиши.  $anb$  шохобча занжирнинг  $a$  нуқтасидан ажратилганда  $a$  ва  $a_1$  қисмалардаги кучланиш  $U_0$  ни аниқлаш учун аввал занжирнинг пунктирга олинган қисмидаги эквивалент қаршилик  $R_{\text{э}}$  ва ток  $I$  ни ҳисоблаш керак.

$$R_{\text{э}} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 18 + \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 30 \text{ Ом.}$$

У ҳолда занжирдаги ток:

$$I = \frac{E}{R_0} = \frac{60}{30} = 2 \text{ A.}$$

$ab$  қисмалардаги кучланиш ( $U_{ab} = U_0$ ) қуйидагича аниқланади:

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

Номаълум ток

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

Бу ерда:

$$R_{\text{кир}} = \frac{R_1 \cdot R_{23}}{R_1 + R_{23}} = \frac{18 \cdot 12}{18 + 12} = \frac{36}{5} = 7,2 \text{ Ом;}$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 12 \text{ Ом.}$$

*Текшириш.* Занжирнинг чиқиш қисмаларидаги кучланиш

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

Демак, тармоқлардаги тоқлар тегишлича қуйидагиларга тенг:

$$I_2 = \frac{15}{30} = 0,5 \text{ A ва } I_3 = \frac{15}{20} = 0,75 \text{ A.}$$

Умумий ток

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

$R_1$  қаршилиқдаги кучланиш

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

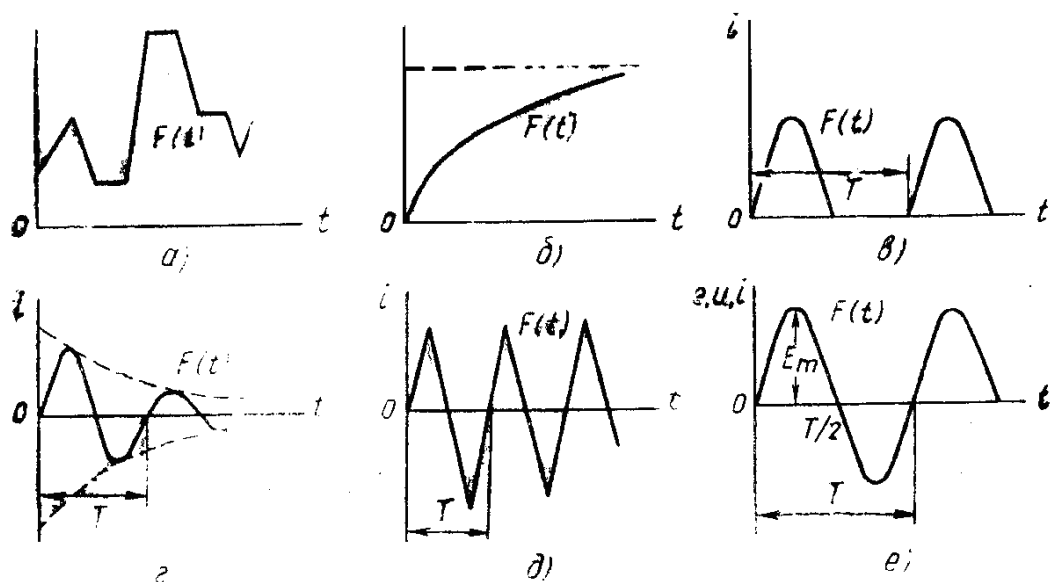
ёки

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

## 2. 606. БИР ФАЗАЛИ ЎЗГАРУВЧАН ТОҚ ЗАҶИРЛАРИ

### 2.1. ЎЗГАРУВЧАН ТОҚ ТУРЛАРИ

Йўналиши ва қиймати даврий равишда ўзгариб турадиган ҳар қандай тоқ *ўзгарувчан тоқ* дейилади. Ўзгарувчан тоқ вақт бўйича маълум қонун асосида ўзгаради, яъни тоқнинг қиймати вақтнинг функциясидир. Шунингдек, электромагнит энергиясини бир турдан бошқа турга айлантиришнинг барча физикавий жараёнлари ҳозирги замон электротехникаси барча соҳалари (электр машиналар, радиотехника, алоқа, электроавтоматика, ярим ўтказгичлар, ҳисоблаш техникаси ва бошқалар)нинг асосини ташкил этади. Айрим электр қурилмаларда эса қиймати даврий равишда ўзгарувчи тоқлар ишлатилади. Бундай тоқлар пульсацияланувчи тоқлар дейилади (2.1-расм,  $a-v$ ).



1.21- расм.

Умуман ўзгарувчан токни шартли равишда учта турга бўлиш мумкин:

- 1) қиймати ўзгарувчан, аммо йўналиши ўзгармас ток (2.1-расм, *a—b*);
- 2) қиймати ва йўналиши ўзгарувчан ток (2.1-расм, *г—e*);
- 3) даврий ўзгарувчан ток (2.1-расм, *в—e*).

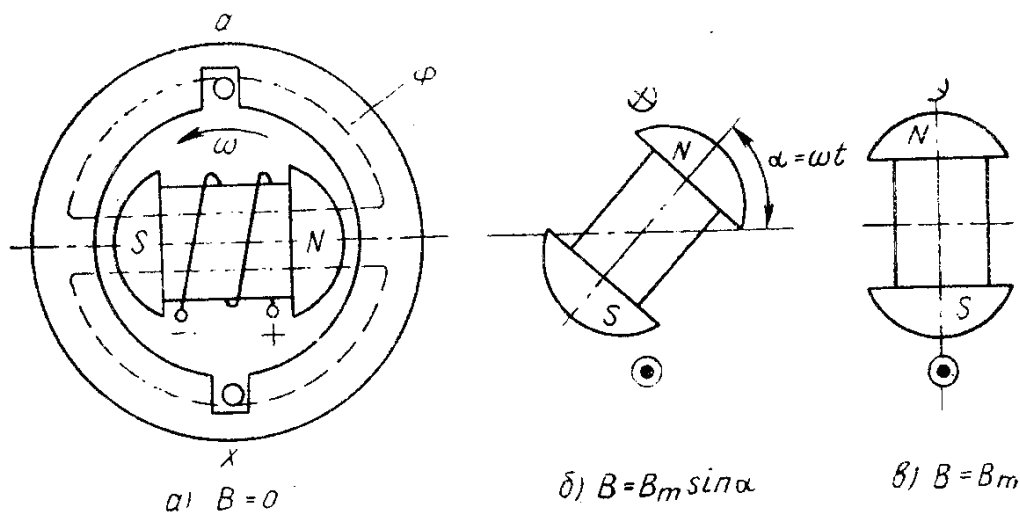
Саноатда ва турмушда фойдаланиладиган ўзгарувчан ток синусоидал қонун бўйича ўзгарадиган ўзгарувчан токдир (2.1-расм, *e*). Бу токни юқори кучланиш билан узоқ масофаларга узатиш ҳамда ўзгарувчан токда ишловчи машина ва аппаратлар (трансформаторлар, асинхрон ва синхрон двигателлар) ни ишга туширишда ишлатиш мумкин. Синусоидал қонун бўйича ўзгарадиган ЭЮК, кучланиш ва тоқлар *синусоидал ўзгарувчан катталиклар* ҳисобланади.

Синусоидал ўзгарувчан катталиклар бўлмиш ЭЮК, кучланиш, ток ва қувватларнинг ихтиёрий вақт лаҳзасидаги қийматлари оний қийматлар дейилиб,  $e$ ,  $u$ ,  $i$ ,  $p$  ҳарфлари билан белгиланади. Шу оний қийматларнинг давр ичидаги энг каттаси максимал ёки амплитуда қийматлар дейилиб,  $E_m$ ,  $U_m$ ,  $I_m$ ,  $p_m$  ҳарфлари билан белгиланади (2.1-расм, *e*).

Синусоидал ўзгарувчан катталикларнинг *таъсир этувчи* (эффектив) ва *ўртача* қийматлари (батафсил кейинроқ кўриб чиқилади) тегишлича  $E$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $p$  ва  $E_{\text{ўр}}$ ,  $U_{\text{ўр}}$ ,  $I_{\text{ўр}}$ ,  $p_{\text{ўр}}$  ҳарфлари билан белгиланади.

## 2.2. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧАН ЭЮКНИ ҲОСИЛ ҚИЛИШ

Синусоидал ўзгарувчан ток, асосан, электростанцияларда буғ ва гидравлик турбинали генераторлар ёрдамида ҳосил қилинади. Мазкур генераторларнинг ишлаши эса электромагнит индукцияси ва электромагнит куч қонунларига асосланган.



2.2- расм.

Ўзгарувчан ток генератори иккита асосий қисмдан, яъни айланувчан *ротор* (электромагнит) ва қўзғалмас *статордан* иборат (2.2- расм).

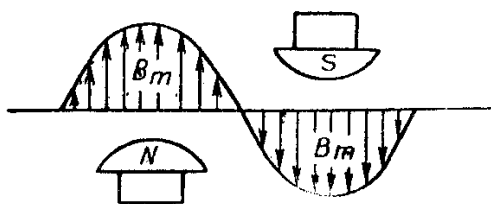
Стагорнинг пазларига мис чулғамлар жойлаштирилган (чулғамнинг битта „ $a-x$ “ ўрами 2.2- расм,  $a$  да кўрсатилган, бунда  $a$ —ўрамнинг бош учи,  $x$ —охирги учи).

Ротор ўзгармас магнит ёки электромагнитнинг бир тури ҳисобланиб, генераторнинг асосий магнит майдонини ҳосил қилиш учун хизмаг қилади. Кучли генераторларнинг ротори электромагнит режимида ишлайди, бунда у ҳосил қилган магнит майдонининг магнит оқимини бошқариш мумкин.

Ротор ўзгармас  $\omega$  бурчак тезлик билан айланганда унинг магнит куч чизиқлари ҳар бир паздаги ўтказгичда қиймати  $e = Blv$  га тенг бўлган ЭЮК ни ҳосил қилади (индукциялайди). Бунда  $B$ —магнит индукцияси, ( $\text{Вб/м}^2$ ) = Тл;  $l$ —ўтказгичнинг актив узунлиги, м;  $v$ —ўтказгичнинг нисбий ҳаракат тезлиги, м/с.

$e$  нинг ўзгариш характери роторнинг қутби билан статор оралиғидаги магнит индукциясининг тақсимланиш қонунига асосланади. Синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ни ҳосил қилиш учун роторнинг магнит қутбларига махсус конструктив шакл берилди. Бунда статор билан қутб орасидаги ҳаво бўшлиғи қутбнинг ўртасида минимал бўлиб, унинг чеккаси томон катталаша боради. Бунда ҳаволи оралиқдаги муҳитнинг магнит қаршилиги бир хил бўлмаслиги туфайли магнит индукцияси қутбнинг ўртасида, яъни ҳаволи оралиқ минимал бўлган жойда максимал қийматга эга бўлиб, унинг чеккаси томон синусоидал қонун бўйича текис камая боради. Магнит индукциясининг бундай тақсимооти 2.3- расмда кўрсатилган.

Энди  $a-x$  ўрамада индукцияланган ЭЮК нинг ротор ҳолатига боғлиқлигини кўриб чиқайлик. Агар роторнинг 2.2- расм,  $a$  да кўрсатилган горизонтал ҳолатини бошланғич вақт



2.3- расм.

$t=0$  билан белгиласак,  $a-x$  ўрама жойлашган ерда магнит индукцияси  $B=0$  бўлгани учун унда индукцияланган ЭЮК нолга тенг бўлади ( $e=0$ ). Қандайдир  $t$  вақтда ротор  $a=\omega t$  бурчакка бурилганда (2.2-расм, б)  $a-x$  ўрамининг стерженлари (ўтказгичлари) жойлашган ерда магнит индукцияси  $B=B_m \sin \alpha$

бўлгани учун битта стерженда индукцияланган ЭЮК:

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

У ҳолда ўрамда индукцияланган ЭЮК:

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

Ўнг қўл қондасини қўллаш билан ўрамда индукцияланган ЭЮК нинг йўналишини аниқлаш мумкин. Ўрамнинг юқори кесимидаги  $\otimes$  ишора унда индукцияланган ЭЮК шартли йўналишининг бошланишини (найзанинг думи), пастки кесимидаги ишора  $\odot$  эса (найзанинг бош учи) охири билдиради.

Ротор ўзининг бошланғич ҳолатига нисбатан  $90^\circ$  га бурилганда (2.2-расм, в)  $a-x$  ўрамининг стерженлари жойлашган ерда магнит индукцияси  $B=B_m$  бўлиб, индукцияланган ЭЮК ҳам ўзининг максимал қийматига эришади:

$$E_m = 2B_m l v. \quad (2.2)$$

Агар  $\alpha=\omega t$  эканлиги ҳисобга олинса, (2.1), (2.2) формулардан индукцияланаётган ЭЮК нинг синусоидал қонун бўйича ўзгаришини ифодаловчи қуйидаги формула ҳосил қилинади:

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

бу ерда  $\omega$ —ўзгарувчан токнинг бурчак частотаси.

2.4-расмдаги графикда роторнинг тўлиқ бир марта айланишида синусоидал ЭЮК нинг ўзгариши кўрсатилган.

Агар  $a-x$  ўрамнинг қисмаларига бирор нагрузка уласак, ванжир бўйлаб:

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

ток ўта бошлайди. Бу вақтда  $a-x$  ўрамининг қисмаларидаги кучланиш:

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

Синусоидал ўзгарувчан кучланиш ва ток учун ҳам 2.4-расмдагига ўхшаш графикларни чизиш мумкин.

## 2.3. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧАН ФУНКЦИЯНИ ХАРАКТЕРЛОВЧИ КАТТАЛИКЛАР

Синусоидал қонун бўйича ўзгарувчи функциянинг амплитудаси, даври (ёки частотаси) ва фазаси мазкур функцияни характерловчи катталиклар ҳисобланади. Синусоидал ўзгарувчан функциянинг амплитуда қиймати деб, унинг мусбат ва манфий ярим даврларда эришган энг катта қийматларига айтилади. ЭЮК, кучланиш ва токнинг амплитуда қийматлари (2.3), (2.4), (2.5) ифодаларда тегишлича  $E_m$ ,  $U_m$  ва  $I_m$  билан белгиланган. 2.4-расмдаги графикда ЭЮК нинг амплитуда қиймати  $E_m$  билан белгиланган.

2.2-расм,  $a$  даги генераторнинг  $a - x$  ўраида индукцияланган ЭЮК нинг тўлиқ бир марта ўзгариши учун кетган вақт  $T$  унинг даври дейилади. Даврга тескари бўлган катталик  $f = \frac{1}{T} \left( \frac{1}{C} \right)$  токнинг частотаси дейилади. Частота герцда ўлчанади ( $1 \text{ Гц} = \frac{1}{C}$ ).

Электротехникада ўзгарувчан токнинг стандарт частотаси сифатида Ҳамдўстлик ва Европа мамлакатларида 50 Гц, АҚШ да ҳамда Осиё ва Африкадаги айрим мамлакатларда 60 Гц қабул қилинган. Электротехник қурилмалар учун асосий частота сифатида 50 ÷ 60 Гц ишлатилиши қуйидагиларга боғлиқ. Частотанинг 50 ÷ 60 Гц дан кичик қийматларида электр машиналар ва трансформаторларнинг таннари ортади. Шунингдек, электр лампочкалар ёруғлигининг липиллаши кўзга сезиларли бўлиб қолади. Частотани 50 Гц дан бирмунча орттириш электр машиналарда энергия исрофининг ортишига сабаб бўлиб, ҳосил бўладиган ўзиндукция ЭЮК ва электр сизими ҳодисалари ўзгарувчан ток қурилмаларининг ишига салбий таъсир қилади.

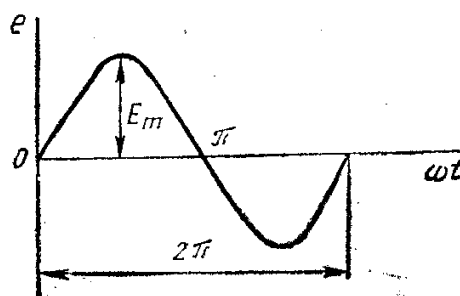
50 Гц частотали ўзгарувчан токни ҳосил қилиш (ёки синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилиш) учун 2.2-расм,  $a$  даги икки қутбلى ўзгарувчан ток генераторининг роторини

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

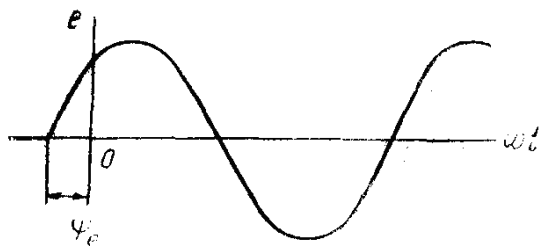
тезлик билан айлантириш керак.

Бу ерда: 60 — секунддан минутга ўтиш коэффициенти;  $p$  — ротор магнит майдонининг жуфт қутблари сони.

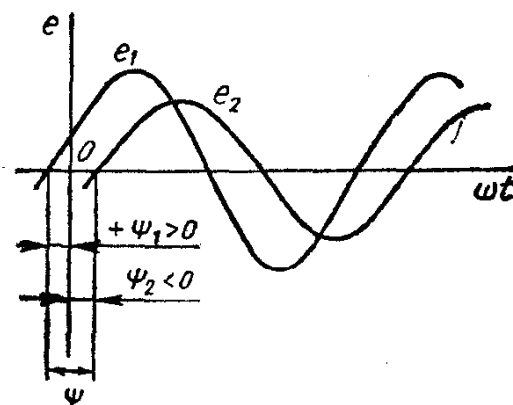
Ротори буғ турбиналари ёрдамида катта тезлик билан айланадиган турбогенераторларнинг магнит қутблари бир жуфтли бўлади. Роторининг айланиш тезлиги нисбатан кичик бўлган гидравлик турбиналарда эса кўп қутблы генераторлардан фойдаланилади.



2.4-расм.



2.5- расм.



2.6- расм.

Синусоидал ўзгарувчан функцияни характерловчи катталиклардан яна бири унинг фазасидир.

Фаза—бирон  $t=0$  вақтда статор чулғамлари ўрамларининг роторнинг магнит куч чизиқларига нисбатан ҳолатидир. Шунинг учун ана шу  $t=0$  пайтда чулғамларда индукцияланган ЭЮК нинг қийматини билиш аҳамиятга эга. У ҳолда 2.2-расм, б даги роторнинг ҳолатига мос ўрамда индукцияланган ЭЮК

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

формула билан ифодаланади. Унга мос график эса 2.5-расмда кўрсатилган.

$(\omega t + \psi_e)$  бурчак *фаза бурчаги* ёки *фаза* дейилади.  $\psi_e$  — бошланғич фаза ҳисобланади. Умуман, фаза вақт ўтиши билан синусоидал ўзгарувчан функциянинг қийматини характерлайди.

2.7 ифодадаги  $\omega$  синусоидал ўзгарувчан функциянинг бурчак частотаси бўлиб, радиан/секундда ўлчанади. Бу катталик синусоидал ўзгарувчан функциянинг бир секундда неча радиан ўзгаришини кўрсатади. Масалан,  $f=50$  Гц бўлганда

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

Графикда бошланғич фаза бурчаги  $\psi$  нинг қиймати синусоиданинг координата бошидаги ҳолати билан аниқланади. Синусоидал ўзгарувчан функциянинг ноль қийматлардан мусбат қийматларга ўтиш нуқтаси даврнинг бошланиш лаҳзаси ҳисобланади. Мусбат бошланғич фаза координата бошидан чап томонга, манфийси ўнг томонга қўйилади. Масалан, турлича бошланғич фазага эга бўлган иккита синусоидал ўзгарувчан функция  $e_1 = E_m \sin(\omega t + \psi_1)$  ва  $e_2 = E_m \sin(\omega t - \psi_2)$ .

2.6-расмда кўрсатилган икки синусоидал ўзгарувчан катталик  $e_1$  ва  $e_2$  нинг бошланғич фазалари орасидаги бурчак  $\psi$  га *фаза силжиш бурчаги* дейилади. Амалда ток билан кучланиш орасидаги фаза силжиш бурчаги  $\varphi$  ( $\cos \varphi$ ) кўпроқ ишлатилади.



## 2.4. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧАН ФУНКЦИЯНИНГ ТАЪСИР ЭТУВЧИ ВА ЎРТАЧА ҚИЙМАТЛАРИ

Синусоидал функциянинг таъсир этувчи қиймати. Ҳар қандай электр занжиридаги токнинг қийматини билиш, баҳолаш ёки аниқлаш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзгармас ток занжирида ток миқдори доимо ўзгармас бўлгани учун уни электр занжири қонунлари ёки ўлчаш асбоблари ёрдамида ўлчаш мумкин. Ўзгарувчан ток занжирида эса ток ўз йўналиши ва қийматини узлуксиз ўзгартириб туради, шунинг учун уни ихтиёрий лаҳзадаги оний қийматлар орқали баҳолаб бўлмайди. Шу боисдан ўзгарувчан токнинг таъсир этувчи (эффektiv) ёки ўртача қийматидан фойдаланилади.

Умумий ҳолда, ўзгарувчан токнинг таъсир этувчи қиймати деб, мазкур токнинг  $T$  давр ичида  $R$  қаршиликдан ўтаётиб, худди шу катталиқдаги ўзгармас ток таъсирида ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдорига эквивалент бўлган қийматига айтилади.

Маълумки, ўзгармас токнинг  $R$  қаршиликдан  $T$  давр ичида ўтишида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори

$$Q = I^2 RT$$

Шу даврда  $R$  қаршиликдан ўтган синусоидал ток  $i = I_m \sin \omega t$  таъсиридан ажралиб чиққан иссиқлик миқдори эса

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

Қуйидаги ўзгартириш натижасида

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

чунки

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

Демак,

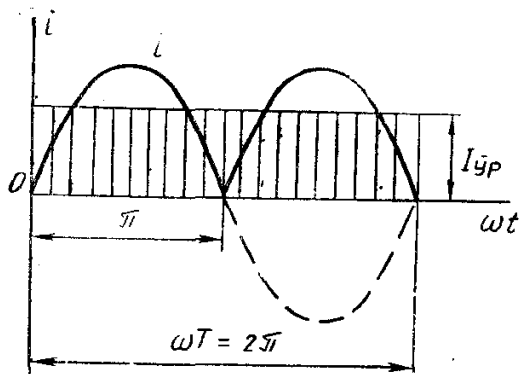
$$Q_{\sim} = \frac{I_m^2}{2} RT.$$

Иккала ток иссиқлик таъсирининг эквивалентлик шarti  $Q_{\sim} = Q_{\sim}$  га биноан

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

ёки

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



2.7- расм.

Демак, синусоидал ўзгарувчан токнинг таъсир этувчи қиймати унинг максимал қийматидан  $\sqrt{2}$  марта кичикдир.

Юқоридагига ўхшаш йўл билан синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ва кучланишларнинг ҳам таъсир этувчи қийматларини ёза оламиз:

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

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

Ўзгарувчан ток занжиридаги барча ўлчов асбоблари синусоидал катталикларнинг таъсир этувчи қийматларини ўлчашга мўлжалланган.

Синусоидал катталикларнинг таъсир этувчи қийматлари ўзгарувчан ва ўзгармас ток занжирлари орасидаги асосий қонуниятларни боғлашда ўхшаш математик ифодалар олинишига имкон беради.

Синусоидал катталикларнинг ўртача қиймати. Баъзан электр занжирларининг ва ўзгарувчан ток қурилмаларининг ишлаши таҳлил қилинганда синусоидал ўзгарувчан катталикларнинг ўртача қийматини аниқлаш керак бўлади. Умуман, синусоидал катталикларнинг давр ичидаги ўртача қиймати нолга тенг бўлганидан унинг мусбат ярим даврдаги ўртача қиймати инобатга олинади (2.7- расм). У ҳолда ток  $i = I_m \sin \omega t$  нинг ўртача қиймати:

$$\begin{aligned} I_{\text{ур}} &= \frac{1}{0,5T} \int_0^{0,5T} i dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t dt = \\ &= \frac{I_m}{\pi} \left| \cos \omega t \right|_0^{\pi} = \frac{2I_m}{\pi} = 0,636 I_m. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Демак, синусоидал токнинг ўртача қиймати мусбат ярим даврдаги оний тоқлар йиғиндисининг ўртача арифметик қийматига тенг.

Юқоридагига ўхшаш йўл билан ЭЮК ва кучланишнинг ҳам ўртача қийматларини топиш мумкин:

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

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

Ўзгарувчан ток таъсир этувчи қийматининг унинг ўртача қийматига нисбати ( $I/I_{\text{ўр}}$ ) синусоида шаклининг коэффиценти  $K_{\phi}$  ни ифодалайди:

$$K_{\phi} = \frac{I}{I_{\text{ўр}}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11. \quad (2.15)$$

Олинган нисбат синусоидал ўзгарувчан катталикларнинг ўртача қийматлари маълум бўлса, уларнинг таъсир этувчи қийматларини аниқлашга ва аксинча, таъсир этувчи қийматлари маълум бўлса, ўртача қийматларини аниқлашга имкон беради:

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

## 2.5. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧИ КАТТАЛИКЛАРНИ АЙЛАНУВЧАН ВЕКТОРЛАР ЁРДАМИДА ИФОДАЛАШ

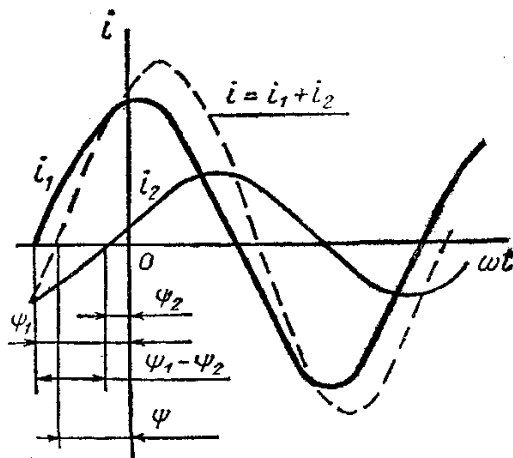
**Вектор диаграммалар.** Ўзгарувчан ток занжирлари назариясини ўрганишда ва занжирдаги жараёнларни текширишда, баъзан, турли амплитуда ва бошланғич фазага эга бўлган бир хил частотали синусоидал миқдорларни қўшиш ёки айириш керак бўлади. Бу масалани аналитик ва графикавий усулларда, шунингдек айланувчан векторлар ёрдамида ҳал этиш мумкин. Масалан, иккита синусоидал катталик

$$i_1 = I_{m_1} \sin(\omega t + \psi_1) \quad \text{ва} \quad i_2 = I_{m_2} \sin(\omega t + \psi_2)$$

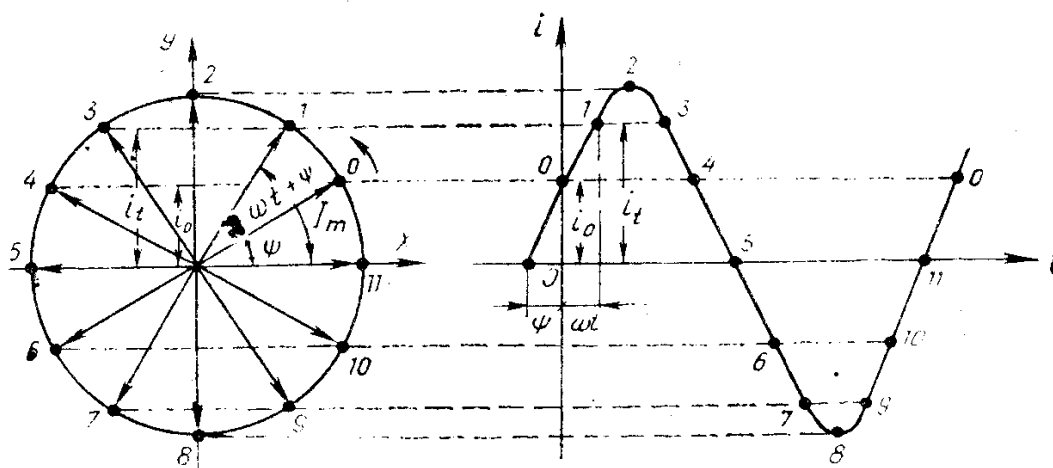
берилган бўлса, уларнинг йиғиндиси аналитик усул асосида қуйидаги тригонометрик ўзгартиришлар натижасида аниқланади:

$$\begin{aligned} i &= i_1 + i_2 = I_{m_1} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{m_2} \sin(\omega t + \psi_2) = \\ &= I_m \sin(\omega t + \psi). \end{aligned}$$

Кўришиб турибдики, тенг таъсир этувчи ток  $i$  ҳам ўша частотада синусоидал қонун бўйича ўзгаряпти. Қўшилувчилар сони орта борган сари тенг таъсир этувчи токни тригонометрик алмаштиришлар йўли билан аниқлаш тобора мураккаблашади. Шунинг учун, бу усулни амалий ҳисоблашлар учун қўллаб бўлмайди. Бу тоқларнинг тенг таъсир этувчисини тўғри бурчакли координатлар системасида график тирзда аниқлаш учун уларнинг орднаталарини қўшиб чиқиш керак (2.8-расм), бу усул ҳам кўп меҳнат талаб қилиб, аниқ натижа бермайди.



2.8- расм.



2.9- расм.

Берилган синусоидал катталикларнинг сонидан қатъи назар уларнинг йиғиндиси ёки айирмасини айланувчи векторлар ёрдамида аниқлаш амалий жиҳатдан қулай ҳисобланади. Бунда  $\omega$  бурчак частотасига эга бўлган синусоидал ЭЮК кучланиш ва тоқлар тўғри бурчакли координаталар системасида  $\omega$  бурчак тезликка тенг бўлган айланувчан векторлар тарзида ифодаланади.

Айланувчан радиус-векторнинг узунлиги синусоидал катталикларнинг амплитуда (ёки эффе́ктив) қийматига тенг қилиб олинади, Масалан, ток  $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$  ни айланувчан вектор тарзида ифодалаш керак бўлсин. Бунинг учун тўғри бурчакли координаталар системасини олиб (2.9- расм), координата бошидан  $\psi$  бурчак остида соат милининг ҳаракатига тескари йўналишда (бошланғич фазаси мусбат бўлгани учун) танланган масштаб бўйича, узунлиги токнинг максимал қийматига тенг бўлган вектор  $I_m$  ни ўтказамиз. Агар вектор  $I_m$  расмда кўрсатилган йўналиш бўйича  $\omega$  бурчак тезлик билан ҳаракатланаётган бўлса, унинг ордината ўқига проекцияси вақт бўйича синусоидал қонунга кўра ўзгаради. Фараз қилайлик,  $t$  вақт давомида мазкур вектор  $\omega t$  бурчакка бурилган бўлсин. У ҳолда векторнинг ордината ўқига проекцияси синусоидал катталикларнинг оний қиймати ( $ob = i = I_m \sin(\omega t + \psi)$ ) ни ифодалайди. Вектор  $I_m$  ни бошланғич ҳолатига нисбатан турли бурчакларга буриш билан унинг тегишли оний қийматларини аниқлаш мумкин. Радиус-вектор  $I_m$  нинг бир марта тўлиқ айланиб чиқиши синусоидал токнинг бир марта тўлиқ ўзгаришига мосдир, яъни радиус-векторнинг вақт бирлиги ичидаги айланишлар частотаси (сони) синусоидал токнинг частотасига тенг демакдир.

Вектор диаграммаларни тузишда ва унга ўтишда қуйидагиларга риоя қилиниши керак:

1. Векторларга фақат бир хил  $\omega$  частотали синусоидал катталиклар бўлгандагина ўтиш мумкин.

2. Векторли ифодага вақт  $t=0$  да ўтилади, барча тегишли ҳисоблашларни  $\omega$  частотани ҳисобга олмасдан бажариш мумкин, чунки векторлар айланганда уларнинг ўзаро жойлашиши ўзгармайди.

3. Синусоидал катталиклар сони бирдан ортиқ бўлганда улардан қайси бирини бошланғич вектор (ёки фаза) учун қабул қилиш ихтиёрий, аммо қолган векторлар бошланғич векторга нисбатан фазалар фарқига кўра жойлашиши керак.

4. Синусоидал катталиклар векторлари йўналишларининг ўзгариши назарий механикадаги каби фазовий бўлмасдан, вақтга қараб ўзгаради. Аммо уларни қўшиш ва айириш оддий векторлар каби бажарилади. Уларнинг модуллари тегишли амплитуда қиймагларни ифодаласа, йўналишлари орасидаги бурчаклар эса берилган синусоидал катталикларнинг (вақт бўйича) фаза силжишини ифодалайди.

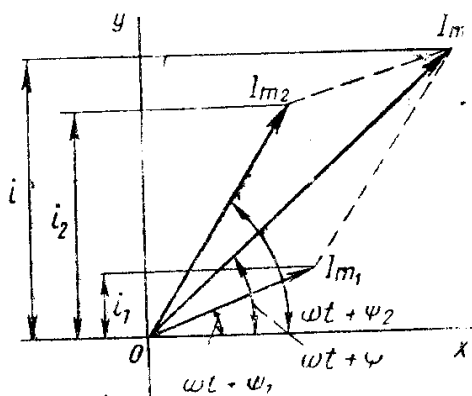
5. Бошланғич фазаси мусбат бўлган вектор координата бошида соат мили ҳаракатига тескари йўналишда, манфийси эса соат милининг ҳаракати йўналишида қўйилиши керак.

Юқоридаги шартларни ҳисобга олган ҳолда икки синусоидал катталик  $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1)$  ва  $i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \psi_2)$  нинг йиғиндиси  $i = i_1 + i_2 = I_m \sin(\omega t + \psi)$  ни айланувчан векторлар ёрдамида аниқлашнинг тасвири 2.10-расмда кўрсатилган.

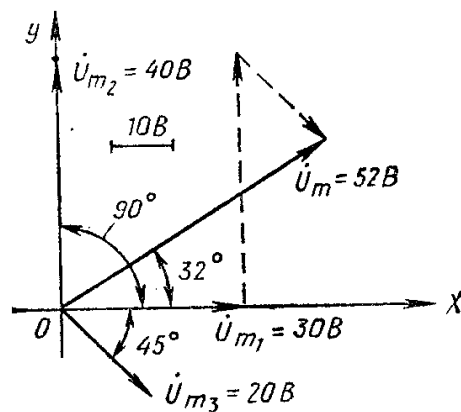
Кўпинча вектор диаграммаларда айланувчан векторларнинг узунлиги синусоидал миқдорларнинг амплитудавий қийматига тенг бўлмасдан, балки унинг таъсир этувчи қийматини ифодалайди. Бунда вектор диаграмма қуриш масштаби  $\sqrt{2}$  марта ўзгаради.

Умуман, вектор диаграмма, деб тўғри бурчакли координаталар системасида бир-бирларига нисбатан тўғри ориентацияларда қурилган, турли амплитуда ва бошланғич фазага эга бўлган бир хил частотадаги синусоидал миқдорларни характерловчи векторлар йиғиндисига айтилади.

2.1-масала. Синусоидал бўлган  $u_1 = 30 \sin \omega t$ ,  $u_2 = 40 \sin(\omega t + 90^\circ)$  ва  $u_3 = 20 \sin(\omega t - 45^\circ)$  кучланишларнинг берилган



2.10-расм.



2.11-расм.

қийматлари бўйича вектор диаграммасини тузиб, занжирдаги умумий кучланишнинг ўзгариш қонунияти аниқлансин.

Ечилиши.  $u_1 = 30 \sin \omega t$  нинг бошланғич фазаси  $\psi_1 = 0$  бўлгани учун унинг йўналиши абциссалар ўқининг мусбат йўналишига мос бўлиб, вектор диаграммада  $\bar{U}_{m_1}$  билан ифодаланган (2.11-расм).

Кучланиш  $u_2 = 40 \sin(\omega t + 90^\circ)$  нинг бошланғич фазаси  $\psi_2 = 90^\circ$  бўлгани учун у кучланиш  $u_1$  дан фаза бўйича  $90^\circ$  илгари келади. Шунинг учун вектор  $\bar{U}_{m_2}$  вектор  $\bar{U}_{m_1}$  га нисбатан соат милининг ҳаракатига тескари йўналишда  $90^\circ$  га бурилган бўлади.  $u_3 = 20 \sin(\omega t - 45^\circ)$  нинг бошланғич фазаси  $\psi_3 = -45^\circ$  бўлгани учун у  $u_1$  дан фаза бўйича  $45^\circ$  кечикади. Шунинг учун вектор  $\bar{U}_{m_3}$  вектор  $\bar{U}_{m_1}$  га нисбатан соат милининг ҳаракат йўналиши бўйича  $45^\circ$  га бурилган бўлади.

Энди учала векторни ўзаро қўшиб умумий кучланишнинг амплитуда қиймати  $\bar{U}_m = \bar{U}_{m_1} + \bar{U}_{m_2} + \bar{U}_{m_3}$  ни аниқлаймиз.

$\bar{U}_m$  нинг вектор диаграммадаги узунлигини танланган масштаб ( $m_U = 1 \text{ В/мм}$ ) га кўпайтириш орқали унинг қийматини аниқлаймиз:

$$U_m = l_{\bar{U}_m} \cdot m_U = 52 \text{ мм} \cdot 1 \text{ В/мм} = 52 \text{ В.}$$

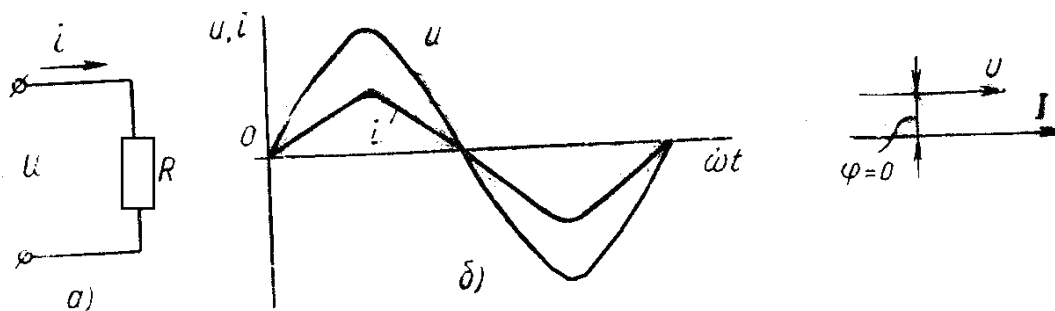
Энди транспортир ёрдамида  $\bar{U}_m$  билан абциссалар ўқи орасидаги бурчакни ўлчаймиз. Мазкур бурчак занжирдаги умумий кучланишнинг фаза силжиши бурчаги бўлиб,  $\psi + 32^\circ$  га тенг. У ҳолда занжирда умумий кучланишнинг ўзгариш қонунияти қуйидагича ифодаланади:

$$u = 52 \sin(\omega t + 32^\circ) \text{ В.}$$

## 2.6. АКТИВ ҚАРШИЛИК, ИНДУКТИВ ҒАЛТАК ВА КОНДЕНСАТОР УЛАНГАН ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРЛАРИ

**Умумий тушунчалар.** Барча электротехник қурилмалар маълум даражада қаршилик  $R$ , индуктивлик  $L$  ва сигим  $C$  га эга. Булар ўзгарувчан ток занжирининг параметрлари ҳисобланиб, занжирдаги ўзгарувчан токнинг миқдорига ва бошланғич фазасига доимо таъсир кўрсатади. Умуман олганда, ўзгарувчан ток занжирининг электр схемаси ана шу элементлардан турлича комбинацияда ташкил топган бўлади.

Электр манбаидан истеъмол қилинаётган энергия иссиқлик энергиясига айланадиган занжир элементи актив элемент, унинг қаршилиги актив қаршилик ( $R$ ), ундаги қувват эса актив қувват ( $P$ ) дейилади. Занжирнинг индуктивлик ва сигим элементларида эса истеъмол қилинаётган электр энергияси даврий равишда гоҳ магнит, гоҳ электр майдонлари энергиясига айланиб, сўнгра электр энергиясининг манбаига қайтади. Манба билан истеъмолчи орасида энергия алмашилиш жараёни содир бўлгани учун мазкур элементлар реактив элемент-



2.12-расм.

лар, уларнинг қаршилиги реактив қаршиликлар (индуктив— $X_L$ , сиғимий— $X_C$ ), улардаги қувватлар эса реактив қувватлар (индуктив— $Q_L$ , сиғимий— $Q_C$ ) дейлади.

$R$ ,  $L$ ,  $C$  параметрларнинг ҳар бири ўзгарувчан ток занжирга яқка ҳолда қандай таъсир этишини кўриб чиқамиз.

**Актив қаршилик уланган ўзгарувчан ток занжири.** Бу хилдаги нарузкага (истеъмолчига) электр энергиясини иссиқлик энергиясига айлантириб берадиган истеъмолчилар (чўғланма лампалар, барча техника ва маиший электр иситиш асбоблари, реостат ва бошқалар) киради.

Фараз қилайлик, актив қаршиликли электр занжири синусоидал кучланиш ( $u = U_m \sin \omega t$ ) манбаига уланган бўлсин (2.12-расм, а). У ҳолда Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан занжирнинг электр мувозанат тенгламаси  $u = i \cdot R$  бўлади. У ҳолда, Ом қонунига биноан занжирдаги ток:

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

бу ерда

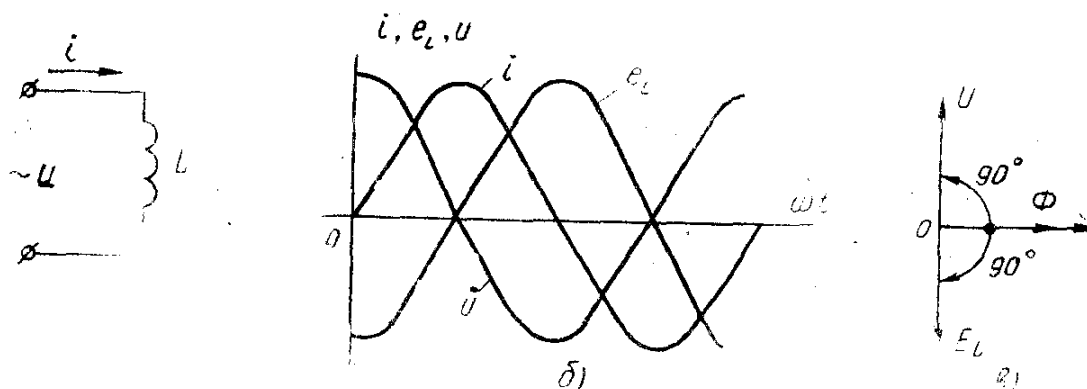
$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (2.17)$$

Шундай қилиб, ифодалардан кўриниб турибдики, актив қаршиликли занжирда кучланиш билан токнинг ўзгариши синусоидал бўлиб, уларнинг фазалари ўзаро мосдир. Бинобарин, кучланиш билан ток графиклари ва векторлари орасидаги фаза силжиш бурчаги  $\varphi=0$  (2.12-расм, б, в).

Агар (2.17) ифоданинг иккала қисмини  $\sqrt{2}$  га бўлсак, кўрилатган занжир учун Ом қонунининг кучланиш ва токнинг таъсир этувчи қийматлари орқали ифодаланган формуласини ҳосил қиламиз:

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

**Индуктив ғалтак уланган ўзгарувчан ток занжири.** Аксарият электротехник қурилмаларнинг асосий қисмини индуктив ғалтаклар (асинхрон двигателлар, трансформаторлар ва б.) ташкил қилади. Реал индуктив ғалтак ўзининг индуктивлиги



2.13- расм.

$L$  дан ташқари, актив  $R_L$  ва сиғим  $C_L$  қаршиликларга ҳам эга. Аммо занжирдаги физикавий жараёнларни аниқ тасаввур қилиш учун берилган индуктив ғалтак (идеал индуктив ғалтак) индуктивликдангина иборат, яъни  $R_L = 0$ ,  $C_L = 0$ , деб фараз қилинади.

Агар берилган индуктив ғалтакдан синусоидал ток  $i = I_m \sin \omega t$  оқиб ўтаётган бўлса (2.13-расм, а), у ҳолда ток ҳосил қилган ўзгарувчан магнит оқими  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$  нинг таъсиридан ғалтакда доимо ўзиндукция ЭЮК ( $e_L$ ) мавжуд бўлади.

$e_L$  ғалтакнинг индуктивлиги ва токнинг ўзгариш тезлигига боғлиқ, яъни

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

(2.19) тенгламанинг ўнг томони олдидаги минус ишора Ленц принципига биноан ёзилган.

Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан занжирнинг электр мувозанат тенгламаси

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

Демак, занжирга берилган кучланиш исталган лаҳзада  $e_L$  га қиймат жиҳатдан теги, аммо йўналиши қарама-қарши.

(2.20) формулага токнинг қийматини киритсак, индуктив ғалтакли занжирдаги кучланишнинг ўзгаришини ифодаловчи тенгликни ҳосил қиламиз:

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

Демак, индуктив ғалтакли занжирдаги кучланиш билан ток (графиклари ва векторлари) орасидоги фаза силжиш бурчаги  $\varphi = +90^\circ$ , яъни кучланиш токдан фаза бўйича  $90^\circ$  илгари ке-



ляпти (2.13-расм, б, в). Бу қуйидагилар билан тушунтирилади: 1. Ғалтакдаги ўзиндукция ЭЮК ( $e_L$ ) исталган лалзада токнинг ўзгариш тезлиги ( $di/dt$ ) га пропорционал. 2. Шунинг учун ток ноль қийматлардан ўтаётганда унинг ўзгариш тезлиги энг катта бўлиб, бунда  $e_L$  ўзининг амплитуда қийматига эришади, яъни  $e_L = E_m$ . (2.21) ифодадаги  $\omega L I_m = U_m$  занжирдаги кучланишнинг амплитуда қийматидир. Бундан занжирдаги токнинг таъсир этувчи қиймати (ёки занжир учун Ом қонуни)ни аниқлаймиз:

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

$\omega L$  кўпайтма индуктив ғалтакнинг *реактив қаршилиги* ёки индуктив қаршилик деб аталиб,  $X_L$  билан белгиланади. Ўлчов бирлиги Ом (кОм, МОм):

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

Демак, ғалтакнинг индуктив қаршилиги унинг индуктивлигига ва ўзгарувчан токнинг частотасига тўғри пропорционалдир.

**Конденсатор уланган ўзгарувчан ток занжири.** Ўзгармас ток занжирига уланган конденсатордан жуда қисқа вақт ичиде (секунднинг улушлари давомида), яъни конденсаторнинг зарядланиш жараёни тугаб, сифим кучланиш  $u_C$  занжирга ташқаридан берилган кучланиш  $u$  га тенглашгунга қадар ток ўтади. Агар конденсаторни синусоидал кучланиш ( $u = U_m \sin \omega t$ ) манбаига уласак, унинг қопламалари орасидаги заряд  $q$  ҳам ўзгарувчан бўлади (2.12-расм, а). Заряд  $q$  нинг ўзгариши электр зарядларининг силжишига, яъни манбадан ўтувчи токка боғлиқ. Бунда занжирнинг электр мувозанати ҳолати Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан қуйидагича ифодаланади:

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

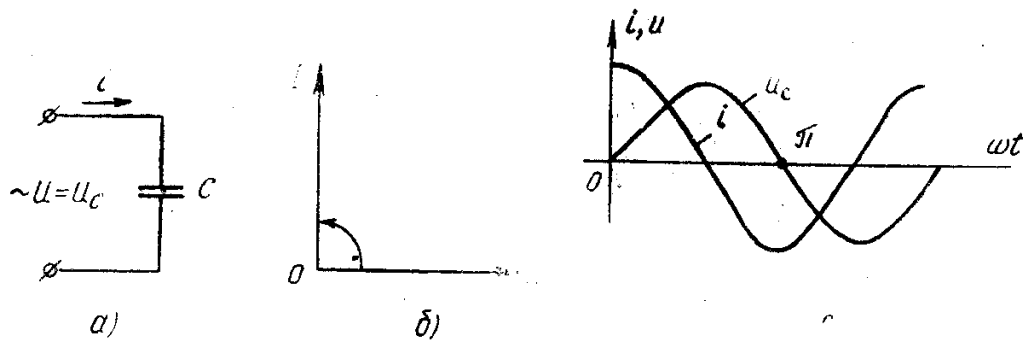
Агар  $q = C \cdot u$  эканлигини ва (2.24) формулани ҳисобга олсак, конденсатор уланган занжирдаги токнинг ўзгаришини ифодаловчи тенгликни ҳосил қиламиз:

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

Демак, конденсатор уланган занжирдаги ток кучланишдан фаза бўйича  $90^\circ$  ёки  $T/4$  давр илгари келади (2.14-расм, б, в).

Синусоидал кучланиш ноль қийматлардан ўтаётган лаҳзаларда (2.14-расм, б) диэлектрикнинг қутбланиш тезлиги ва шу билан занжирдаги силжиш токи ҳам максимал бўлади.

(2.25) даги  $\omega C U_m = I_m$  ифода конденсатор уланган занжирдаги токнинг амплитуда қиймати ҳисобланади. Бундан зан-



2.14- расм.

жирдаги токнинг таъсир этувчи қиймати (ёки занжир учун Ом қонунининг ифодаси) топилади:

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

$1/\omega C$  ифода занжирнинг сиғим (реактив) қаршилиги дейилиб,  $X_C$  орқали белгиланади. Унинг ўлчов бирлиги Ом (кОм, МОм).

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

Демак, сиғим қаршилиги токнинг частотаси ва конденсаторнинг сиғимига тескари пропорционалдир.

## 2.7. АКТИВ ВА РЕАКТИВ ҚАРШИЛИКЛАРИ ЎЗARO КЕТМА-КЕТ УЛАНГАН ЗАНЖИР

Элементлари ( $R, L, C$ ) ўзаро кетма-кет уланган занжирга (2.15- расм, а) берилган кучланиш учта ташкил этувчидан иборат: 1) актив қаршилиқдаги кучланишнинг пасайиши  $u_R = iR$ ; 2) индуктив ғалтакдаги ўзиндукция ЭЮК ни мувозанатловчи кучланиш  $u_L = -e_L$ ; 3) конденсаторнинг қопламаларидаги кучланиш  $u_C$ .

Мазкур занжирнинг электр мувозанат тенгламаси Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан қуйидагича ифодаланади:

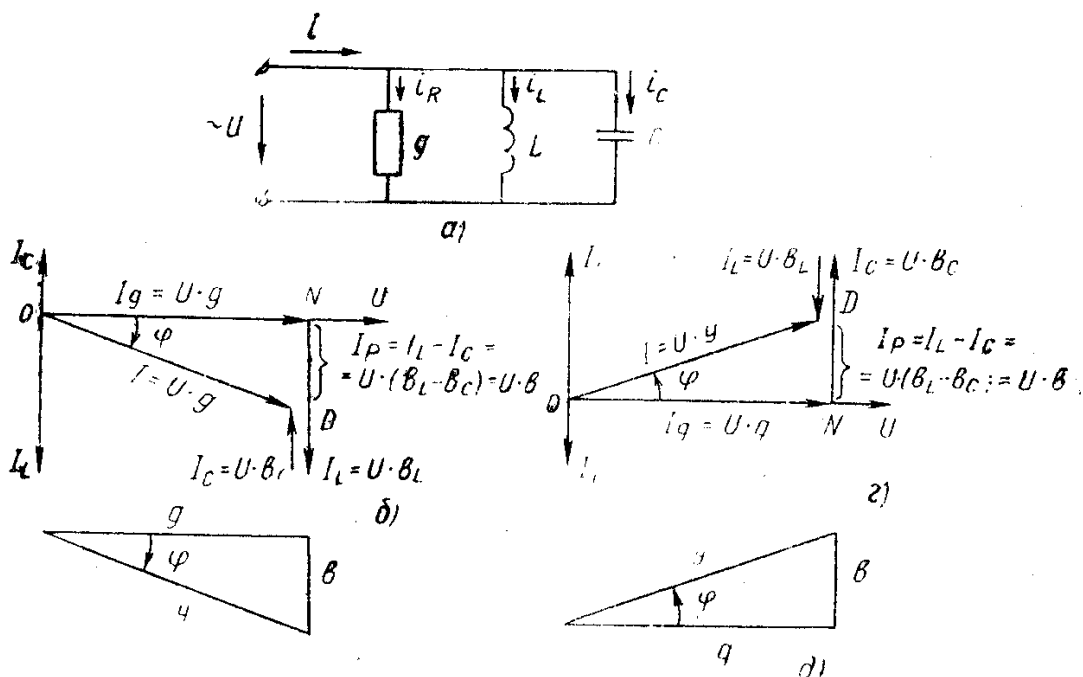
$$u = u_R + u_L + u_C \quad (2.28)$$

(2.28) ифодага биноан занжирдаги кучланишнинг ўзгариши:

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

Бунда фаза силжиш бурчаги  $\varphi$  нинг йшораси занжирдаги реактив қаршилиқлардан қайси бирининг катталигига боғлиқ.

Актив ва реактив қаршилиқлари ўзаро кетма-кет уланган занжирнинг вектор дьяграммаси 2.15- расм, б ва г да кўрса-



2.15- расм.

тилган. Ток занжирнинг барча элементлари учун бир хил қий-  
 матга эга бўлгани учун у бош вектор тарзида олинган. Актив  
 қаршилиқдаги кучланиш вектори ( $\bar{U}_R = \bar{I} \cdot R$ ) ток вектори  
 ( $\bar{I}$ ) билан фазалар бўйича мос тушади; индуктив ғалтакдаги  
 кучланиш вектори ( $\bar{U}_L$ ) ток вектори ( $\bar{I}$ ) дан  $90^\circ$  илгари кела-  
 ди; конденсатордаги кучланиш ( $\bar{U}_C$ ) ток вектори ( $\bar{I}$ ) дан  $90^\circ$   
 кечикади. Демак, реактив кучланиш векторлари  $\bar{U}_L$  ва  $\bar{U}_C$   
 ўзаро қарама-қарши йўналган бўлиб, улар орасидаги бурчак  
 $180^\circ$  ни ташкил этади.

Мазкур векторлар диаграммасидан кўринадикки, занжирга  
 берилган кучланишнинг қиймати унинг айрим қисмларидаги  
 кучланишларнинг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

$$\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L + \bar{U}_C. \quad (2.30)$$

Вектор диаграмма қуриш натижасида ҳосил бўлган кучла-  
 нишлар учбурчаги  $OAB$  дан эса кучланишларнинг абсолют  
 қийматларини аниқлаш мумкин:

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

Шундай қилиб, берилган занжир учун Ом қонунининг  
 ифодаси:

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

бу ерда  $Z$ — занжирнинг тўла қаршилиги, Ом,  $X$  — занжирнинг реактив қаршилиги, Ом.

Кучланишлар учбурчагининг учала томонини ток  $I$  га бўлиб, қаршиликлар учбурчагини ҳосил қиламиз (2.15-расм,  $\nu$ ,  $\delta$ ). Бу учбурчакдан фойдаланиб, қуйидаги нисбатларни ёзиш мумкин:

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

$R, L, C$  элементлари ўзаро кетма-кет уланган занжирни таҳлил қилиш натижасида қуйидаги хулосага келиш мумкин:

1. Агар  $X_L > X_C$  (яъни  $U_L > U_C$ ) бўлса (2.15-расм,  $\delta$ ) занжирга берилган кучланиш токдан фаза бўйича  $\varphi_u$  бурчакка илгарилаб келади:

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

2 Агар  $X_L < X_C$  (яъни  $U_L < U_C$ ) бўлса (2.15-расм,  $\nu$ ), занжирга берилган кучланиш токдан фаза бўйича  $\varphi_u$  бурчакка кечикади:

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

Биринчи ҳолда занжир актив-индуктив, иккинчи ҳолда эса, актив-сиғим характерга эга ҳисобланади. Агар  $X_L = X_C$  бўлса,  $U_L = U_C$  бўлиб, занжирда кучланишлар резонанси ҳодисаси рўй беради.

## 2.8. АКТИВ ВА РЕАКТИВ ҚАРШИЛИКЛАРИ ЎЗARO ПАРАЛЛЕЛ УЛАНГАН ЗАНЖИР

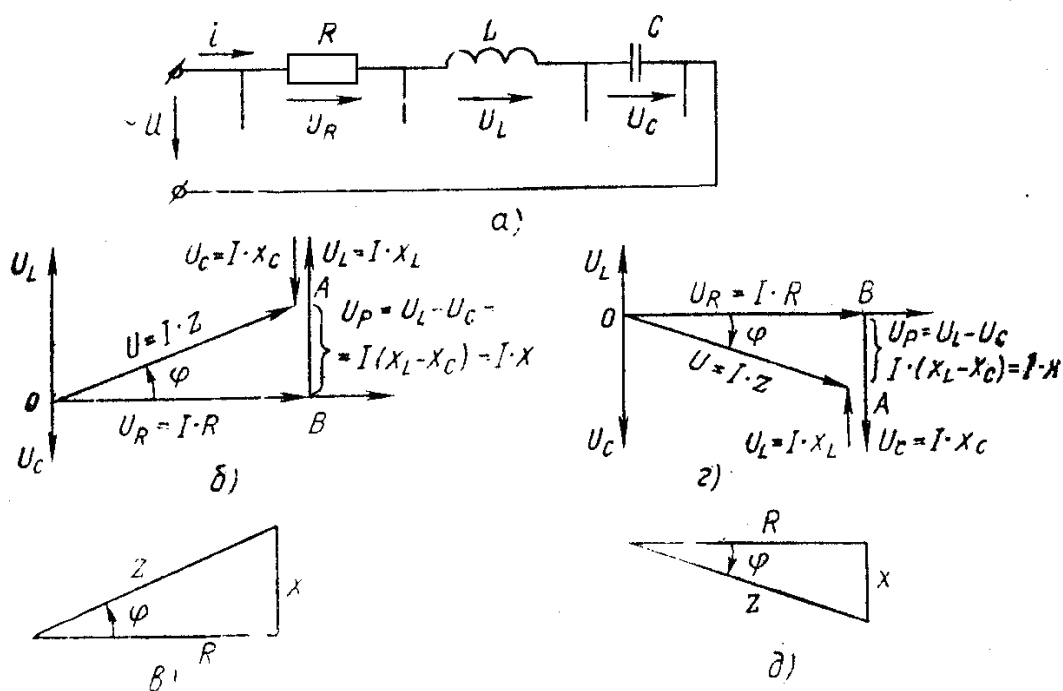
Тармоқланган (параллел) ўзгарувчан ток занжирларини таҳлил қилиш ва ҳисоблаш учун ўтказувчанликдан фойдаланиш қулайдир. Тармоқланган ўзгарувчан ток занжирида (2.16-расм,  $a$ ) ўтказувчанлик уч турга бўлинади: актив ўтказувчанлик  $g = \frac{1}{R}$ ; реактив ўтказувчанлик  $b = b_L - b_C$  (бу ерда  $b_L = \frac{1}{\omega L}$  —индуктив,  $b_C = \omega C$  —сиғим ўтказувчанлиги); тўла ўтказувчанлик  $Y = \sqrt{b^2 + g^2}$ . Барча ўтказувчанликлар сименсда ўлчанади ва қисқача См деб белгиланади.

Берилган занжир (2.16-расм,  $a$ ) синусоидал кучланиш  $u = U_m \sin \omega t$  манбаига параллел уланган. Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан занжирдаги ток (ёки умумий ток):

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

$U$  ҳолда элементлари параллел уланган занжирдаги умумий токнинг ўзгариши:

$$i = i_R + i_L + i_C = gu + \frac{1}{L} \int u dt + C \frac{du}{dt} =$$



2.16-расм.

$$\begin{aligned}
 &= gU_m \sin \omega t - \frac{U_m}{\omega L} \cos \omega t + \omega C U_m \cos \omega t = \\
 &= I_{gm} \sin \omega t - I_{Lm} \sin(\omega t - 90^\circ) + I_{Cm} \sin(\omega t + 90^\circ) = \\
 &= I_m \sin(\omega t - \varphi), \quad (2.34)
 \end{aligned}$$

бу ерда  $\psi_i = \psi_u - \varphi = 0 - \varphi = -\varphi$  — умумий токнинг бошланғич фазаси.

Бунда фаза силжиш бурчаги  $\varphi$  нинг ишораси занжирдаги реактив ўтказувчанликлардан қайси бирининг катталигига боғлиқ.

Актив ва реактив қаршиликлари ўзаро параллел вланган занжирнинг вектор диаграммаси 2.16-расм, б—г да кўрсатилган. Кучланиш занжирнинг барча элементларида бир хил қийматга эга бўлгани учун кучланиш вектори бош вектор тарзида олинган. Актив ўтказувчанликдаги ток вектори  $\bar{I}_g = g \cdot \bar{U}$  кучланиш вектори  $\bar{U}$  билан фазалар бўйича мос тушади, индуктив ғалтакдаги ток  $\bar{I}_L$  кучланиш вектори  $\bar{U}$  дан  $90^\circ$  га кечикади ва ниҳоят конденсатордаги ток вектори  $\bar{I}_C$  кучланиш вектори  $\bar{U}$  дан  $90^\circ$  илгарилаб келади. Қарама-қарши фазада бўлган тоқлар ( $\bar{I}_L$  ва  $\bar{I}_C$ ) нинг векторлари орасидаги бурчак  $180^\circ$  га тенг.

Мазкур векторлар диаграммасидан кўринадики, занжирдаги умумий ток параллел шохобчалардаги тоқларнинг геометрик йиғиндисига тенг:

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

Вектор диаграммани қуриш натижасида ҳосил бўлган тоқлар учбурчаги  $OND$  дан

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

Берилган занжир учун Ом қонунининг ифодаси:

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

Тоқлар учбурчагининг учала томонини кучланиш  $U$  га бўлиб, ўтказувчанликлар учбурчагини ҳосил қиламиз (2.16-расм, в, д). Ўтказувчанликлар учбурчагидан қуйидаги нисбатларни ёзиш мумкин:

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

$R, L, C$  элементлари ўзаро параллел уланган занжирларни таҳлил қилиш натижасида қуйидаги хулосаларга келиш мумкин:

1. Агар  $b_L > b_C$  бўлса, занжирдаги умумий тоқ кучланиш  $U$  дан фаза бўйича  $\varphi$  бурчакка кечикади (2.16-расм, б):

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

2. Агар  $b_L < b_C$  бўлса, занжирдаги умумий тоқ  $I$  кучланиш  $U$  дан фаза бўйича  $\varphi$  бурчакка илгарилаб келади (2.16-расм, з). Бунинг учун  $\varphi < 0$  бўлиши шарғ, яъни

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

Биринчи ҳолда занжир актив-индуктив (2.16 расм, б), иккинчи ҳолда эса актив-сигим (2.16-расм, з) характериға эға ҳисобланади. Агар  $b_L = b_C$  бўлса,  $I_L = I_C$  бўлиб, занжирда тоқлар резонанси ҳодисаси рўй беради.

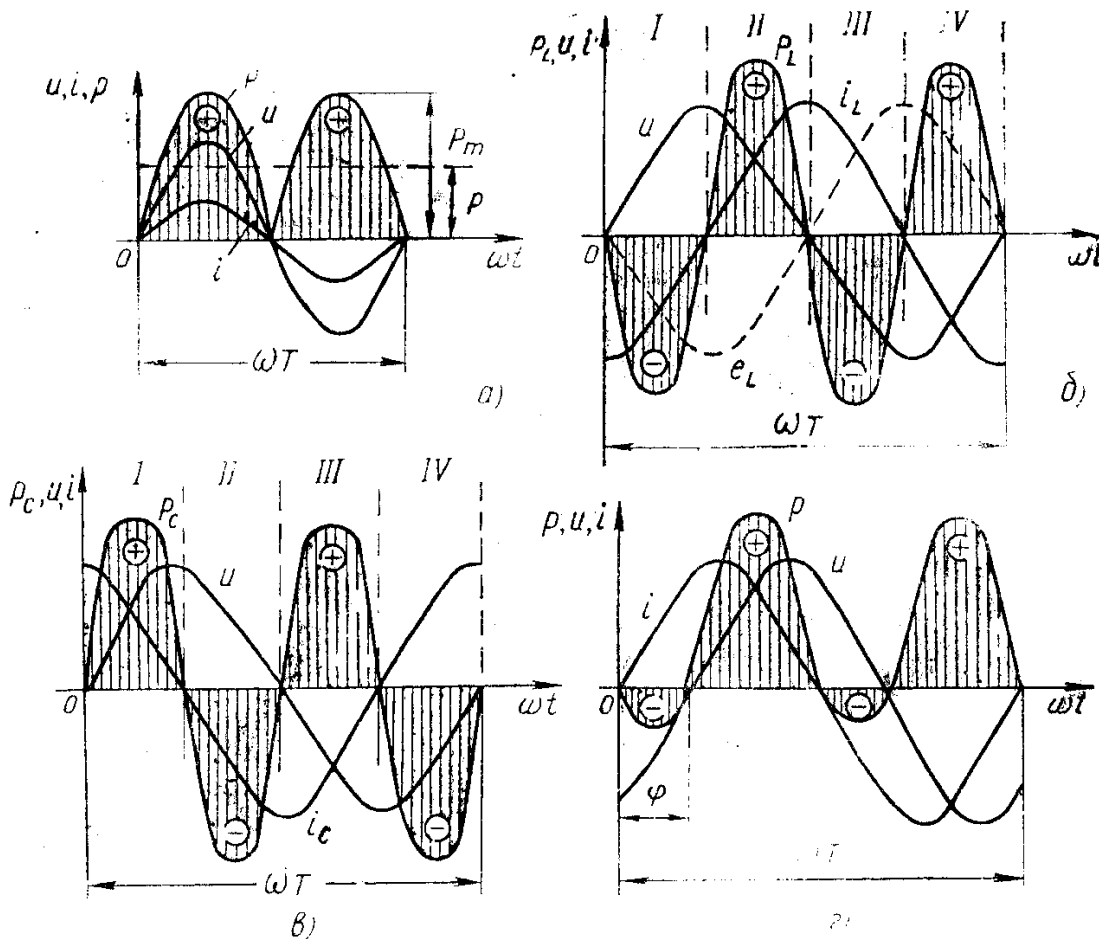
## 2.9. ЎЗГАРУВЧАН ТОҚ ЗАНЖИРИДАГИ ЭНЕРГЕТИК ЖАРАЁНЛАР

Актив қаршилиқ уланган занжирдаги оний қувват. Умуман, ўзгарувчан тоқ занжирининг ихтиёрий вақт лаҳзасидаги қуввати унинг *оний қуввати* дейилади. 2.12-расмдаги занжирда оний қувват кучланиш ва тоқ оний қийматларининг кўпайтмасиға тенг:

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

бу ерда  $U_k = u = U_m \sin \omega t$  — занжирға берилган кучланиш.

Оний қувват графигидан (2.17-расм, а) кўринадики, актив қаршилиқли занжирдаги қувват  $Q$  дан  $P_m$  гача даврий равишда ўзгаради, бунда унинг ишораси мусбағ бўлади. Бу манбадан истеъмол қилинаётган энергиянинг қаршилиқ  $R$  да бутунлай иссиқлик энергиясига айланиб, занжирда қайтарилмас жараён содир бўлаётганини кўрсатади.



2.17-расм

Одатда, ўзгарувчан ток занжирининг қуввати унинг давр ичидаги ўртача қуввати билан баҳоланади:

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

Агар  $U = I \cdot R$  эканлигини ҳисобга олсак,

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

Демак, ўртача қувват актив қаршиликда иссиқликка айланаётган электр қуввати бўлиб, ўзгарувчан ток занжирининг актив (ёки фойдали) қуввати дейилади ва  $P$  ҳарфи билан белгиланади. Қувватнинг оний қиймати токка нисбатан икки марта ортиқ частота билан ўзгаради.

Актив қувват миқдор жиҳатидан электр энергиясининг давр ичида бошқа тур (иссиқлик, механик, кимёвий) энергияга, яъни фойдали ишга айланиш жадаллигини кўрсатади. Унинг ўлчов бирлиги Вт (кВт, МВт).

Индуктив ғалтак уланган занжирдаги оний қувват (2.13-расм).

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

бу ерда  $u_L = u = U_m \sin \omega t$ —занжирга берилган кучланиш.

Демак, индуктив ғалтак уланган занжирдаги оний қувват токнинг частотасига нисбатан икки марта ортиқ частота билан синус қонуни бўйича ўзгаради (2.17-расм, б). Графикдан кўринадик, даврнинг иккинчи ва тўртинчи чоракларида кучланиш  $u$  ва ток  $i$  нинг йўналишлари мос, оний қувват ишораси мусбат. Шунингдек, даврнинг мазкур чоракларида ток  $0$  дан  $I_m$  гача ортади. Бу эса манбадан истеъмол қилинаётган электр энергияси индуктив ғалтакда магнит майдон энергияси ( $W_m = Li^2/2$ ) тарзида тўпланаётганлигини билдиради (мусбат ярим тўлқин).

Даврнинг биринчи ва учинчи чоракларида кучланиш ва токнинг йўналишлари қарама-қарши, оний қувват ишораси манфий. Бунда даврнинг II ва IV чоракларида тўпланган магнит майдон энергияси манбага электр энергияси тарзида қайтарилади (манфий ярим тўлқин). Бу эса ўзиндукция ЭЮК ( $e_L$ ) нинг  $0$  дан  $E_m$  гача ортиши билан намоён бўлади.

Конденсатор уланган занжирдаги оний қувват (2.14-расм).

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

бу ерда  $u_C = u = U_m \sin \omega t$ —занжирга берилган кучланиш

Демак, конденсатор уланган занжирдаги оний қувват токнинг частотасига қараганда икки марта ортиқ частота билан ўзгаради (2.17-расм, в). Аммо бу ўзгаришлар индуктив ғалтак уланган занжирдаги жараёнларга қарама қарши фазада бўлади. Бу графикдан кўринадик, даврнинг кучланиш  $u$  ва ток  $i$  ларнинг йўналишлари мос бўлган чоракларида оний қувват ишораси мусбат, мос бўлмаган чоракларида эса манфий бўлади. Бинобарин даврнинг I ва III чоракларида конденсаторнинг қопламаларидаги кучланиш  $0$  дан  $T_m$  гача ортади, бунда манбадан истеъмол қилинаётган энергия конденсаторда электр майдон энергияси  $W_0 = Cu^2/2$  тарзида тўпланади (мусбат ярим тўлқин). Конденсатор қопламаларидаги кучланиш  $U_m$  дан  $0$  гача ўзгараётган II ва IV чоракларда эса аввал тўпланган электр майдон энергияси эндиликда манбага электр энергияси тарзида қайтарилади (манфий ярим тўлқин).

Демак, реактив элементли занжирларда электр энергияси манба билан истеъмолчи ўргасида доимо алмашиб туради.



Шундай қилиб, даврнинг бир чорагида манбадан энергия истеъмол қилиб, уни даврнинг иккинчи чорагида манбага қайтариб берадиган нагрузка *реактив нагрузка* деб аталади. У индуктив ёки сиғим характерига эга бўлиши мумкин.

Манба билан истеъмолчи ўртасидаги энергия алмашилиш жадаллигини сон жиҳатдан баҳолаш учун реактив қувват тушунчаси киритилади. Улар  $Q_L$  ва  $Q_C$  ҳарфлари билан белгиланади.

Индуктив қувват  $Q_L = U \cdot I = I^2 \cdot X_L$ , конденсатордаги реактив қувват эса  $Q_C = U \cdot I = I^2 \cdot X_C$  бўлиб,  $L$  ва  $C$  занжирлардаги оний қувватларнинг максимал қийматларига тенг.

Занжирдаги қувватлар ҳисобланганда индуктив характердаги реактив қувват мусбат, сиғим характердаги реактив қувват эса манфий ишора билан олинади.

2.17-расм, б ва в даги графиклардан қувваг ўртача қийматининг (актив қувват) нолга тенглиги кўриниб турибди:

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

2.17-расм, г да актив-сиғим характердаги занжир учун оний қувватнинг ўзгариш графиги кўрсатилган. Бунда манбадан келаётган энергиянинг бир қисми унга қайтиб ўтади. Қайтарилаётган энергия қисми (қувват) сон жиҳатдан фаза силжиш бурчаги  $\varphi$  нинг қийматига боғлиқ. Силжиш бурчаги  $\varphi$  қанча катта бўлса, бу энергия шунча катта бўлади ва аксинча. Бу оний қувват ифодасидан ҳам кўриниб турибди:

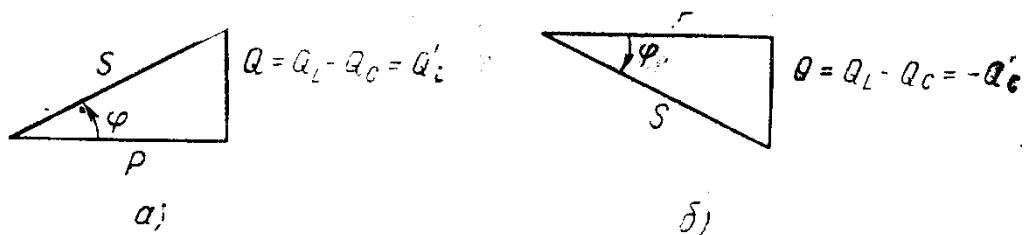
$$\begin{aligned} P &= U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= 2UI(\cos \varphi \cdot \sin^2 \omega t - \sin \varphi \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t) = \\ &= UI \cos \varphi - UI \cos 2\omega t - UI \sin \varphi \sin 2\omega t = \\ &= P_a (1 - \cos 2\omega t) - Q \sin 2\omega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

Демак, бундай занжирдаги оний қувват актив ( $P_a$ ) ва реактив ( $P_p$ ) ташкил этувчилардан иборат экан.

## 2.10. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРИНИНГ ҚУВВАТИ ВА ҚУВВАТ КОЭФФИЦИЕНТИ

2.15-расм, б ва г даги кучланишлар учбурчаги  $OAB$  нинг учала томонини ток  $I$  га кўпайтириш билан қувватлар учбурчагини ҳосил қиламиз (2.18-расм, а ва б). Мазкур учбурчакнинг томонлари эса қуйидагиларни билдиради:

$$\begin{aligned} P &= U_R \cdot I = I^2 \cdot R \text{—занжирнинг актив қуввати;} \\ Q &= U_X \cdot I = I^2 \cdot X \text{—занжирнинг реактив қуввати;} \\ S &= U \cdot I = I^2 \cdot Z \text{—занжирнинг тўла қуввати;} \\ \cos \varphi &= P/S \text{—занжирнинг қувват коэффициенти.} \end{aligned}$$



2.18- расм.

Шунингдек, қувватлар учбурчагидан фойдаланиб,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  ва  $\cos \varphi$  лар ўртасидаги боғланишларни аниқлаш мумкин:

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

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

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

$S$  системасида актив қувват ватт (Вт) ёки киловатт (кВт), реактив қувват вольт-ампер реактив (ВАР) ёки киловольт-ампер реактив (кВАр), тўла қувват вольт-ампер (ВА) ёки киловольт-ампер (кВА) бирликларда ўлчанади

Тўла қувват ( $S = U \cdot I$ ) энергетик қурилмалар (электр машиналар, трансформаторлар, узатиш линиялари ва ҳоказолар) нинг ишлатилиш мобайнида номинал кучланиш  $U_{\text{ном}}$  ва номинал ток  $I_{\text{ном}}$  бўйича бера оладиган энг катта электр қуввати ҳисобланади.

Актив қувват ( $P = UI \cos \varphi$ ) истеъмол қилинаётган электр энергиясининг бошқа тур энергияга (фойдали ишга) айланиш жадаллигини кўрсатади.

$\cos \varphi$ —қувват коэффициенти тўла қувватнинг қандай қисми фойдали ишга (яъни актив қувватга) сарф бўлганини кўрсатувчи мезондир. Ток билан кучланиш орасидаги фаза силжиш бурчаги  $\varphi$  қанчалик кичик бўлса, бу миқдор шунчалик катта бўлади. Аммо ўзгарувчан ток занжири энергия тўпловчи реактив  $L$  ва  $C$  элементларга эга бўлганлиги учун ҳамма вақт  $\cos \varphi < 1$  (ёки  $P < UI$ ) бўлади.  $\cos \varphi = 1$  бўлганда тўла қувват бутунлай фойдали иш бажариш учун сарф бўлади. Аксинча,  $\cos \varphi$  бирдан қанча кичик бўлса, аввалгидай фойдали иш бажариш учун  $S$  нинг қийматини шунча ошириш керак бўлади. Масалан,  $U = 400$  В кучланишда  $P = 6$  кВт актив қувватни таъминлаш учун тармоқдан истеъмол қилинадиган ток ва тўла қувват:

$$\cos \varphi = 1 \text{ бўлганда } I = 15 \text{ А, } S = 6 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi = 0,8 \text{ бўлганда } I = 18 \text{ А, } S = 7,5 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi = 0,6 \text{ бўлганда } I = 25 \text{ А, } S = 10 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi = 0,4 \text{ бўлганда } I = 37,5 \text{ А, } S = 15 \text{ кВА.}$$

Шундай қилиб, занжирдаги фойдали ишни токнинг актив ташкил этувчиси ( $I_a = I \cdot \cos \varphi$ ) бажаради. Токнинг реактив таш-

кил этувчиси ( $I_p = I \cdot \sin \varphi$ ) эса электр ва магнит майдони ҳосил қилиш учун сарф бўлиб, уларнинг энергияси  $L$  ва  $C$  элементларда даврий равишда йиғилиб, манбага яна қайтади ёки  $I_L = I_C$  (яъни  $b_L = b_C$ ) бўлганда шу элементлар орасида тебраниб туради.

Доимо мусбат бўлган  $P$  ва  $S$  лардан фарқли ўлароқ реактив қувват  $\varphi > 0$  бўлганда мусбат (индуктив режим  $Q_L$ ),  $\varphi < 0$  бўлганда эса манфий (сигим режими  $Q_C$ ) бўлади.

## 2.11. КУЧЛАНИШЛАР РЕЗОНАНСИ

Кучланишлар резонанси ҳодисаси  $R$ ,  $L$ ,  $C$  элементлари ўзаро кетма-кет уланган ўзгарувчан ток занжирида ҳосил бўлиши мумкин (2.15-расм, *a*). Бунда реактив элементлар қаршиликларининг ўзаро тенг ( $X_L = X_C$ ) бўлиши резонанс шarti ҳисобланади. У ҳолда бундай занжирдаги ток:

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

Демак, резонанс пайтида занжирдаги ток актив қаршилиқ билан чекланиб, ўзининг максимал қийматига эришади. Бунда умумий кучланиш  $U$  билан ток  $I$  фаза бўйича мос тушиб, занжирнинг қувват коэффициентини  $\cos \varphi = 1$  бўлади.

Занжирнинг резонанс ҳолатига мос вектор диаграмма ва график 2.19-расм, *a* ва *b* да кўрсатилган. Улардан кўринадики, резонанс пайтида қарама-қарши фазада бўлган реактив (резонанс) кучланишлар  $U_L$  ва  $U_C$  ўзаро тенг бўлиб, бир-бирларини тўла компенсациялайди. Ҳақиқатан ҳам  $\bar{I} \cdot X_L = \bar{I} \cdot X_C$ , у ҳолда  $\bar{U}_L = \bar{U}_C$  ҳисобланади. Бундай пайтда  $U = U_R$  бўлади.

Реактив кучланишлар ( $U_L$  ва  $U_C$ ) занжирга берилган кучланиш  $U$  дан бирмунча катта бўлиши мумкин.

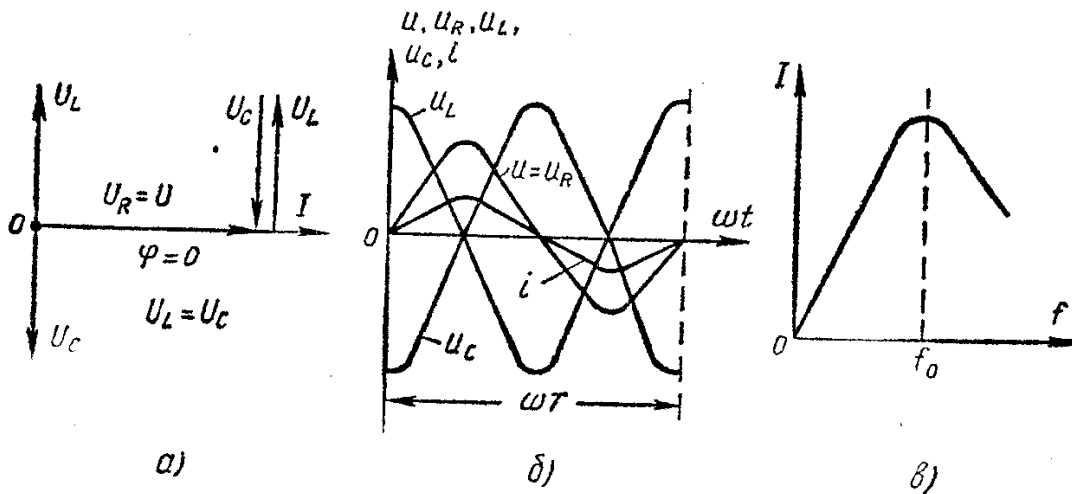
Кучланишлар резонансининг катталиги реактив элементлар қаршиликларининг актив қаршилиқдан неча марта катта бўлишига боғлиқ. Бу қуйидаги ифодалардан ҳам кўриниб турибди:

$$U_L = I \cdot X_L = \frac{U}{R} \cdot X = U \cdot \frac{X_L}{R};$$

$$U_C = I \cdot X_C = \frac{U}{R} \cdot X_C = U \cdot \frac{X_C}{R}.$$

Демак, кучланишлар резонанси актив қаршилиги унча катта бўлмаган занжирларда яққол билиниб туради. Кучланишлар резонанси аввалдан ҳисобга олинмаса, резонанс пайтида юзага келган кучланишлар электр қурилмаларининг изоляцияси ва умуман ишига путур етказилади.

Резонанс пайтида занжирнинг реактив қуввати нолга тенг, яъни  $Q = Q_L - Q_C = U_L \cdot I - U_C \cdot I = 0$  бўлади, чунки  $U_L = U_C$ .



2.19- расм.

Бундай занжирнинг тўла қуввати унинг актив қувватига тенглашади, яъни  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P$ . Демак, резонанс пайтида сифимдаги электр майдони энергияси индуктивликдаги магнит майдони энергиясига даврий равишда ўтиб туради ва, аксинча, актив қаршиликдаги энергия истеъмоли эса манбадан тўлдириб турилади.

Резонанс ҳодисасини манба кучланишининг частотасини, индуктивликни ёки конденсаторнинг сифимини ўзгартириш билан юзага келтириш мумкин.

Кучланишлар резонанси ҳодисасидан радиотехникада кеиғ фойдаланилгани учун, бундай электр занжири *кетма-кет тебраниш контури* дейилади. Чунки иккала реактив қаршилик частотага боғлиқ:

$$X = \omega L = 2\pi fL \text{ ва } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}.$$

Агар  $L$  ва  $C$  параметрлардан бири ўзгарувчан қилиб олинса, у ҳолда контурни исталган частотада резонансга созлаш мумкин. Бу частота *резонанс частотаси* дейилади ва  $f_0$  билан белгиланади.  $X = X_C$  шартидан  $2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$ , у ҳолда резонанс частотаси  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

$L$  ва  $C$  ли контурни кучланиш частотаси резонанс частотасига тенг бўлган контурга улаганда контурдаги ток актив қаршилик билан чегараланиб, ўзининг бошқа частоталарга нисбатан юқори қийматига эришади (2.19- расм, в).

## 2.12. ТОКЛАР РЕЗОНАНСИ

Токлар резонанси ҳодисаси  $R$  ( $g$ ),  $L$ ,  $C$  элементлари ўзаро параллел уланган ўзгарувчан ток занжирида юзага келади

(2.17-расм, а). Бунинг учун реактив элементларнинг ўтказувчанликлари ўзаро тенг ( $b_L = b_C$ ) бўлиши керак

У ҳолда занжирдаги ток Ом қонунига биноан

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

Демак, резонанс пайтида занжирдаги ток актив ўтказувчанлик билан чекланиб, ўзининг минимал қийматига эришади ва кучланиш билан фаза бўйича мос тушади ( $\varphi = 0$ ).

Занжирнинг резонанс ҳолатига мос вектор диаграмма ва графиклар 2.20-расм, а ва б ларда кўрсатилган. Улардан кўринадики, резонанс пайтида қарама-қарши фазада бўлган реактив (резонанс) тоқлар  $I_L$  ва  $I_C$  ўзаро тенг бўлиб, бир-бирларини тўла компенсациялайди. Резонанс шarti ( $b_L = b_C$ ) га кўра  $\bar{U} \cdot b_L = \bar{U} \cdot b_C$ , демак  $\bar{I}_L = \bar{I}_C$ .

Реактив тоқлар ўзаро компенсациялангани туфайли занжир актив характерга эга бўлиб, унинг қувват коэффициенти  $\cos \varphi = 1$  бўлади.

Резонанс пайтида реактив тоқлар  $I_L$  ва  $I_C$  занжирдаги умумий ток  $I$  дан ( $\bar{I} = \bar{I}_g + \bar{I}_L + \bar{I}_C$ ) бир қанча катта бўлиши мумкин. Шунинг учун ҳам бу ҳодиса тоқлар резонанси деб аталади. Мазкур реактив тоқларнинг катталиги реактив элементлар ўтказувчанликлари  $b_L$  ва  $b_C$  нинг актив ўтказувчанлик  $g$  дан неча марта катталигига боғлиқ. Бу қуйидаги нисбатлардан ҳам кўриниб турибди:

$$\frac{U \cdot b_L}{U \cdot g} = \frac{U \cdot b_C}{U \cdot g} \quad \text{ёки} \quad \frac{b_L}{g} = \frac{b_C}{g}.$$

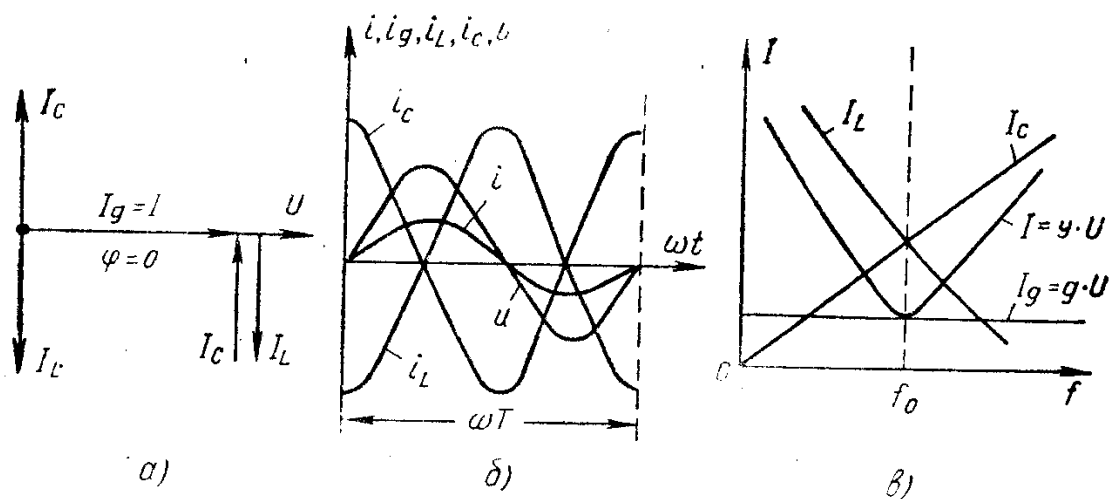
Демак, тоқлар резонанси актив ўтказувчанлиги унча катта бўлмаган занжирларда содир бўлиши мумкин. Тоқлар резонанси ҳам кучланишлар резонанси каби учта усул билан юзага келтирилиши мумкин.

Тоқлар резонансига мосланган контурдаги ток ( $I = I_g$ ) резонанс частотада бошқа частоталарга нисбатан минимал қийматга эришади (2.20-расм, в).

Тоқлар резонансида манбадан келаётган энергия занжирда сарф бўлаётган актив энергиянигина қоплаб, занжирни улаш лаҳзаси  $L$  ва  $C$  элементларида эришилган тоқлар билан резонанс тебранишларни ушлаб туриш учун хизмат қилади.

Саноатдаги асосий истеъмолчилар актив-индуктив характерга эга бўлгани учун индуктив реактив қувватни камайтириб, тармоқнинг қувват коэффициенти ошириш мақсадида истеъмолчига конденсаторлар батареяси уланади. Конденсаторлар батареясининг реактив сиғим қуввати, қурилманинг реактив индуктив қувватини қисман компенсациялаб, истеъмолчидан тармоққа қайтариладиган умумий реактив қувватнинг миқдорини ва таъсирини камайтиришга ёрдам беради, яъни

$$Q = Q_L - Q_C.$$



2.20- расм.

Натижада қурилманинг (шунингдек цех ва корхонанинг) қувват коэффициентини ошириб, узатиш симларидаги ток ва линиядаги қувват исрофи ҳамда манба тўла қувватининг камайтирилишига имкон бўлади.

### 3-БОБ. УЧ ФАЗАЛИ ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРЛАРИ

#### Умумий тушунчалар

Бир фазали ток ўзгарувчан токнинг барча афзалликларига эга бўлишига қарамай, халқ хўжалигида кенг қўлланилишига унинг айрим камчиликлари тўсқинлик қилади. Масалан, бир фазали ток ёрдамида айланувчи магнит майдонини ҳосил қилиб бўлмайди. Бундай майдон эса ўзгарувчан токда ишловчи барча двигателларнинг „юраги“ ҳисобланади. Технологик қурилмаларни ҳаракатга келтириш учун ишлатишга қулай ва ишончли бўлган катта қувватли ўзгарувчан ток двигателларини яратиш эса фақат кўп фазали ток орқали амалга оширилади.

1891 йилда рус инженери М. О. Доливо-Добровольский уч фазали ток системасини ишлаб чиқиб, уни мазкур двигателларни ишлатишга татбиқ этди. Бу система ҳозирги вақтда электрлаштириш соҳасида бутун дунёга тарқалган системага айланди. Уч фазали токнинг кенг кўламда ишлатилиши қуйидаги сабаблар билан боғлиқ:

1. Электр энергиясини уч фазали ток системаси ёрдамида узоқ масофаларга узатиш уни фазалар сони бошқача бўлган ўзгарувчан ток билан узатишга қараганда иқтисодий жиҳатдан бирмунча тежамли ҳисобланади. Чунки электр энергияси уч фазали ток системаси билан узатилганда узатиш линияларига сарф қилинадиган рангли металл уни бир фазали ток системаси билан узатишдагига қараганда 25% кам сарф бўлади.

2. Уч фазали ток системасининг асосий элементлари ҳисобланган уч фазали асинхрон двигатель ва трансформаторлар-

нинг тузилиши оддий, ишлатишга қулай бўлиб, ишончлилиги ҳамда тежамлилиги нисбатан юқоридир.

3. Бир йўла иккита ишчи кучланиш, яъни фаза кучланиши  $U_\phi$  ва линия кучланиши  $U_\lambda$  нинг борлиги, турли номинал кучланишдаги истеъмолчиларни улаш имконияти фақат кўп фазали (шу жумладан, уч фазали) системага хосдир.

4. Агар уч фазали ЭЮК (ёки кучланиш) системасига симметрик нагрузка уланган бўлса, унинг оний қуввати ҳар қандай вақт учун ўзгармас бўлади.

### 3.1. УЧ ФАЗАЛИ ЭЮК, КУЧЛАНИШ ВА ТОК СИСТЕМАСИНИ ҲОСИЛ ҚИЛИШ

Уч фазали ЭЮК уч фазали синхрон генераторда ҳосил қилинади. Ушбу генератор (3.1-расм, а) қўзғалмас статор ва унинг ичида айланувчи ротордан иборат.

Статорнинг пазларига (ариқчаларига) ўрамлар сони ўзаро тенг бўлган ва бир-биридан фаза бўйича  $120^\circ$  га силжиган (ёки  $T/3$  даврга фарқ қилган) учта  $A-X$ ;  $B-Y$ ;  $C-Z$  чулғамлар жойлаштирилган. Чулғамларнинг бош учлари  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ва охириги учлари  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  ҳарфлари билан белгиланган. Ҳар бир чулғам уч фазали генераторнинг алоҳида фазаси ҳисобланади\*. Бу чулғамларда (фазаларда) индукцияланган ЭЮК ларнинг таъсир этувчи қийматлари  $E_A$ ,  $E_B$  ва  $E_C$  ҳарфлари билан белгиланади.

Ротор ўзгармас магнит (электромагнит) дан ясалган бўлиб, машинанинг асосий магнит майдонини ҳосил қилиш учун хизмат қилади. Унга ўралган „уйғотиш чулғами“ дан ўтадиган ток ёрдамида роторнинг магнит майдонини бошқариш мумкин.

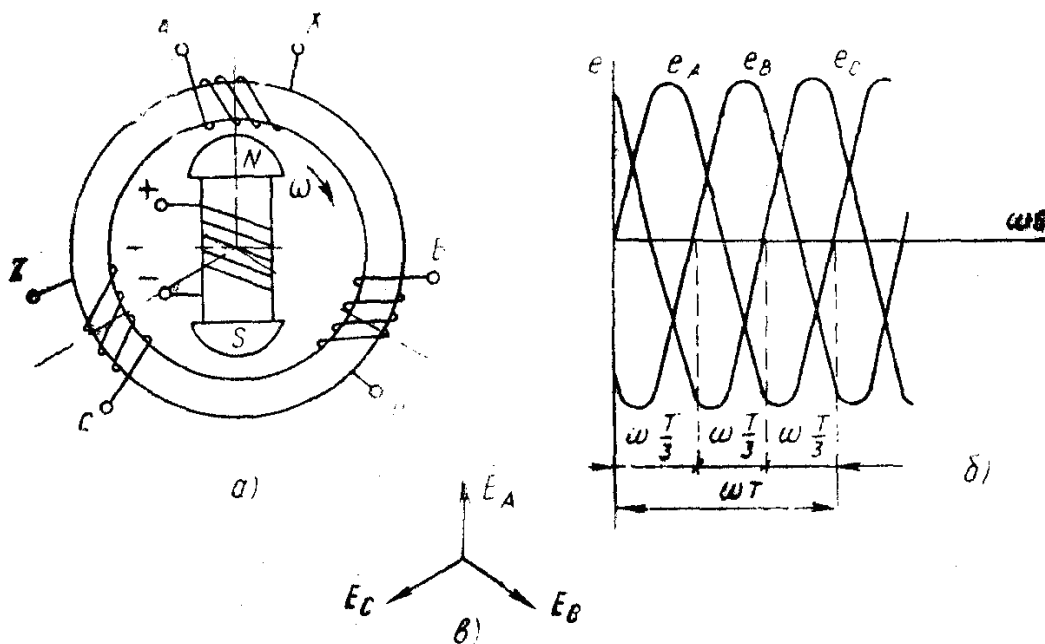
Ротор ўзгармас бурчак тезлиги  $\omega$  билан айланганда унинг магнит куч чизиқлари статорнинг ҳар бир чулғамида (фаза-сида) электромагнит индукцияси қонунига кўра, амплитуда ва частоталари бир хил бўлган, аммо бир-бирларидан фаза бўйича  $2\pi/3$  га (ёки  $T/3$  даврга) фарқланувчи қуйидаги синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ларни индукциялайди:

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

Бу ифодаларга мос графиклар 3.1-расм, б да кўрсатилган.

(3.1) ифодадан уч фазали ЭЮК лар системасининг симметриклиги кўриниб турибди.

\* „Фаза“ атамаси икки хил маънога эга: синусоидал ўзгарувчан катталикларнинг оний қийматини аниқловчи фаза бурчаги ҳамда уч фазали занжирларнинг ташкилий қисми.



3.1- расм.

Юқоридагига ўхшаш йўл билан уч фазали кучланиш ва ток системаси учун ҳам қуйидаги ифодаларни ёзиш мумкин:

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

Демак, уч фазали ЭЮК, кучланиш ва тоқларнинг ўзгариш қонуниятлари бир хил экан.

Частота ва амплитудалари бир хил бўлиб, фаза жиҳатдан  $2\pi/3$  га фарқ қилган учта ЭЮК лар (ёки тоқлар) йиғиндиси уч фазали ЭЮК ларнинг (ёки тоқларнинг) симметрик системаси дейилади. ЭЮК ларнинг симметрик системасида учала фаза ЭЮК лари оний қийматларининг йиғиндиси исталган вақт лаҳзасида нолга тенг. Масалан, графикдан (3.1- расм, б) фойдаланиб,  $t_1$  вақт учун қуйидагини ёзиш мумкин:

$$e_A + e_B + e_C = E_m - \frac{1}{2} E_m - \frac{1}{2} E_m = 0.$$



Шунингдек, графикдан кўринадикки ҳар бир фаза ЭЮКлари ўзларининг максимумларига  $T/3$  давр ўтиб эришади. Шунга кўра, ЭЮК векторлари  $\vec{E}_A$ ,  $\vec{E}_B$ ,  $\vec{E}_C$  ларнинг геометрик йиғиндиси қуйидагича (3.1-расм, в)

$$\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0$$

бўлиб, қиррали симметрик юлдуз шаклини ташкил этади.

3.1-расм, б ва в даги график ҳақида векторлар диаграммаси генератор роторининг соат мили ҳаракати йўналишида айланишига мос келади. Бунда ҳосил бўлган фазаларнинг  $A-B-C$  кетма-кетлиги (алмашинуви) *фазаларнинг тўғри кетма-кетлиги* дейилади. 3.1-расм, в да кўрсатилган вектор диаграммада эса ЭЮК векторлари ўзининг эффектив қийматларида ифода қилинган.

### 3.2. МАНБА ВА ИСТЕЪМОЛЧИЛАРНИ ТЎРТ СИМЛИ ЮЛДУЗ УСУЛИДА УЛАШ

Генератор ва истеъмолчи фазалари охириги учларини тегишлича  $O$  ва  $O'$  нуқталарга улаш *юлдуз усулида улаш* дейилади (3.2-расм). Бундай улаш усули „Л“ белгиси билан белгиланади.  $O$  ва  $O'$  нуқталар генератор ва истеъмолчининг *нолинчи* (ёки *нейтрал нуқталари*) дейилади. Ана шу нуқталарни бирлаштирувчи сим *нолинчи* (ёки *нейтрал*) сим дейилади.

Манба ва истеъмолчи бир номли фазаларининг бош учларини бирлаштирувчи ( $A-A'$ ,  $B-B'$  ва  $C-C'$ ) симлар линия симлари дейилади. Ана шу симлардан ўтадиган  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  тоқлар *линия тоқлари* дейилади ва улар  $I_\Delta$  деб белгиланади.

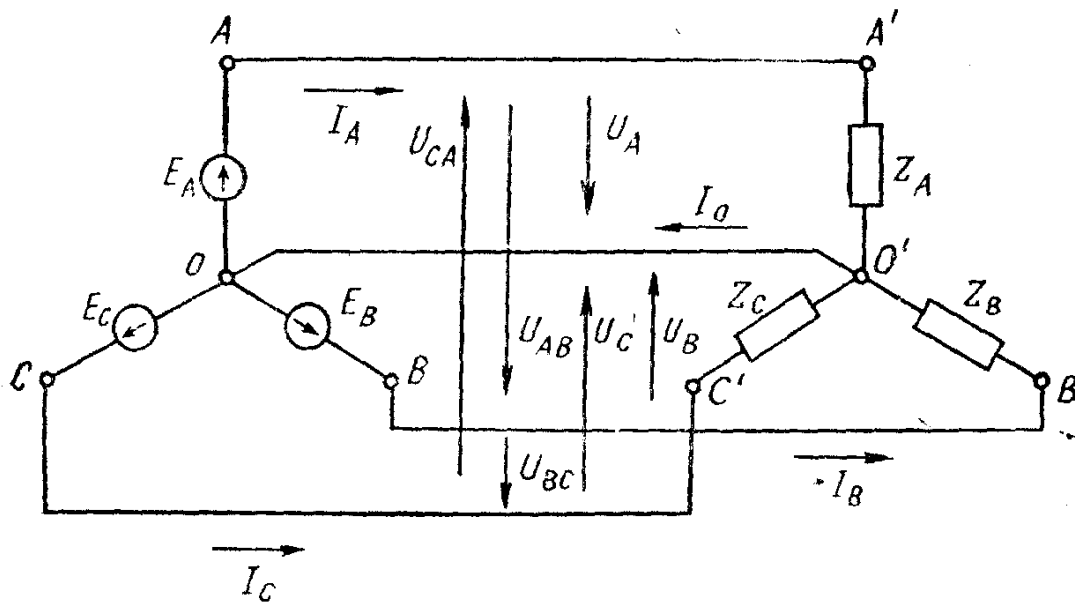
Манба ва истеъмолчининг бир номли фазаларидан ўтадиган  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  тоқлар *фаза тоқлари* дейилади ва улар  $I_\phi$  деб белгиланади. Юлдуз усули билан улашда манба ва истеъмолчининг бир номли фазалари кетма-кет улангани учун линия ва фаза тоқлари ўзаро тенг бўлади:

$$I_\Delta = I_\phi \quad (3.2)$$

Ихтиёрий линия сими (манба ёки истеъмолчининг бош учи) билан нолинчи сим (нолинчи нуқта) орасидаги кучланиш *фаза кучланиши* дейилади ва улар тегишлича  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  (ёки  $U_\phi$ ) тарзда белгиланади.

Исталган иккита линия сими (ёки манба билан истеъмолчининг исталган иккита бош учлари) орасидаги кучланиш *линия кучланиши* дейилади. Уларни  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  (ёки  $U_\Delta$ ) тарзда ёзиш қабул қилинган.

Истеъмолчининг фаза қаршилиқлари  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  уч фаза-ли манбанинг (ёки тармоқнинг) фаза кучланишига уланса, у ҳолда истеъмолчининг ҳар бир фазасидаги ток ва қувват коэффициентлари қуйидаги формулалар ёрдамида аниқланади:



3.2 расм.

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}; \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B}; \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C} \quad \text{ёки} \quad I_\Phi = \frac{U_\Phi}{Z_\Phi}$$

$$\cos \varphi_A = \frac{R_A}{Z_A}; \quad \cos \varphi_B = \frac{R_B}{Z_B}; \quad \cos \varphi_C = \frac{R_C}{Z_C} \quad \text{ёки} \quad \cos \varphi_\Phi = \frac{R_\Phi}{Z_\Phi}$$

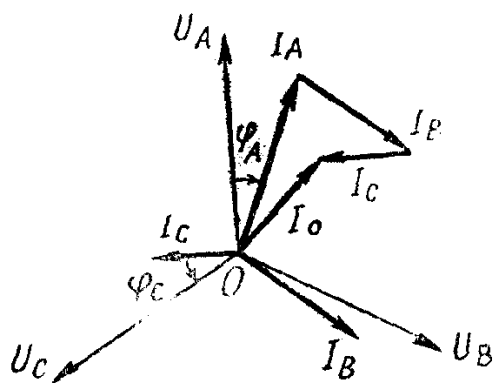
$$\sin \varphi_A = \frac{X_A}{Z_A}; \quad \sin \varphi_B = \frac{X_B}{Z_B}; \quad \sin \varphi_C = \frac{X_C}{Z_C} \quad \text{ёки} \quad \sin \varphi_\Phi = \frac{X_\Phi}{Z_\Phi}$$

Уч фазали ЭЮК, кучланиш ва тоklarнинг шартли мусбат йўналиши 3.2-расмдаги схемада кўрсатилгандек қабул қилинади. Ушбу расмда токнинг мусбат йўналиши қилиб генератордан истеъмолчига томон йўналиши, генератор ЭЮК ининг мусбат йўналиши эса генератор чулгамларининг охириги  $X, Y, Z$  учларидан унинг бош учлари  $A, B, C$  томон йўналиши олинган. Истеъмолчиларда кучланиш ва токнинг мусбат йўналиши қилиб уларнинг бош учларидан охириги учларига томон йўналиш қабул қилинган.

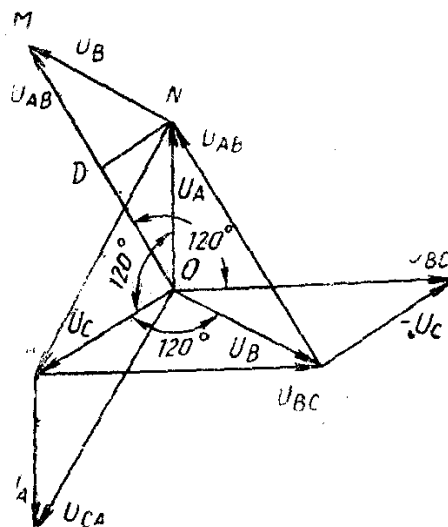
Нолинчи симдан ўтайдиган ток  $I_0$  тарзда белгиланади. Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ нолинчи симдаги ток линия (ёки фаза) тоklarнинг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C. \quad (3.3)$$

3.2-расмдаги схема уч фазали занжирнинг тўрт симли системаси (ёки ноль симли юлдуз усулида улаш системаси) дейилади. Бундай система нагрзука носимметрик ( $I_A \neq I_B \neq I_C$ ) бўлганда қўлланади. 3.3-расмда актив-индуктив ҳарактердаги носимметрик нагрзука учун қурилган фаза кучланишлари ва тоklarининг вектор диаграммаси кўрсатилган. Уни қуришда аввал



расм.



3.4- расм.

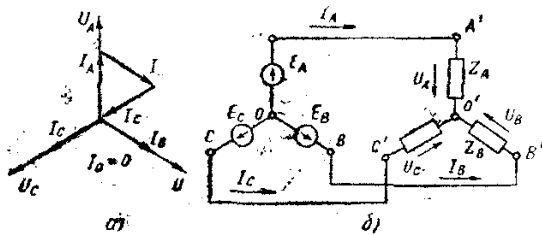
Ихтиёрй  $O$  нуқтадан  $U_A, U_B, U_C$  фаза кучланишларининг векторлари  $120^\circ$  фарқ билан чизилади. Сўнгра  $I_A, I_B, I_C$  фаза токлари кучланишларга нисбатан  $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$  кечикувчи бурчаклар остида чизилиб, ток  $I_0$  нинг қиймати (3.3) ифолага биноан аниқланади.

Тўрт симли системада уч фазали занжирнинг ҳар бир фазаси мустақил занжир ҳисобланади. Фаза қаршиликларининг қийматидан қатъи назар учала фаза кучланиши ўзаро тенг, яъни  $U_A = U_B = U_C = U_\phi$ . Бирон фазадаги қаршиликнинг ўзгариши шу фазада ва нолинчи симдаги токнинг ўзгаришига сабаб бўлади. Агар носимметрик нагрукда нолинчи сим узилса, нагрукаси кичикроқ фазанинг кучланиши номиналдан ортиб кетиб, шу фазадаги қаршилик қизийди ёки куйиб кетади. Нагрукаси каттароқ фазанинг кучланиши эса номиналдан камайиб, тармоқдан камроқ қувват олади. Шунинг учун носимметрик нагрукда фаза кучланишларининг симметриясини сақлаш мақсадида нолинчи симга сақлагич қўйилмайди. Уч фазали нотекис нагруккага, асосан, электр ёритиш асбоблари ва маиший истеъмолчилар кирради.

**Фаза ва линия кучланишлари орасидаги нисбат.** Агар 3.2-расмдаги схемада занжирни айланиб чиқишла йўналишни  $A'$  дан  $B'$  га ва  $B'$  дан  $C'$  га ва ниҳоят  $C'$  дан  $A'$  га қараб олинса, у ҳолда линия кучланишлари фаза кучланишларининг геометрик айирмасига тенг бўлади:

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_{AB} &= \bar{U}_A - \bar{U}_B \\ \bar{U}_{BC} &= \bar{U}_B - \bar{U}_C \\ \bar{U}_{CA} &= \bar{U}_C - \bar{U}_A \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Ушбу тенгликлардан фойдаланиб, фаза ва линия кучланишлари орасидаги нисбатни аниқлаш мумкин. Бунинг учун их-



3.5- расм.

тиёрий  $O$  нуқтадан фаза кучланишларининг  $\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$  векторлари ўзаро  $120^\circ$  фарқ билан чизилади. Сўнгра фаза кучланишларининг маълум қийматларига кўра (3.4) ифодага биноан линия кучланишларининг вектор диаграммасини қуриб, унинг қийматини аниқлаймиз (3.4- расм). Ушбу

векторлар диаграммасидан кўринадики, учала линия кучланишлари ўзаро тенг ва фаза жиҳатдан бир-бирларига нисбатан  $120^\circ$  га силжиган. Тенг ёнли  $OMN$  учбурчакдан қуйидагиларни аниқлаймиз:

$$OM = 2 OD = 2 ON \cos 30^\circ = \sqrt{3} ON.$$

Агар  $OM = U_{AB} = U_\lambda$  ва  $ON = U_A = U_\phi$  бўлса, у ҳолда

$$U_\lambda = \sqrt{3} U_\phi. \quad (3.5)$$

Демак, электр истеъмолчилари юлдуз усулида уланганда линия кучланиши фаза кучланишидан  $\sqrt{3}$  марта катта бўлар экан.

### 3.3. МАНБА ВА ИСТЕЪМОЛЧИЛАРНИ УЧ СИМЛИ ЮЛДУЗ УСУЛИДА УЛАШ

Генераторнинг (ёки уч фазали тармоқнинг) фазаларига уланадиган қаршилиқлар ўзаро тенг ( $Z_A = Z_B = Z_C$ ) ва бир хил характерга, яъни бир хил сиғим ва индуктивликка эга бўлса, бундай нагрузка симметрик ҳисобланади. Симметрик нагрузкада линия тоқларининг геометрик йиғиндиси нолга тенг, яъни

$$\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0. \quad (3.6)$$

(3.6) ифодага мос вектор диаграмма 3.5- расм, а да кўрсатилган. Ушбу векторлар диаграммасидан кўринадики, симметрик нагрузкада нолинчи симдан ток ўтмайди. У ҳолда нолинчи симга эҳтиёж қолмай, манба ва истеъмолчини уч симли юлдуз усулида улаш мумкин бўлади (3.5- расм, б). Уч фазали симметрик истеъмолчиларга уч фазали асинхрон двигателлар, уч фазали индукцион печлар, шунингдек уч фазали симметрик нагрузка ҳосил қилувчи барча истеъмолчилар мисол бўла олади.

Симметрик нагрузкада фаза ва линия кучланишлари ўзаро тенг бўлади. Уч симли юлдуз усулида улашда  $U_\lambda = \sqrt{3} U_\phi$  ифода нагрузка симметрик бўлганидагина кучга эга.

### 3.4. ИСТЕЪМОЛЧИЛАРНИ УЧБУРЧАК УСУЛИДА УЛАШ

Уч фазали ток истеъмолчиларини учбурчак усулида улаш деб, биринчи фазанинг охириги учи  $X'$  ни иккинчи фазанинг бош учи  $B'$  билан, иккинчи фазанинг охириги учи  $Y'$  ни учинчи фазанинг бош учи  $C'$  билан ва учинчи фазанинг охириги учи  $Z'$  ни биринчи фазанинг бош учи  $A'$  билан улашга айтилади (3.6-расм, *а*). Бундай улаш усули „ $\Delta$ “ белгиси билан кўрсатилади. Одатда, генераторнинг чулғамлари юлдуз усулида уланади. Аммо уч фазали трансформаторларнинг иккиламчи чулғами юлдуз ёки учбурчак усулида уланиши мумкин.

3.6-расмдаги схемалардан кўринадикки, истеъмолчининг фаза қаршиликлари  $Z_{AB}$ ,  $Z_{BC}$ ,  $Z_{CA}$  ҳар жуфт  $A-B$ ,  $B-C$ ,  $C-A$  линия симларига уланган. Демак, истеъмолчи учбурчак усулида уланганда унинг ҳар бир фазаси манбанинг (ёки тармоқнинг) линия кучланишига уланар экан. Бундай улаш схемасида линия ва фаза кучланишлари ўзаро тенг бўлади:

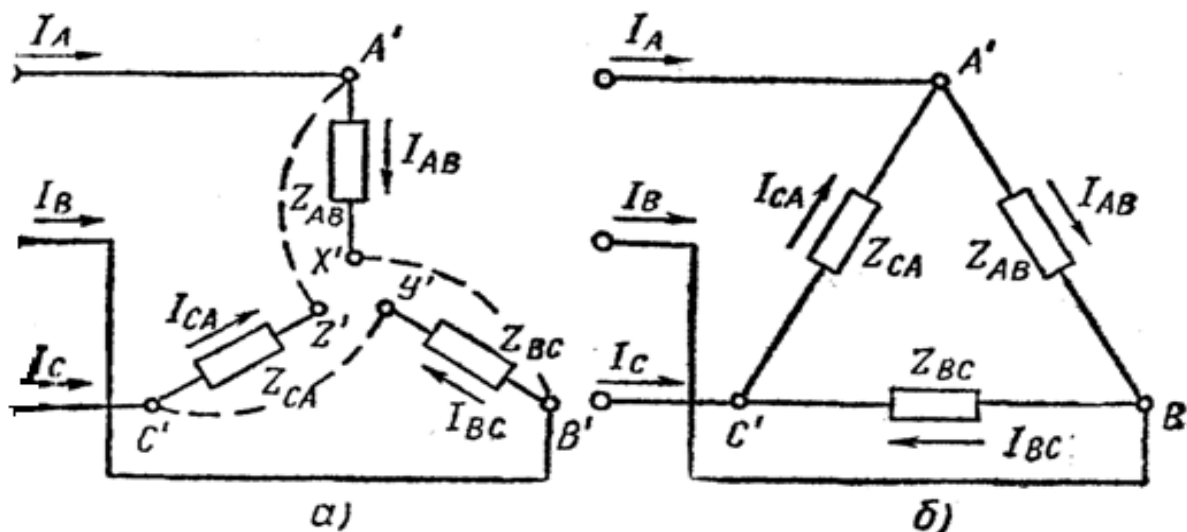
$$U_{\Delta} = U_{\Phi}.$$

Истеъмолчининг фаза қаршиликларидан ўтаётган  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$  тоқларга фаза тоқлари дейилади. Линия симларидан ўтаётган  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  тоқлар эса линия тоқлари дейилади. Фаза ва линия тоқларининг шартли мусбат йўналишлари 3.6-расм, *а* ва *б* да кўрсатилган.

Фаза кучланишлари ва қаршиликларининг маълум қийматларида ҳар бир фаза тоқини ва қувват коэффициентини ҳисоблаб топиш мумкин:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}}; \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}}; \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}}$$

$$\cos \varphi_{AB} = \frac{R_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \cos \varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}}; \quad \cos \varphi_{CA} = \frac{R_{CA}}{Z_{CA}}$$



3.6-расм.

$$\sin \varphi_{AB} = \frac{X_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \sin \varphi_{BC} = \frac{X_{BC}}{Z_{BC}}; \quad \sin \varphi_A = \frac{X_{CA}}{Z_{CA}}$$

ёки умумий ҳолда

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}}; \quad \cos \varphi_{\phi} = \frac{R_{\phi}}{Z_{\phi}}; \quad \sin \varphi_{\phi} = \frac{X_{\phi}}{Z_{\phi}}$$

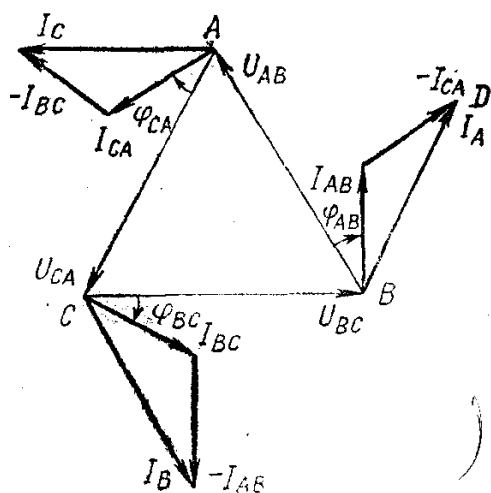
Истеъмолчининг фаза қаршиликларини юлдуз ёки учбурчак усулида улаш линия кучланишининг қийматига ва истеъмолчининг қандай номинал кучланишга мўлжалланганига боғлиқ. Масалан, паспортида „Y/Δ—380/220“ ёзуви бўлган уч фаза асинхрон двигателни линия кучланиши  $U_{л} = 380$  В ли тармоққа юлдуз усулида, линия кучланиши  $U_{л} = 220$  В ли тармоққа эса учбурчак усулида улаш мумкин. Агар  $U_{л} = 380$  В ли тармоққа учбурчак усулида уланилса,  $U_{ном} = U_{л} = 380$  В бўлиб, статор чулғамлари куйиб кетади. Агар  $U_{л} = 220$  В ли тармоққа юлдуз усулида уланилса,  $U_{ном} = U_{\phi} = 127$  В бўлиб, двигатель тўла қувват билан ишламайди.

**Фаза ва линия токлари орасидаги нисбат.** Учбурчак усулида улашда фаза ва линия токларининг тенг эмаслиги 3.6-расмдаги схемалардан ҳам кўришиб турибди. Бу тоklar орасидаги нисбатни аниқлаш учун Кирхгофнинг I қонунига асосан  $A, B, C$  тугунлар учун қуйидаги тенгламаларни ёзамиз:

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}; \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}; \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}. \quad (3.7)$$

Демак, линия токлари фаза токларининг геометрик айирмасига тенг экан.

3.7-расмда актив-индуктив характердаги симметрик нагрузка учун линия ва фаза кучланишлари ҳамда токларининг вектор диаграммаси кўрсатилган. Дастлаб линия (фаза) кучланишлари векторларининг учбурчаги қурилади, сўнгра  $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$  фаза токларини линия кучланишлари  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$



3.7- расм.

га нисбатан  $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA}$  кечикувчи бурчаклар остида чизамиз. Кейин (2.7) ифодага биноан линия токларининг векторларини топиб, уларнинг қийматини аниқлаймиз.

Ушбу векторлар диаграммасидан кўринадики, учала линия токлари ( $I_A, I_B, I_C$ ) ўзаро тенг ва фаза токларидан фаза бўйича  $30^\circ$  га кечикади.

Тенг ёнли учбурчак  $BND$  дан (3.5) формулани топгандаги каби усул билан

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} I_{\phi} \quad (3.8)$$

Эквивалентини аниқлаймиз.

Демак, истеъмолчиларни учбурчак усулида улаганда линия токлари фаза тоklarидан  $\sqrt{3}$  марта катта бўлар экан. (3.8) ифода нагрузка симметрик бўлгандагина кучга эга. Нагрузка носимметрик бўлганда ҳар бир линия токи алоҳида ўлчанади. Эки маълум фаза токлари бўйича (3.7) ифодага биноян ток ва кучланишларнинг вектор диаграммасини тегишли масштабда қуриб аниқланади.

### 3.5. УЧ ФАЗАЛИ ЗАНЖИРЛАРНИНГ ҚУВВАТИ

Бир фазали ток занжирида кўрилган актив, реактив ва тўла қувват тушунчалари уч фазали ток занжирида ҳам ўз маъносини тўла сақлайди. Нагрузка симметрик ва носимметрик бўлганда юлдуз ва учбурчак усулида уланган истеъмолчиларнинг актив, реактив ва тўла қувватларини ҳисоблаш (аниқлаш) формулалари билан танишиб чиқамиз.

1 Нагрузка носимметрик бўлганда ҳар бир фазанинг қуввати алоҳида ҳисоблаб топилади.

$\Delta$  усулида уланганда

$$I_A \neq I_B \neq I_C$$

$\Delta$  усулида уланганда

$$I_{AB} \neq I_{BC} \neq I_{CA}$$

*Актив қувват*

$$\begin{array}{l|l} P_A = U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_A & P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos \varphi_{AB} \\ P_B = U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_B & P_{BC} = U_{BC} \cdot I_{BC} \cdot \cos \varphi_{BC} \\ P_C = U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_C & P_{CA} = U_{CA} \cdot I_{CA} \cdot \cos \varphi_{CA} \end{array}$$

Уч фазали занжирнинг актив қуввати алоҳида фазалар актив қувватларининг йиғиндисига тенг, яъни

$$P_{\Delta} = P_A + P_B + P_C \quad | \quad P_{\Delta} = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$$

*Реактив қувват*

$$\begin{array}{l|l} Q_A = U_A \cdot I_A \cdot \sin \varphi_A & Q_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \sin \varphi_{AB} \\ Q_B = U_B \cdot I_B \cdot \sin \varphi_B & Q_{BC} = U_{BC} \cdot I_{BC} \cdot \sin \varphi_{BC} \\ Q_C = U_C \cdot I_C \cdot \sin \varphi_C & Q_{CA} = U_{CA} \cdot I_{CA} \cdot \sin \varphi_{CA} \end{array}$$

Уч фазали занжирнинг реактив қуввати алоҳида фазалар реактив қувватларининг йиғиндисига тенг, яъни

$$Q_{\Delta} = Q_A + Q_B + Q_C \quad | \quad Q_{\Delta} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}$$

### Тўла қувват

$$\begin{array}{l|l} S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2} & S_{AB} = \sqrt{P_{AB}^2 + Q_{AB}^2} \\ S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2} & S_{BC} = \sqrt{P_{BC}^2 + Q_{BC}^2} \\ S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} & S_{CA} = \sqrt{P_{CA}^2 + Q_{CA}^2} \end{array}$$

Уч фазали занжирнинг тўла қуввати

$$S_{\lambda} = \sqrt{P_{\lambda}^2 + Q_{\lambda}^2} \quad | \quad S_{\Delta} = \sqrt{P_{\Delta}^2 + Q_{\Delta}^2}$$

### 2. Нагрузка симметрик бўлганда

$I_A = I_B = I_C = I_{\Phi}$	$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_{\Phi}$
$\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_{\Phi}$	$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi_{\Phi}$
$P_A = P_B = P_C = P_{\Phi}$	$P_{AB} = P_{BC} = P_{CA} = P_{\Phi}$
$P_{\Phi} = U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \cos \varphi_{\Phi}$	$P_{\Phi} = U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \cos \varphi_{\Phi}$
$P_{\lambda} = 3 \cdot U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \cos \varphi_{\Phi} = 3P_{\Phi}$	$P_{\Delta} = 3P_{\Phi} = 3U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \cos \varphi_{\Phi}$
$Q_A = Q_B = Q_C = Q_{\Phi}$	$Q_{AB} = Q_{BC} = Q_{CA} = Q_{\Phi}$
$Q_{\Phi} = U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \sin \varphi_{\Phi}$	$Q_{\Phi} = U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \sin \varphi_{\Phi}$
$Q_{\lambda} = 3Q_{\Phi} = 3U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \sin \varphi_{\Phi}$	$Q_{\Delta} = 3Q_{\Phi} = 3U_{\Phi} \cdot I_{\Phi} \cdot \sin \varphi_{\Phi}$
$S_A = S_B = S_C = S_{\Phi}$	$S_{AB} = S_{BC} = S_{CA} = S_{\Phi}$
$S_{\Phi} = U_{\Phi} \cdot I_{\Phi}$	$S_{\Phi} = U_{\Phi} \cdot I_{\Phi}$
$S_{\lambda} = 3S_{\Phi} = 3U_{\Phi} I_{\Phi}$	$S_{\Delta} = 3S_{\Phi} = 3U_{\Phi} \cdot I_{\Phi}$

Истеъмолчи юлдуз усулида  $I_{\lambda} = I_{\Phi}$  ва  $U_{\lambda} = \sqrt{3}U_{\Phi}$  учбурчак усулида уланганда эса  $I_{\lambda} = \sqrt{3}I_{\Phi}$  ва  $U_{\lambda} = U_{\Phi}$  эканлигини ҳисобга олиб, актив, реактив ва тўла қувватларни аниқлашнинг қуйидаги умумлашган формулаларини ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} U_{\lambda} I_{\lambda} \cos \varphi_{\Phi}; \\ Q &= \sqrt{3} U_{\lambda} I_{\lambda} \sin \varphi_{\Phi}; \\ S &= \sqrt{3} U_{\lambda} I_{\lambda}. \end{aligned}$$

Нагрузка қаршилиқларини юлдуз усулидан учбурчак усулига ва аксинча ўтказиб улаш амалда учраб туради. Масалан, уч фазали электр печининг температурасини ростлаш мақсадида  $\Delta$  дан  $Y$  га ўтказиб уланади. Аммо бунда печнинг қуввати 3 марта камаяди. Агарда  $Y$  дан  $\Delta$  га ўтказиб уланса, печнинг қуввати 3 марта ортади. Ҳақиқатан ҳам, юлдуз усулида уланганда:

$$I_{\Phi\lambda} = \frac{U_{\Phi\lambda}}{R_{\Phi}}; \quad P_{\lambda} = 3U_{\Phi\lambda} I_{\Phi\lambda} = 3 \cdot \frac{U_{\Phi\lambda}^2}{R_{\Phi}}$$



Учбурчак усулида уланганда эса

$$U_{\Phi\Delta} = \sqrt{3}U_{\Phi\lambda}; \quad I_{\Phi\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_{\Phi\lambda}}{R_{\Phi}}; \quad P_{\Delta} = 3U_{\Phi\Delta}I_{\Phi\Delta} = 9\frac{U_{\Phi\lambda}^2}{R_{\Phi}}.$$

$$\frac{P_{\Delta}}{P_{\lambda}} = 3.$$

## 4-боб. МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ ВА ЭЛЕКТРОМАГНИТ ҚУРИЛМАЛАР

### 4.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Магнит юритувчи кучлар (МЮК) таъсирида ҳосил бўлган магнит оқимлари ўтишига мослашган ферромагнит материаллар ва бошқа элементлар йиғиндиси магнит занжирини ташкил этади.

Магнит занжирларидаги электромагнит жараёнларни МЮК, магнит оқими, магнит майдонининг индукцияси ва кучланганлиги каби тушунчалар билан изоҳланади. Маълумки, ўтказгичдан ток ўтаётганда унинг атрофида магнит майдони ҳосил бўлади. Бу ток тўғри чизиқли йўналган бўлса, унинг магнит майдони куч чизиқларининг йўналишини инглиз олими Максвелл тавсия этган ўнг парма қондаси ёрдамида аниқлаш мумкин. Агар парманинг ҳаракати ўтказгичдаги ток йўналиши билан мос тушса, у ҳолда парма дастаси айланма ҳаракатининг йўналиши магнит куч чизиқлари йўналишини кўрсатади (4.1-расм).

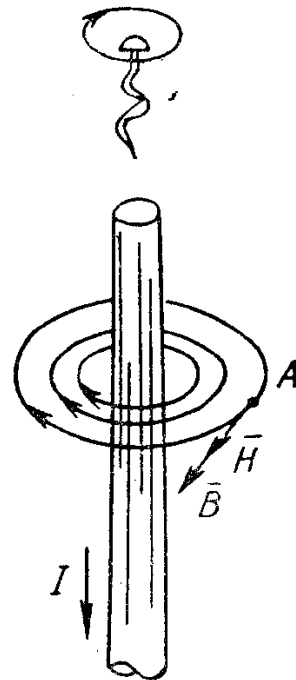
Электр токини ҳосил қилувчи магнит майдони *магнит индукцияси вектори* ( $\vec{B}$ ) билан характерланади. Бу вектор магнит майдони куч чизиқларига уринма бўйлаб йўналган бўлади ва у мазкур майдон интенсивлигини билдириб, унинг таъсир этиш йўналишини кўрсатади.

Берилган  $S$  сирт орқали ўтган магнит куч чизиқлари тўплами шу сирт орқали ўтувчи *магнит оқими*  $\Phi$  дейилади. Магнит оқими билан магнит индукцияси орасидаги боғланиш қуйидагича ифодаланади:

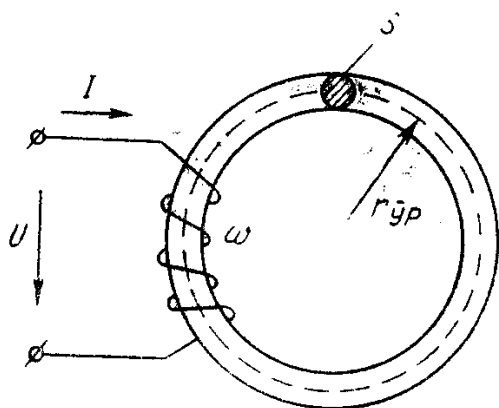
$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{s} = \int_S B ds \cos(\vec{B}, \widehat{d\vec{s}}). \quad (4.1)$$

Магнит оқими скаляр катталиқ бўлиб, мусбат ва манфий ишораларга эга бўлиши мумкин. Унинг ишораси  $\vec{B}$  ва  $d\vec{s}$  орасидаги оурчакка боғлиқ бўлади

Индукцияси ҳамма нуқталарида бир



4.1- расм.



4.2- расм.

хил бўлган магнит майдони бир жинсли майдон дейилади. Бундай майдон учун (4.1) ифода қуйидагича ёзилади:

$$\Phi = B \cdot S. \quad (4.2)$$

$SI$  системасида магнит индукцияси тесла (Тл), магнит оқими эса вебер (Вб) да ўлчанади.

Магнит майдони индукциядан ташқари, *майдон кучланганлиги*  $H$  билан ҳам характерланади. Унинг ўлчов бирлиги А/м Бу

иккала катталиқ ўзаро қуйидагича боғланган:

$$B = \mu_0 \mu_a H = \mu_a H. \quad (4.3)$$

Бу ерда:  $\mu$  — муҳитнинг нисбий магнит сингдирувчанлиги;  $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$  Гн/м — вакуумнинг (бўшлиқ) магнит сингдирувчанлиги;  $\mu_a = \mu_0 \mu$  — муҳитнинг абсолют магнит сингдирувчанлиги.

Бир жинсли майдонда  $\vec{B}$  ва  $\vec{H}$  ларнинг йўналишлари ўзаро мос келади.

Магнит майдони кучланганлиги билан мазкур майдонни юзага келтирувчи тоқлар орасидаги муносабат тўла ток қонуни билан ифодаланади. Бу қонунга асосан магнит майдони кучланганлигидан берк контур бўйича олинган чизиқли интеграл шу контурдаги тўла токка тенг бўлади:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I. \quad (4.4)$$

Бирор берк контурдан ўтаётган тоқларнинг алгебраик йиғиндиси ( $\sum I$ ) *тўла ток* дейилади.

Масалан, оддий магнит занжири учун (4.2- расм) тўла ток қонуни қуйидагича ёзилади:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I \Rightarrow H 2\pi r_{yp} = IW,$$

бу ерда:  $r_{yp}$  — ферромагнит ўзакнинг ўртача радиуси;  $IW = \oint \vec{H} d\vec{l} = F$  — занжирнинг магнит юритувчи кучи.

Электр ва магнит занжирларидаги катталиқлар орасидаги ўхшашликлар 2- жадвалда кўрсатилган.

	Электр катталиклар	Магнит катталиклар
1	ЭЮК ( $E = \oint \bar{E}dl = \sum F_l$ )	МЮК ( $F = \oint \bar{H}d\bar{l} = \sum I_i W_i$ )
2	Электр токи ( $I = \int_S \bar{\delta}ds$ )	Магнит оқими ( $\Phi = \int_S \bar{B}ds$ )
3	Электр актив қаршилик $R = \frac{l}{\gamma S}$	Магнит қаршилиги $R_M = \frac{l}{\mu_a S}$
4	Ток зичлиги $\bar{\delta}$	Магнит индукцияси $\bar{B}$
5	Электр майдон кучланганлиги $\bar{E}$	Магнит майдони кучланганлиги $\bar{H}$
6	Солиштира ўтказувчанлик $\gamma$	Абсолют магнит сингдирувчанлик $\mu_a$
7	Кучланиш $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \int_b^a \bar{E}d\bar{l}$	Магнит кучланиш $U_{Mab} = \varphi_{Ma} - \varphi_{Mb} = \int_a^b \bar{H}d\bar{l}$

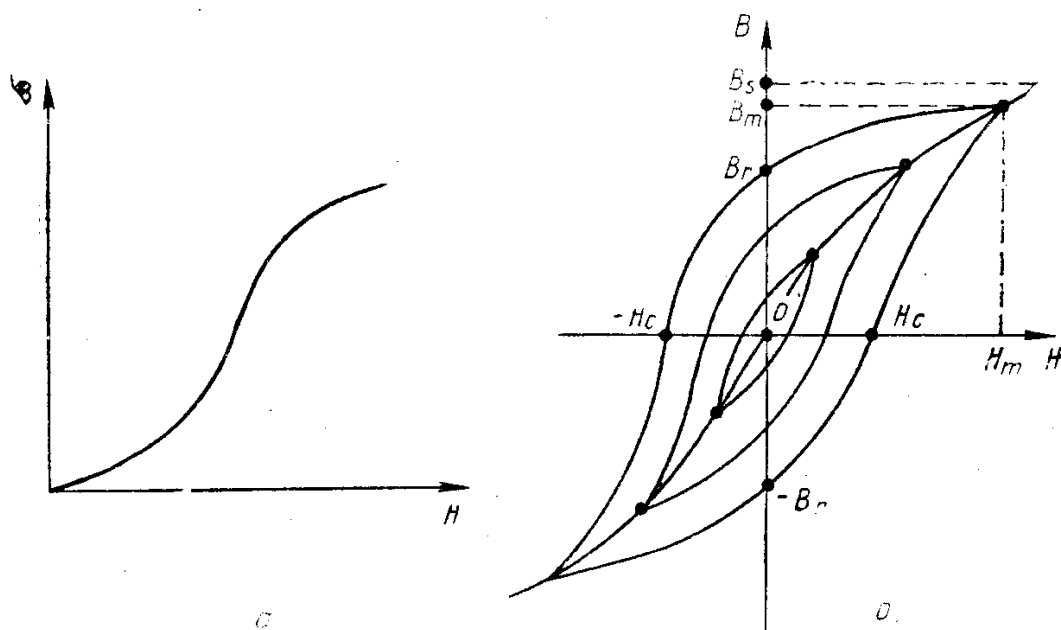
Бу ўхшашликларни ҳисобга олиб, электр занжирлари қонунларини магнит занжирлари учун ҳам ёзишимиз мумкин (3-жадвал).

№	Қонулар	Электр занжири	Магнит занжири
1.	Ом қонуни	$I = \frac{U}{R}$	$\Phi = \frac{U_M}{R_M}$
2.	Кирхгофнинг I қонуни	$\sum I_k = 0$	$\sum \Phi_i = 0$
3.	Кирхгофнинг II қонуни	$\sum I_k R_k = \sum E_i$	$\sum \Phi_k R_{Mk} = \sum F_i$

#### 4.2. ФЕРРОМАГНИТ МАТЕРИАЛЛАР ВА УЛАРНИНГ ХУСУСИЯТЛАРИ

Магнит хусусиятларига кўра жисмлар қуйидаги гуруҳларга бўлиниши мумкин: 1) *диамагнетиклар* ( $\mu < 1$ ); 2) *парамагнетиклар* ( $\mu > 1$ ); 3) *ферромагнетиклар* ( $\mu \gg 1$ ).

Автоматика ва ҳисоблаш техникасида магнит занжирларининг элементлари сифатида, асосан ферромагнетиклардан фойдаланилади. Ферромагнит материалларга темир, никель, кобальт ва ферромагнитлар киради. Ферромагнит материалларининг асосий хусусиятларини магнит индукцияси билан унинг куч-



4.3- расм.

ланганлиги орасидаги  $B(H)$  боғланиш кўрсатади.  $B(H)$  боғланиш материалнинг *магнитланиш характеристикаси* дейилади. Бу характеристикани тажриба йўли билан олиш мумкин.

Агар магнитсизланган ферромагнит материалда магнит майдони секинлик билан ортиб борадиган бўлса, у ҳолда ҳосил бўлган  $B(H)$  характеристикаси *бошланғич магнитланиш эгри чизиғи* дейилади (4.3- расм, а). Агар магнит майдони даврий равишда ўзгарадиган бўлса, у ҳолда  $B(H)$  боғланиш симметрик магнитланиш циклларида иборат бўлади. Бу ҳолдаги айрим характеристикани *гистерезис сиртмоғи* дейилади (4.3- расм, б).

Магнит майдони кучланганлигининг ( $H_m$ ) ҳар хил қийматларида ўзаро симметрик бир неча гистерезис сиртмоқларини ҳосил қилиш мумкин. Бу гистерезис сиртмоқларининг учларини бирлаштириб ҳосил қилинган характеристика *асосий магнитланиш эгри чизиғи* дейилади (4.3- расм, б).

Ферромагнит материалнинг энг катта гистерезис сиртмоғи унинг чегаравий гистерезис сиртмоғи дейилади ва у ёрдамида ферромагнит материалларнинг асосий параметрларини аниқлаш мумкин. Чунончи,  $B_r$ ,  $B_m$  ва  $B_s$  — мос равишда қолдиқ, максимал ва тўйиниш индукциялари,  $H_c$  — коэрцитив куч.

Максимал индукциядан ( $B_m$ ) бошлаб, магнитланувчи материалнинг магнит сингдирувчанлиги жуда камайиб кетади ва тўйиниш жараёни содир бўлади.

Агар материалнинг коэрцитив кучи кичик ( $H_c < 4000$  А/м) бўлиб, солиштирма магнит сингдирувчанлиги катта бўлса, у ҳолда бундай материаллар осон магнитланувчи материаллар ҳисобланади. Бу туркумга кирувчи электротехник пўлат, пер-

маллой ва альсиферлар автоматика ва ҳисоблаш техникаси элементларини яшашда қўлланилади.

Агар материалнинг коэрцитив кучи катта ( $H_c > 4000$  А/м), бўлса, бундай материаллар қийин магнитланувчи материаллар дейилади ва улар доимий магнитлар тайёрлашда қўлланилади.

Магнитланиш жараёнида маълум исрофлар юзага келади. Масалан, материалнинг масса бирлигига тўғри келувчи битта гистерезис сиртмоғи циклида исроф бўлган солиштирма қувват  $P_r \left[ \frac{B_m}{\text{кг}} \right]$  шу сиртмоқнинг юзасига пропорционал бўлади. Бундан ташқари, материалдаги „ампер токлари“ (уюрма тоқлар) таъсирида исроф бўлган қувват  $P_y$  ҳам амалий аҳамиятга эгадир. Бу қувват материалнинг солиштирма электр қаршилигига тесқари пропорционал, магнит индукцияси квадратига ва магнитланиш частотасига тўғри пропорционал бўлади.

Бу қувватлар исрофи, умумий ҳолда, магнитланиш исрофи дейилади. Демак, магнитланиш исрофи:

$$P_m = P_r + P_y.$$

Чегаравий гистерезис сиртмоғининг шакли унинг тўғри бурчакли коэффициенти билан аниқланади:

$$K_r = \frac{B_r}{B_m}.$$

Автоматик бошқариш системаларида ва ҳисоблаш техникасида тўғри бурчакли гистерезис сиртмоғига эга бўлган материаллардан фойдаланилади. Бу материаллар учун  $K_r = 0,7 \div 0,9$ .

#### 4.3. УЗГАРМАС МҮОК ТАЪСИРИДАГИ МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ

Ўзгармас магнит юритувчи кучлар (МҮОК) таъсиридаги магнит занжирларини ҳисоблаш усуллари гуруҳларга магнит занжирини синтез ва анализ қилиш тарзида кўриб чиқилади.

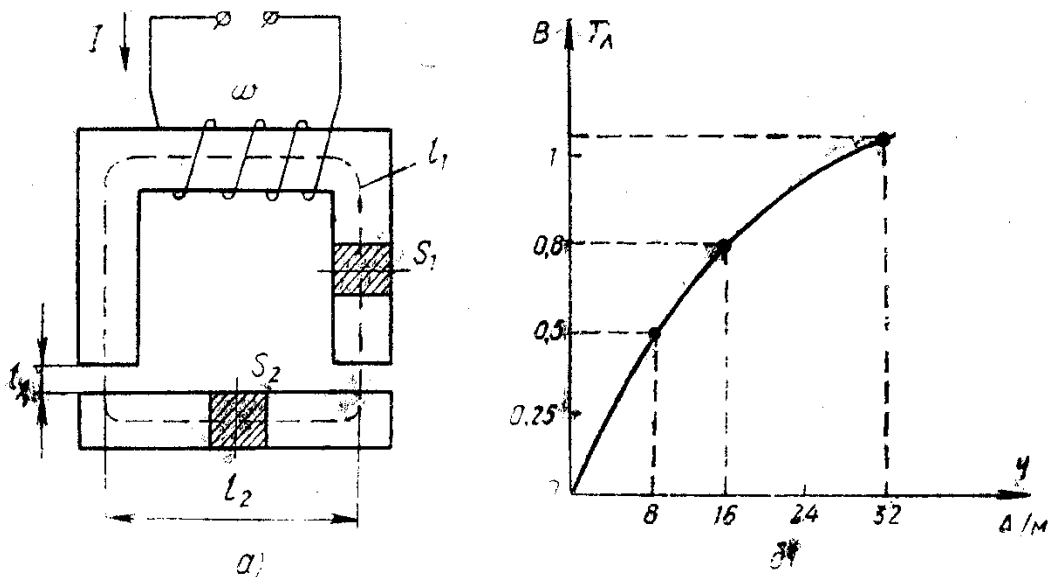
Магнит занжирини синтез қилишда берилган магнит занжирдан ўтаётган магнит оқими маълум бўлиб, унга тегишли МҮОК ни топиш керак бўлади. Магнит оқимини  $\Phi$  билан белгиласак, магнит индукцияси ва айрим участкалардаги магнит майдон кучланганлиги қуйидагича аниқланади:

$$H_i = \frac{B_i}{\mu_i} = \frac{\Phi_i}{S_i \mu_i},$$

бу ерда:  $S_i$  ва  $\mu_i$  — мос равишда  $i$ - участканинг кўндаланг кесим юзаси ва магнит сингдирувчанлиги.

Нагижада МҮОК:

$$F = \sum H_i l_i = I W,$$



4.4- расм.

бу ерда  $l_i$  —  $i$ - участканинг узунлиги;  $W$  — магнит майдонини ҳосил қилувчи чулғамнинг ўрамлари сони;  $I$  — чулғамдан ўтаётган ўзгармас ток.

4.1-масала. 4.4-расм, а да кўрсатилган магнит занжиридаги асосий магнит оқими  $\Phi = 2 \cdot 10^{-4}$  Вб. Пермаллойдан ясалган ўзакнинг параметрлари қуйидагича:  $S_1 = 4 \text{ см}^2$ ;  $S_2 = 2,5 \text{ см}^2$ ;  $l_1 = 20 \text{ см}$ ;  $l_2 = 5 \text{ см}$ ;  $l_x = 0,5 \text{ см}$ ;  $W = 1000$  ўрам. Занжирдаги МЮК аниқлансин.

Ечилиши. Магнит занжири учун Кирхгофнинг II қонунига асосан қуйидагини ёзамиз:

$$F = IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_x 2l_x$$

Ҳар бир участканинг индукцияси

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0,5 \text{ Тл};$$

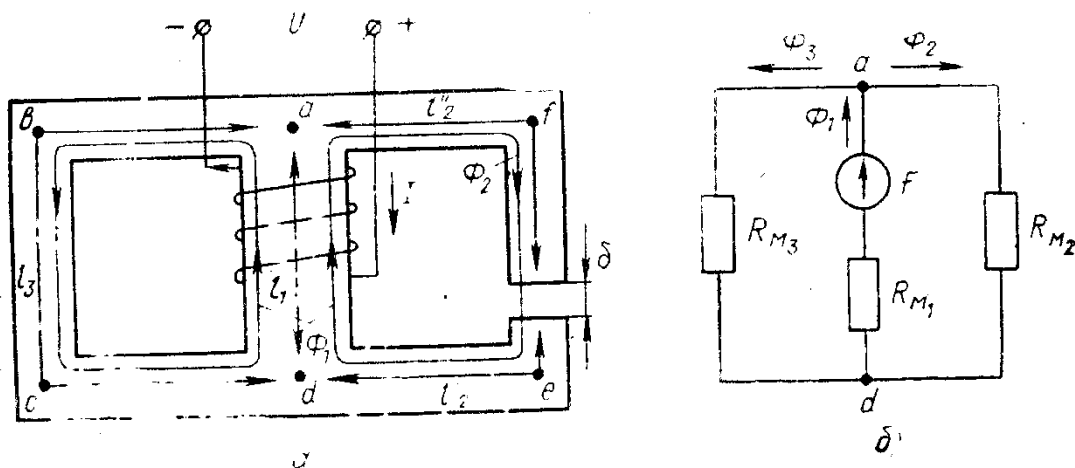
$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2,5 \cdot 10^{-4}} = 0,8 \text{ Тл}.$$

Пермаллоининг магнитланиш характеристикасидан (4.4-расм, б) индукцияларнинг  $B_1 = 0,5 \text{ Тл}$  ва  $B_2 = 0,8 \text{ Тл}$  қийматларига тегишли бўлган майдон кучланганликларини аниқлаймиз:

$$H_1 = 8 \text{ А/м}; \quad H_2 = 16 \text{ А/м}$$

Ҳаволи тирқишдаги индукция  $B_x = B_1$  эканлигини ҳисобга олганда

$$H_x = \frac{B_1}{\mu_0} = \frac{0,5}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 398000 \text{ А/м}.$$



4.5- расм,

Натижада

$$F = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_x 2l_x = 8 \cdot 20 \cdot 10^{-2} + 16 \cdot 5 \cdot 10^{-2} + 398 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2} = 1,6 + 0,8 + 3980 = 3982,4 \text{ A.}$$

Бинобарин, магнитловчи токнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I = \frac{F}{W} = 3982,4 : 1000 \approx 4 \text{ A.}$$

Магнит занжирини анализ қилишдан мақсад берилган МЮК ва унинг параметрлари орқали занжирнинг тегишли участкаларидаги магнит оқимларини аниқлашдан иборат.

4.2- масала. 4.5- расм, а да занжир параметрлари, МЮК ва материалларнинг характеристикалари берилган. Занжир участкаларидаги магнит оқимлари аниқлансин.

Ечилиши. Дастлаб 4.5- расм, б да кўрсатилган магнит занжирининг электр занжирлари схемасига ўхшаш схемасини тузамиз. Магнит занжирини учун тегишли Кирхгоф қонунларига асосланиб, қуйидаги тенгламаларни тузамиз:

$$\left. \begin{aligned} F = IW &= \Phi_1 R_{M_1} + \Phi_2 R_{M_2} \text{ (afeda контури учун)} \\ F = IW &= \Phi_1 R_{M_1} + \Phi_3 R_{M_3} \text{ (abcda контури учун)} \\ \Phi_1 &= \Phi_2 + \Phi_3. \end{aligned} \right\} (4.5)$$

Бу ерда:

$$R_{M_1} = \frac{l_1}{\mu_1 S_1}; \quad R_{M_2} = \frac{l_2}{\mu_2 S_2} + \frac{l_2''}{\mu_2 S_2} + \frac{\delta}{\mu_0 S_2}; \quad R_{M_3} = \frac{l_3}{\mu_3 S_3}.$$

Демак, занжирнинг геометрик параметрлари ва участкаларнинг магнит сингдирувчанлиги маълум бўлса, (4.5) тенгламалар системасидаги номаълум  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  ва  $\Phi_3$  магнит оқимларини аниқлаш мумкин.

#### 4.4. УЗГАРУВЧАН МЮК ТАЪСИРИДАГИ МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ

Агар 4.6-расмдаги магнит занжирига синусоидал кучланиш бериладиган бўлса, у ҳолда чулғамдан ўтаётган ток носинусоидал бўлади (4.7-расм, б). Чунки ферромагнит материалнинг магнитланиш характеристикаси гистерезис сиртмоғи бўйича ўзгаради (4.7-расм, а). Бу занжирдаги ток даврий бўлганлиги учун ферромагнит материал гистерезис сиртмоғи бўйича циклик равишда магнитланиб туради ва унда уярма тоқлар ҳосил бўлади. Демак, занжирда маълум актив қувват исроф бўлади.

Агар берилган кучланиш  $u = U_m \sin(\omega t + \pi/2)$  бўлса, қуйидаги тенгламани ёзишимиз мумкин:

$$U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) - W \frac{d\Phi}{dt} = 0, \quad (4.6)$$

бу ерда  $\left(-W \frac{d\Phi}{dt}\right)$  — ўзиндукция ЭЮК.

(4.6) тенгламага кўра занжирдаги магнит оқими

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t, \quad (4.7)$$

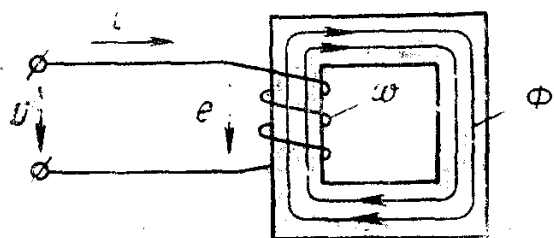
бу ерда

$$\Phi_m = \frac{U_m}{\omega W} = \frac{U}{4,44 f W}.$$

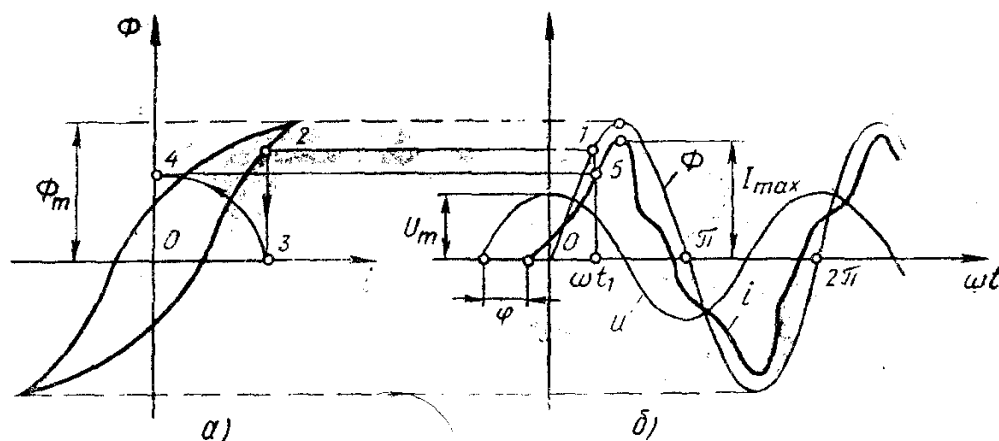
4.7-расмда ферромагнит материалнинг гистерезис сиртмағини ҳисобга олган ҳолда

занжирдаги токнинг ўзгаришини график равишда аниқлаш усули кўрсатилган. Бу ерда  $u$  ва  $i$  орасида фазалар силжиши ҳосил бўлишини кўраимиз.

Умумий ҳолда, бундай занжирлар учун векторлар диаг-



4.6-расм.

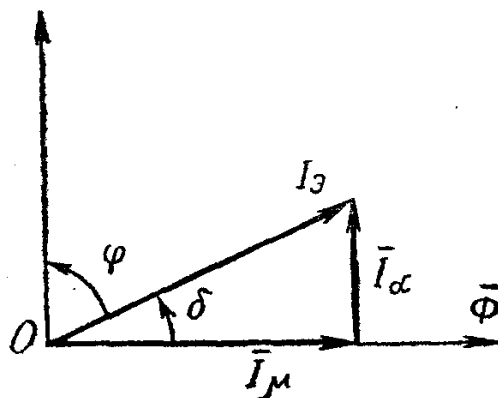


4.7-расм.



раммаси ва комплекс усулни қўллаш учун электр ва магнит катталиклар эквивалент синусоидалар билан алмаштирилиши лозим. Масалан, носинусоидал ток  $i$  нинг эквивалент синусоидал таъсир этувчи қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I_3 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}. \quad (4.8)$$



4.8- расм.

Бу токнинг таъсирида занжирда исроф бўлган актив қувват:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt. \quad (4.9)$$

Эквивалент ток вектори ( $\bar{I}_3$ ) билан кучланиш вектори ( $\bar{U}$ ) орасидаги фазалар силжиши ( $\varphi$ ) актив қувват формуласидан аниқланади:

$$P = U \cdot I_3 \cdot \cos \varphi. \quad (4.10)$$

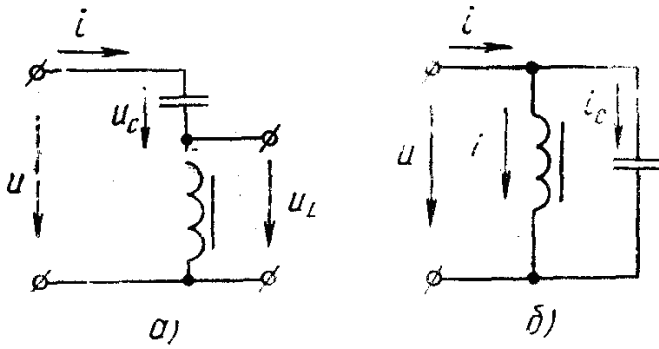
Берилган занжирнинг вектор диаграммаси 4.8-расмда кўрсатилган.

Эквивалент синусоидал ток вектори ( $\bar{I}_3$ ) ни иккита  $I_a$  ва  $I_\mu$  ташкил этувчиларга ажратиш мумкин (4.8-расм). Бу ташкил этувчиларни актив ( $\bar{I}_a$ ) ва магнитловчи ( $\bar{I}_\mu$ ) тоklar деймиз, чунки  $\bar{I}_a$  нинг йўналиши  $\bar{U}$  нинг йўналишига,  $\bar{I}_\mu$  нинг йўналиши магнит оқими вектори ( $\bar{\Phi}$ ) нинг йўналишига мос келади.

Ўзгармас ва ўзгарувчан МЮК лар таъсиридаги магнит занжирларидан автоматикада ва бошқариш системаларида ишлатиладиган электромагнит қурилмаларни тайёрлашда фойдаланилади.

#### 4.5. ФЕРРОРЕЗОНАНС ҲОДИСАСИ

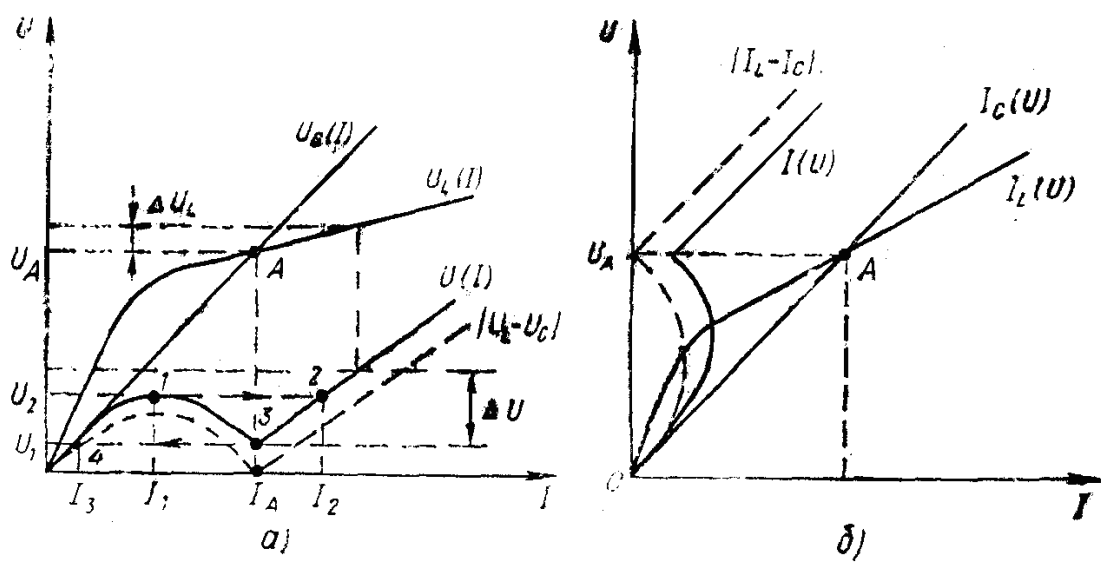
Агар ферромагнит ўзакли ғалтак (чизиқли бўлмаган индуктивлик) ва сиғим ўзаро кетма-кет ёки параллел уланган бўлса, улардан тузилган занжирларда маълум режимларда резонанс ҳодисаси содир бўлади. Бу резонанс чизиқли занжирдаги резонанс ҳодисаларидан фарқ қилади, чунки феррорезонанс ҳодисаси ферромагнит материалнинг хусусиятларига ва берилган кучланишнинг катталигига боғлиқ бўлади. Бунинг сабаби чизиқли бўлмаган индуктивликнинг индуктивлиги ток ёки кучланишнинг қийматига қараб ўзгаришидир. Демак, занжирга уланган кучланишнинг (ёки токнинг) қийматини ўзгартириш



4.9-расм.

натижасида кетма-кет уланган занжирда  $|U_L| = |U_C|$ , параллел уланган занжирда  $|I_L| = |I_C|$  шартларни бажариш мумкин (4.9-расм). Бу шартларнинг бажарилиши ферромагнит ўзакли ғалтак хусусиятига боғлиқ бўлганлиги учун кетма-кет уланган занжирдаги (4.9-расм, а) резонанс ҳодисаси кучланишлар феррорезонанси, параллел улангандагиси эса тоқлар феррорезонанси дейилади. Бу занжирларнинг вольт-ампер характеристикалари 4.10-расмда кўрсатилган. 4.10-расм, а да сифимдаги кучланиш  $U_C$  занжирдаги тоққа тўғри пропорционал ўзгаради, чунки бунда сифим параметрлари ўзгармасдир. Чизиқли бўлмаган индуктивликдаги  $U_L(I)$  боғланиш эса ферромагнит материалнинг асосий магнитланиш эгри чизиғига ўхшаш ўзгаради. Агар кучланиш ва тоқларни эквивалент синусоидалар билан алмаштириб, занжирдаги исроф бўлган актив қувватни ҳисобга олмасак, у ҳолда  $|U| = |U_L - U_C|$  бўлади. Бунга мос назарий  $U(I)$  характеристика штрих чизиқлар билан кўрсатилган. Агар занжирда исроф бўлган актив қувватни ҳисобга олсак,  $U(I)$  боғланиш узлуксиз чизиқ билан кўрсатилган характеристика бўйича ўзгаради.  $U_L(I)$  билан  $U_C(I)$  характеристикалари кесишган А нуқтада  $U_L = U_C$  бўлганлиги сабабли, бу нуқта резонанс нуқтаси дейилади. Характеристикаларга кўра, занжирга берилган кучланиш  $U$  миқдори секин-аста  $U_2$  гача кўпайтирилиб борилса, ток  $I$ , кучланишлар  $U_L$  ва  $U_C$  қиймат-

резонанс ҳодисаси кучланишлар феррорезонанси, параллел улангандагиси эса тоқлар феррорезонанси дейилади. Бу занжирларнинг вольт-ампер характеристикалари 4.10-расмда кўрсатилган. 4.10-расм, а да сифимдаги кучланиш  $U_C$  занжирдаги тоққа тўғри пропорционал ўзгаради, чунки бунда сифим параметрлари ўзгармасдир. Чизиқли бўлмаган индуктивликдаги  $U_L(I)$  боғланиш эса ферромагнит материалнинг асосий магнитланиш эгри чизиғига ўхшаш ўзгаради. Агар кучланиш ва тоқларни эквивалент синусоидалар билан алмаштириб, занжирдаги исроф бўлган актив қувватни ҳисобга олмасак, у ҳолда  $|U| = |U_L - U_C|$  бўлади. Бунга мос назарий  $U(I)$  характеристика штрих чизиқлар билан кўрсатилган. Агар занжирда исроф бўлган актив қувватни ҳисобга олсак,  $U(I)$  боғланиш узлуксиз чизиқ билан кўрсатилган характеристика бўйича ўзгаради.  $U_L(I)$  билан  $U_C(I)$  характеристикалари кесишган А нуқтада  $U_L = U_C$  бўлганлиги сабабли, бу нуқта резонанс нуқтаси дейилади. Характеристикаларга кўра, занжирга берилган кучланиш  $U$  миқдори секин-аста  $U_2$  гача кўпайтирилиб борилса, ток  $I$ , кучланишлар  $U_L$  ва  $U_C$  қиймат-



4.10-расм.

лари ҳам ошиб боради ва занжир индуктив характерга эга бўлади, чунки  $U_L - U_C > 0$ . Агар  $U$  ўзининг  $U_1$  қийматидан биров оширилса, кучланишлар мувозанати бузилади, яъни  $U > |U_L - U_C|$  бўлади ва занжирдаги ток  $I_1$  қийматга нисбатан бир неча марта катта бўлган  $I_2$  миқдорига сакраб ўтади. Бунда ток фазаси деярли  $180^\circ$  га ўзгаради ва у сизим характерга эга бўлиб қолади. Бу ҳодиса „фаза тўнтарилиши“ деб аталади. Токнинг сакраб ўзгариши эса реле ёки триггер эффекти деб аталади. Агар фаза тўнтарилишидан сўнг кучланиш ( $U$ ) нинг қийматини ошириш давом эттирилса, кучланиш мувозанати, яъни идеал ҳолат  $U = |U_L - U_C|$  юзага келиб, занжирдаги ток кучланишга пропорционал равишда ошиб боради. Кучланиш ( $U$ ) нинг қиймати  $U = U_1$  дан биров камайтирилса, кучланишлар мувозанати яна бузилиб, иккинчи марта фаза тўнтарилиши содир бўлади. Натижада токнинг қиймати  $I_A$  дан сакраб  $I_3$  гача камаяди.

Феррорезонанс ҳодисаси содир бўладиган занжирлардан кучланиш ва ток стабилизаторларини яшашда фойдаланилади. Масалан, 4.9-расм, *a* даги занжирни кучланиш стабилизатори сифатида ишлатиш мумкин. Стабилизаторнинг кириш кучланиши  $U$  бўлганда, чиқиш кучланиши  $U_L$  бўлади. 4.10-расм, *a* даги характеристикалардан шуни аниқлаш мумкин, агар  $I > I_A$  бўлса, занжирнинг кириш қисмидаги кучланишнинг ўзгариши ( $\Delta U$ ) га нисбатан унинг чиқишидаги кучланишнинг ўзгариши ( $\Delta U_L$ ) анча кичикдир. Демак, бу занжир  $I > I_A$  режимида кучланишлар стабилизатори сифатида ишлатилиши мумкин.

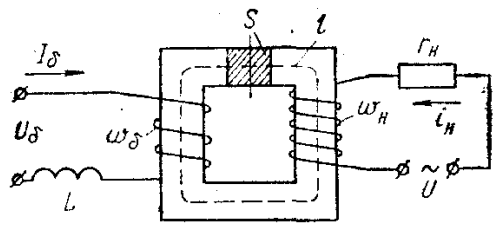
#### 4.6. МАГНИТ КУЧАЙТИРГИЧЛАР

Ўзгармас ва ўзгарувчан МЮК лар таъсиридаги магнит занжирларидан кучайтиргичлар яратиш учун фойдаланиш мумкин. Масалан, оддий магнит кучайтиргични кўриб чиқайлик (4.11-расм). Бу кучайтиргичнинг кириш токни бошқариш токи  $I_6$ , чиқиш қисмидаги токни нагрузка токи  $I_n$  деб белгилайлик. Нагрузкадаги токнинг қувватини бошқариш токи  $I_6$  ёрдамида ўзгартириш мумкин. Агар занжирнинг чиқиш қисмидаги токнинг қийматини эквивалент синусоидал билан алмаштирсак, у ҳолда

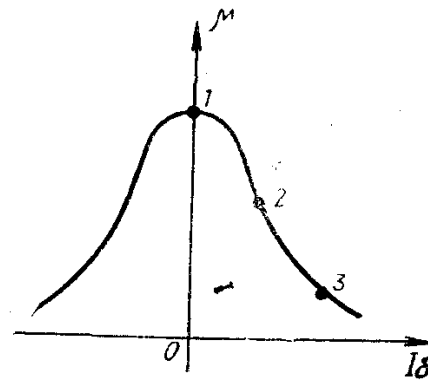
$$I_n = \frac{U}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = \frac{U}{\sqrt{R_n^2 + (\omega L_n)^2}}, \quad (4.11)$$

бу ерда  $X_n$  — ферромагнит элементнинг индуктив қаршилиги (шу элементнинг индуктивлиги

$$L_n = \frac{W_n^2 \cdot S}{l} \cdot \mu).$$



4.11- расм.

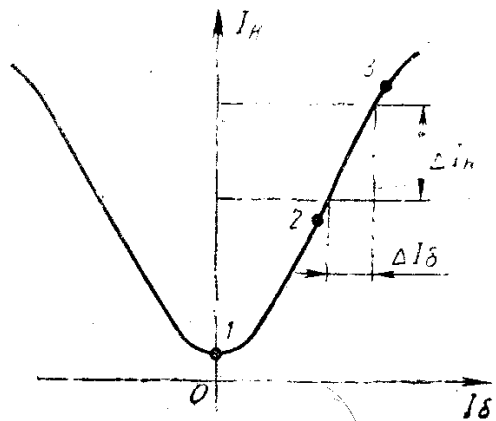


4.12- расм.

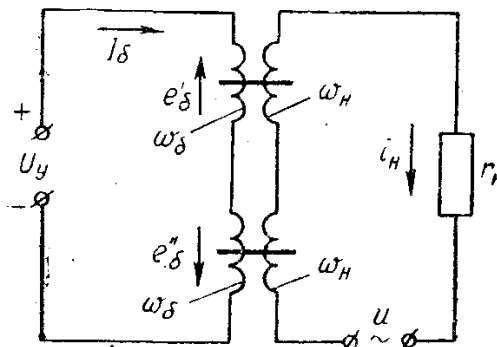
Ферромагнит материалнинг магнит сингдирувчанлиги бошқариш токининг қийматига боғлиқ бўлади (4.12- расм), яъни  $I_\delta$  ортиб бориши  $\mu$  нинг камайишига олиб келади. Шунинг учун, (4.11) ифодага асосан, бошқариш токининг ўзгариши индуктивлик ( $L_H$  ва  $X_H$ ) ни ўзгартиради. Натижада кучайтиргичнинг асосий характеристикаси  $I_H(I_\delta)$  4.13- расмда кўрсатилган шаклга эга бўлади.  $\mu(I_\delta)$  ва  $I_H(I_\delta)$  характеристикаларнинг асосий нуқталари 1, 2 ва 3 рақамлари билан белгиланган. Берилган кучайтиргичнинг ток бўйича кучайтириш коэффициенти характеристиканинг 1—3 участкасидан аниқланади (4.13- расм).

$$K_T = \frac{\Delta I_H}{\Delta I_\delta} \quad (4.12)$$

Кучайтиргичнинг киришдаги индуктивлиги ( $L$ ) ёрдамида  $W_6$  — ўрамда индукцияланган ўзгарувчан ЭЮК нинг бошқариш токига таъсирини камайтириш мумкин. Амалда ўзгарувчан ЭЮК нинг кучайтиргичнинг кириш қисмига бўлган таъсирини икки ўзакли схемалар ёрдамида камайтирилади (4.14- расм). Бу схемада кучайтиргичнинг кириш қисмидаги бошқариш ўрамлари  $W_6$  чиқиш ўрамлари  $W_H$  га нисбатан тескари уланганлиги учун  $e'_6$  ва  $e''_6$  ўзгарувчан ЭЮК лар бир-бирини



4.13- расм



4.14- расм.

компенсациялайди. Натижада кучайтиргич чиқиш қисмининг кириш қисмига бўлган таъсири камаяди. Бу схемада ўрамларнинг бошланиши нуқталар билан белгиланган.

Магнит кучайтиргичлари, кўпинча, ток ва қувват кучайтиргичлари сифатида ишлатилади.

## 5-б о б. ТРАНСФОРМАТОРЛАР

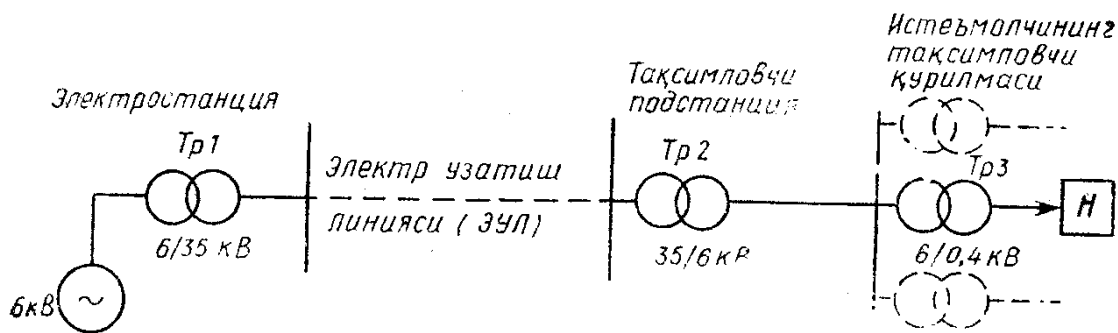
### 5.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Электротехниканинг асосий вазифаларидан бири электр энергиясини бир жойдан иккинчи жойга узатишдир. Чунки электр энергиясининг истеъмолчилари аксарият ҳолларда ёқилғи ва гидроресурслар табиий жойлашган районларга қурилган электр станцияларидан бир неча ўнлаб ва юзлаб километр масофаларда жойлашади. Электр энергиясини узатиш линияларида эса қувватнинг иссиқликка сарф бўладиган исрофи  $\Delta P = I^2 \cdot R_{\text{л}}$  ва кучланишнинг пасажуви  $\Delta U = I \cdot R_{\text{л}}$  доимо мавжуддир. Линиянинг узунлиги ортган сари бу кўрсаткичлар ҳам ортади. Электр токининг тўла қуввати ( $S = U \cdot I$ ) ни ўзгартирмаган ҳолда уни турли кучланиш ва ток билан узатиш мумкин. Қувват формуласидан кўриниб турибдики, узатишда кучланиш қанчалик юқори бўлса ( $S = \text{const}$ ), ток кучи шунчалик кичик бўлиб, у билан боғлиқ исрофлар ҳам шунчалик кам бўлади. Ток кучини камайтириш узатиш симининг кўндаланг кесимини кичик олишга ва рангли металлларни тежашга имкон беради.

Ҳозирги вақтда ўзгарувчан токнинг 35, 110, 220, 500, 750 ва 1150 кВ кучланишли узатиш линиялари мавжуд. Аммо ўта юқори кучланишларни бевосита генераторлардан олиб бўлмайди. Одатда, электр станцияларидаги генераторларнинг номинал кучланиши кўпи билан 21 кВ дан ошмайди. Электр энергиясининг истеъмолчилари эса 380/220; 220/127 В номинал кучланишларга мўлжалланган. Шунинг учун генераторлар ишлаб чиқарадиган электр энергиясининг нисбатан паст кучланишли, аммо катта ток кучига эга бўлган қувватини (ҳозирги вақтда 150, 300, 500, 800 ва 1200 минг кВт ли генераторлар ишлаб чиқарилади) юқори кучланишли ва нисбатан кичик ток кучига эга бўлган қувватга ўзгартириш керак. Бу вазифа трансформаторлар ёрдамида оддийгина ҳал этилади.

Трансформаторнинг ихтироچиси П. Н. Яблочков ҳисобланади. У 1876 йилда электр ёй лампаси учун манба сифатида илк бор трансформатордан фойдаланган.

Трансформаторлардан фойдаланиш 1891 йили уч фазали трансформаторнинг конструкцияси ишлаб чиқилиб, электр энергиясини уч фазали ток системаси ёрдамида узатиш амалга оширилгандан сўнг янада кенгайди. Бу электрлаштиришнинг жадал ривожланишига сабаб бўлди.



5.1- расм.

5.1-расмда электр энергиясини трансформаторлар ёрдамида узатиш схемаси кўрсатилган. Схемадан кўриниб турибдики, электростанцияда генератор ишлаб чиқараётган электр энергияси трансформатор  $Tr_1$  ёрдамида 6 кВ кучланишдан 35 кВ гача орттирилиб, электр узатиш линияси орқали тақсимловчи подстанцияга берилмоқда. У ерда пасайтирувчи трансформатор  $Tr_2$  ёрдамида кучланиш 35 кВ дан 6 кВ гача пасайтирилиб, истеъмолчининг трансформатори  $Tr_3$  га узатишмоқда. Бундай трансформаторлардан бир нечта бўлиши мумкин. Трансформатор  $Tr_3$  ёрдамида кучланиш 6 кВ дан истеъмолчи учун зарур бўлган 380/220, 220/127 В кучланишларга айлантирилади. Кўриниб турибдики, электр энергияси электростанциядан истеъмолчига етиб келгунча уч марта трансформацияланмоқда. Реал ҳолларда трансформацияланиш сони бундан ҳам кўп бўлиши мумкин.

Электр энергиясининг бир поғонада бўлган  $u_1, i_1$  кучланиш ва токини бошқа поғонадаги  $u_2, i_2$  кучланиш ва токка айлантириб берадиган статик (ҳаракатланувчи қисмлари бўлмаган) электромагнит аппарати *трансформатор* дейилади. Трансформаторлар энергетик системаларда қўлланишидан ташқари, кучсиз тоқларда ишловчи ҳисоблаш машиналари, автоматика, телемеханика, алоқа, радиотехника ва телевидение қурилмалари занжирларида ва умуман, электр кучланишини ўзгартириб бериш керак бўлган барча жойларда ишлатилади.

Трансформаторлар бажарадиган вазифасига кўра қуйидаги турларга бўлинади:

— электр энергиясини узатиш ва тақсимлаш учун мўлжалланган катта қувватли (уч фазали) трансформаторлар;

— керакли жойларда кучланишни кенг доирада ўзгартириб бериш ва двигателларни ишга тушириш учун мўлжалланган автотрансформаторлар;

— тақсимлаш тармоқларидаги кучланишни ростлаб туриш учун мўлжалланган индукцион ростлагичлар;

— ўлчов асбоблари ва ҳимоя воситаларини схемаларга улаш учун мўлжалланган ўлчов трансформаторлари;

— пайвандлаш, қиздириш печлари синов, тўғрилаш ва ҳоказолар учун мўлжалланган махсус трансформаторлар.

## 5.2. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ТЎЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

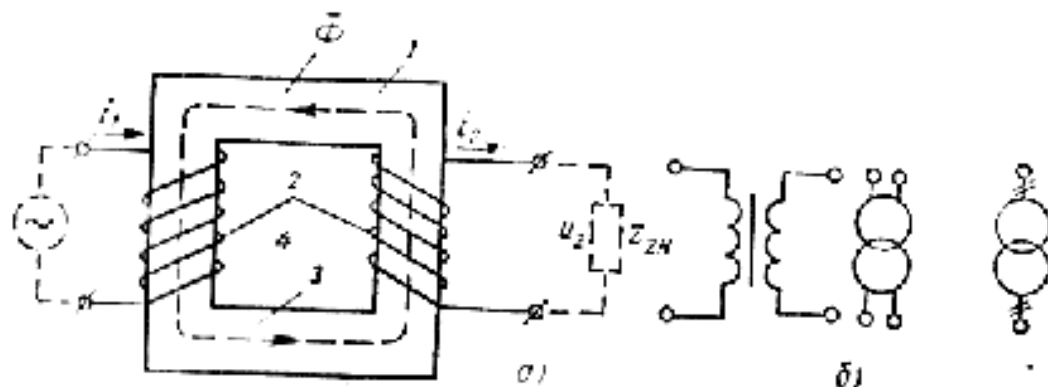
Трансформатор турларининг кўп бўлишига қарамай, уларда бўлган электромагнит жараёнлар умумий ўхшашликка эга бўлиб, уларнинг ишлаш принципи бир хилдир. 5.2-расмда бир фазага икки чулғамли трансформаторнинг схемаси ва шартли белгиланиши кўрсатилган. Трансформатор пўлат узак (магнит ўтказгич) 1 дан ва иккита мис чулғамлар 2 дан иборат. Пўлат ўзакнинг индукцион тоқлар ҳисобига қизиқ кетишини камайтириш мақсадида у қалиنлиги  $0,35 \div 0,5$  мм бўлган электротехник пўлат пластиналардан йиғилади. Пластиналарнинг икки томонига изоляция лок сўртилади ёки улар тегишлича қиздирилади. Пўлат ўзак пластиналарни йиғиш тартиби 5.3-расмда кўрсатилган. Қатлам пластиналарининг чоклари устма-уст тушмаслиги керак.

Пўлат ўзак магнит занжирини ҳосил қилиш учун хизмат қилади ва шу туфайли асосий магнит оқими  $\Phi$  пўлат узак бўйлаб ҳаракатланади. Пўлат ўзакнинг мис чулғамлар ўралган қисми *стержень* дейилади. Трансформаторнинг магнитга уланган чулғами *бирламчи*, истемолчига улангани *иккиламчи чулғам* дейилади. Шунинг учун бирламчи чулғамга (занжирга) оид катталиқлар 1 индексига эга, масалан, бирламчи чулғамнинг ўрамлар сони  $\omega_1$ , қисмаларидаги кучланиш  $u_1$ , занжирдаги ток  $i_1$  ва ҳ. к. Шунингдек, иккиламчи чулғамга оид катталиқлар 2 индексига эга, масалан,  $\omega_2$ ,  $u_2$ ,  $i_2$  ва ҳ. к.

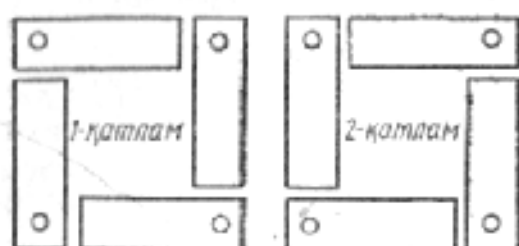
Трансформаторнинг бирламчи чулғамига берилган синусоидал кучланиш ( $u_1 = U_m \sin \omega t$ ) таъсирида чулғамдан ўзгарувчан ток оқиб ўтади. Бу ток трансформаторнинг пўлат ўзакда ўзгарувчан магнит оқими ( $\Phi$ ) ни ҳосил қилади. Чулғамларнинг ўрамларини кесиб ўтаётган бу асосий магнит оқими бирламчи чулғамда ўиндукция, иккиламчи чулғамда эса ўзаро индукция ҳодисасига биноан тегишлича  $e_1$  ва  $e_2$  электр юритувчи кучларни индукциялайди. Мазкур ЭЮК ларнинг таъсир эувчи қийматлари:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot \omega_1 \cdot \Phi, \quad (5.1)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot \omega_2 \cdot \Phi. \quad (5.2)$$



5.2-расм.



5.3-расм.

Бу ерда  $f$  — ўзгарувчан токнинг частотаси, Гц;  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  — бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ўрамлари сони;  $\Phi$  — асосий магнит оқими, Вб.

Демак, (5.1) ва (5.2) ифодалардан кўринадики, частота  $f$  ва магнит оқими  $\Phi$  ўзгармас бўлганда чулғамларда индукцияланган ЭЮК  $E_1$  ва  $E_2$  лар уларнинг ўрамлари

сонига пропорционал экан, яъни

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Бу нисбат трансформаторнинг *трансформация коэффициентини* ҳисобланади, яъни

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (5.3)$$

Мазкур коэффициент трансформаторга берилган кучланишнинг неча марта ўзгаришини кўрсатади. Агар  $k > 1$  бўлса, трансформатор кучланишни пасайтириб берувчи, агар  $k < 1$  бўлса, кучланишни орттириб берувчи ҳисобланади.

Агар 5.2-расм,  $a$  да кўрсатилган трансформаторнинг иккиламчи чулғамига нагрузка ( $Z_{2н}$ ) уласак, ЭЮК ( $e_2$ ) таъсирида ундан ток ( $i_2$ ) ўта бошлайди. Шундай қилиб, кучланиши  $u_2$ , ток кучи  $i_2$  бўлган манбанинг электр энергияси трансформатор ёрдамида кучланиши  $u_1$  ва ток кучи  $i_1$  бўлган электр энергиясига айлантириб, истеъмолчига узатилади.

Трансформаторнинг манбадан (тармоқдан) олаётган бирламчи қуввати  $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$  бўлса, унинг истеъмолчига бераётган иккиламчи қуввати  $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$ . Агар трансформатордаги қувват исрофи ҳисобга олинмаса,  $P_1 \approx P_2$  бўлади.

Бирламчи ва иккиламчи занжирлардаги фаза силжиш бурчакларини тахминан бир хил десак,  $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$  дейиш мумкин. Агар кучланишлар бир-бирлари билан худди ЭЮК лар каби нисбатда бўлади десак, трансформация коэффициентини қуйидагича қайта ёзиш мумкин:

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

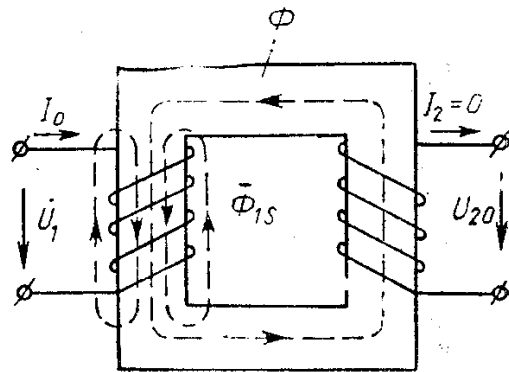
Демак, трансформатор чулғамларидаги тоқлар кучланишларга тескари пропорционал.

### 5.3. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ИШ РЕЖИМЛАРИ

**Салт ишлаш режими.** Трансформаторларни ишлатиш жараёнида кўпгина вақт уларнинг бирламчи чулғами манбага уланиб, иккиламчи чулғам учлари бўш қолади. Бундай режим



трансформаторнинг салт (нагруз-касиз) ишлаш режими дейилади. Салт ишлаш режимида  $U_1 = U_{1\text{ном}}$  ва  $I_2 = 0$  бўлади. Бунга мос схема 5.4-расмда кўрсатилган. Трансформаторнинг бирламчи чулғамига берилган синусоидал кучланиш  $U_1$  таъсирида чулғамдан салт ишлаш токи  $I_0$  оқиб ўтади. Бу токнинг магнитловчи кучи  $I_0\omega_1$  пўлат ўзак бўйлаб туташувчи асосий магнит оқими  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$  ни ва қисман ҳаво ҳамда пўлат ўзак орқали тутшиб тарқалган магнит оқими  $\Phi_{1s}$  ни ҳосил қилади. Бу ўзгарувчан магнит оқимлари ўзининг чулғамларда индукцияланган ЭЮК лари билан қуйидаги боғланишга эга:



5.4- расм.

$$\begin{aligned} e_1 &= -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega\omega_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\ e_2 &= -\omega_2 \frac{d\Phi}{dt} = \omega\omega_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\ e_{1s} &= -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega\omega_1 \Phi_{1s} \sin(\omega t - 90^\circ). \end{aligned} \quad (5.4)$$

Демак, ЭЮК лар уларни индукциялаган магнит оқимларидан фаза бўйича  $90^\circ$  га кечикади. Бу ЭЮК ларнинг таъсир этувчи қийматлари:

$$E_1 = \frac{F_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega\omega_1}{\sqrt{2}} \Phi_m = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \omega_1 \Phi_m$$

ёки

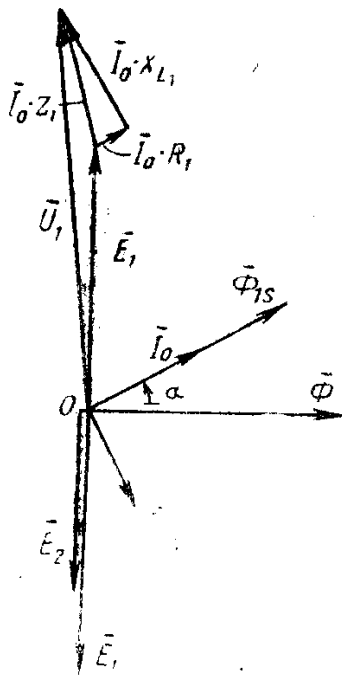
$$\begin{aligned} E_1 &= 4,44 f_1 \omega_1 \Phi_m, \\ E_2 &= 4,44 f \omega_2 \Phi_m, \\ E_{1s} &= 4,44 f \omega_1 \Phi_{1s}. \end{aligned}$$

Бирламчи чулғамга берилган кучланиш  $\bar{U}_1$  ЭЮК ( $\bar{E}_1$  ва  $\bar{E}_{1s}$ ) ларни, шунингдек, чулғамнинг актив қаршилиги  $R_1$  кучланишнинг пасайишини компенсация қилади. У ҳолда Кирхгофнинг II қонунига биноан бирламчи чулғам занжирининг электр мувозанат ҳолати:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{E}_{1s} + \bar{I}_0 R_1. \quad (5.5)$$

Агар ЭЮК  $\bar{E}_{1s}$  ни чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаяви  $I_0 \cdot X_L$  билан компенсация қилинади десак ва  $\bar{I}_0 R_1 = -\bar{U}_{R_1}$  бўлса:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= -\bar{E}_1 + \bar{U}_{R_1} + \bar{U}_{L_1} \\ \bar{U}_1 &= -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 R_1 + \bar{I}_0 X_{L_1} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{U}_1 &= -\bar{E}_1 + \bar{U}_{R_1} + \bar{U}_{L_1} \\ \bar{U}_1 &= -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 R_1 + \bar{I}_0 X_{L_1} \end{aligned}} \right\} \quad (5.6)$$



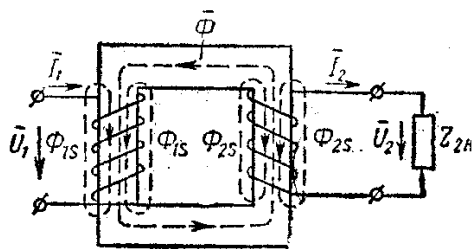
5.5- расм.

(5.6) тенглама ёрдамида трансформатор салт ишлаш режимининг вектор диаграммасини қурамиз (5.5-расм). Бош вектор сифатида ихтиёрый  $O$  нуқтадан асосий магнит оқимининг вектори  $\Phi$  ни горизонтал йўналишда чизамиз. Ундан фаза бўйича  $90^\circ$  га кечикувчи бурчак остида  $\vec{E}_1$  ва  $\vec{E}_2$  лар чизилади. Ток  $\bar{I}_0$  пўлат ўзакдаги қувват (магнит) исрофлари туфайли магнит оқими  $\bar{\Phi}$  дан  $\alpha$  бурчакка илгарилаб келади. Магнит оқими  $\bar{\Phi}_{1s}$  ток  $\bar{I}_0$  билан бир хил йўналишда бўлади. ЭЮК  $\bar{E}_{1s}$  оқим  $\bar{\Phi}_{1s}$  дан  $90^\circ$  га кечикади. Кучланиш  $\bar{U}_1$  векторини (5.6) тенгламадаги  $E_1$  манфий ишорали бўлгани учун қарама-қарши томонга йўналтирамиз. Вектор  $\bar{E}_1$  нинг давомига вектор  $\bar{I}_0 R_1$  ни ток  $\bar{I}_0$  йўналишида чизамиз. Сўнгра вектор  $\bar{I}_0 R_1$  га

нисбатан  $90^\circ$  га илгарилувчи бурчак остида вектор  $\bar{I}_0 X_L$  ни чизамиз. Вектор  $\bar{I}_0 X_L$  нинг охири учини  $O$  нуқта билан туташтириб, кучланиш вектори  $\bar{U}_1$  ни ҳосил қиламиз. Вектор  $\bar{I}_0 R_1$  нинг бош учини вектор  $\bar{I}_0 X_L$  нинг охири билан бирлаштириб, бирламчи чулғамдаги кучланишнинг тўла ички пасажуви ( $\bar{I}_0 z_1$ ) ни ҳосил қилинади.

Ток  $I_0$  бирламчи чулғам номинал токининг  $(3 \div 10) \%$  ини ташкил этгани учун вектор диаграммада ҳосил бўлган кучланишлар учбурчаги реал масштабларда қурилса, жуда кичик бўлади. Шунинг учун  $U_1 \approx E_1$  дейиш мумкин. У ҳолда олинган нисбат ва  $E_1 = 4,44 f \omega \Phi_m$  га биноан асосий магнит оқими  $\Phi$  ни кучланишга пропорционал дейиш мумкин. Салт ишлаш режимда трансформаторнинг қувват коэффициенти  $\cos \varphi_0 = 0,2 \div 0,3$ , иккиламчи чулғамдаги ток  $I_2 = 0$  бўлгани учун  $U_{20} = E_2$  бўлади.

**Нагрузка режими.** Бу режимда кучланиш  $\bar{U}_1$  нагруккага боғлиқ эмас. Трансформаторнинг иккиламчи чулғамини бирор



5.6- расм.

нагрузка  $z_{2н}$  га улаганимизда ЭЮК  $E_2$  таъсирида ундан  $I_2$  нагрукка токи ўта бошлайди. Бу ток ҳосил қилган магнитловчи куч  $I_2 \omega_2$  пўлат ўзак ва ҳаво орқали туташган, тарқалган магнит оқими  $\Phi_{2s}$  ни ҳосил қилади (5.6-расм). Бу оқим асосий магнит оқимига қарама-қарши йўналгани учун уни, шунингдек,

электр юритувчи куч  $E_1$  ни ҳам кучсизлантирмоқчи бўлади. У ҳолда трансформатор электрик мувозанат ҳолатининг бузилишига йўл қўйилади. Аммо бирламчи чулгамнинг магнитловчи кучи  $\bar{I}_1 \omega_1$  шундай ўзгарадики, натижада трансформаторнинг мувозанат ҳолати сақланиб, ўзакдаги асосий магнит оқими  $\Phi$  миқдор жиҳатидан ўзгаришсиз қолади. Бу ҳолда магнитловчи кучлар мувозанати қуйидагича ифодаланади:

$$\bar{I}_1 \omega_1 + \bar{I}_2 \omega_2 = \bar{I}_0 \omega_1, \quad \text{ёки} \quad \bar{I}_1 \omega_1 = \bar{I}_0 \omega_1 - \bar{I}_2 \omega_2 \quad (5.7)$$

Демак, бирламчи токнинг магнитловчи кучи иккиламчи токнинг магнитсизлаш таъсирини компенсациялайди. Агар (5.7) ифоданинг иккала томонини  $\omega_1$  га бўлсак, магнитловчи кучлар тенгламасидан тоқлар тенгламасига ўтиш мумкин:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \left(-\bar{I}_2 \frac{\omega_2}{\omega_1}\right). \quad (5.8)$$

Бу ерда  $\bar{I}_2 = -\bar{I}_2 \frac{\omega_2}{\omega_1}$  катталиқ иккиламчи токнинг магнитсизлаш таъсирини мувозанатловчи бирламчи токнинг ташкил этувчиси ҳисобланади. Шунинг учун бу катталиқ иккиламчи ток дейилади. У ҳолда бирламчи ток

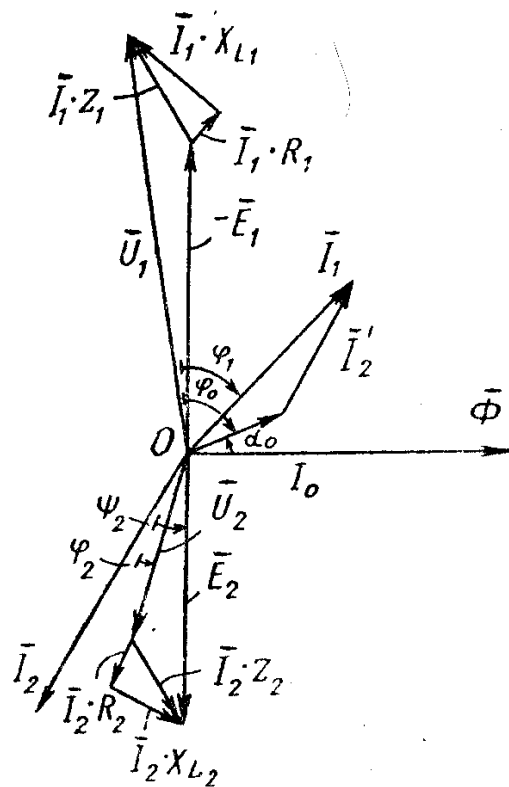
$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_2, \quad (5.9)$$

яъни салт ишлаш токи билан келтирилган иккиламчи токнинг геометрик йиғиндисига тенг. Нагрузка токи  $I_2$  нолдан бошлаб, ток  $I_1$  эса салт ишлаш токи  $I_0$  дан бошлаб ортади. Салт ишлаш токи номинал токнинг  $I_0 = (2,5 \div 10\%) \cdot I_{1 \text{ ном}}$  улушини ташкил этади. Тахминий ҳисоблашларда  $\bar{I}_1 \approx \bar{I}_2$  дейиш мумкин.

Нагрузка токи  $I_2$  нинг ўзгариши билан ток  $I_1$  нинг ташқи таъсирсиз ўз-ўзидан ўзгариши трансформаторнинг ўз-ўзидан *ростланиши* дейилади. Буни нагрузка режими учун қурилган вектор диаграммадан (5.7-расм) кўриш қулай. У ҳолда иккиламчи занжирнинг нагрузка режимидаги электр мувозанати тенгламаси Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_2 - \bar{U}_{R_2} - \bar{E}_{2s},$$

бу ерда:  $U_2$  — иккиламчи чулгам



5.7-расм.

учларидаги кучланиш;  $I_2 \times R_2 = U_{R_2}$  — иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг актив пасайиши;  $E_{2s}$  — тарқалган магнит оқи-ми  $\Phi_{2s}$  тугайли индукцияланган ЭЮК.

$\Phi_{2s}$  иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаю-ви  $\bar{U}_{L_2} = \bar{I}_2 \cdot X_{L_2}$  билан компенсация қилинади, у ҳолда

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_2 &= \bar{E}_2 - \bar{U}_{R_2} - \bar{U}_{L_2} \\ \bar{U}_2 &= \bar{E}_2 - \bar{I}_2 R_2 - \bar{I}_2 X_{L_2} \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

ёки

Салт ишлаш режими учун чизилган вектор диаграммани (5.5-расм) асос диаграмма ҳисоблаб, унга (5.9) ва (5.10) тенг-ламалар ёрдамида трансформаторнинг нагрузка режимидаги вектор диаграммасини қўшиб қурамыз (5.7-расм).

Нагрузкани актив-индуктив характерга эга десак, ток  $\bar{I}_2$  ЭЮК  $\bar{E}_2$  га нисбатан фаза бўйича  $\varphi_2$  бурчакка кечикади. Энди кучланиш  $\bar{U}_2$  векторини (5.10) ифодага биноан аниқлаш учун вектор  $\bar{I}_2 X_{L_2}$  ни вектор  $\bar{E}_2$  нинг охиригидан ток  $\bar{I}_2$  га перпендикуляр равишда чизамиз. Чунки иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаюви ток  $\bar{I}_2$  дан  $90^\circ$  га илгарилаб келади. Сўнгра кучланишнинг актив пасаюви  $\bar{I}_2 R_2$  ни ток  $\bar{I}_2$  билан бир хил йўналишда  $\bar{I}_2 X_{L_2}$  га перпендикуляр қилиб жойлаштирамиз. Вектор  $\bar{I}_2 R_2$  нинг бошланишини  $\bar{E}_2$  ва  $\bar{I}_2 X_{L_2}$  векторларнинг охиригидан учлари билан бирлаштириб иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг тўла ички пасаюви вектори  $\bar{I}_2 z_2$  ни ва координата боши  $O$  нуқта билан бирлаштириб, кучланиш  $\bar{U}_2$  ни аниқлаймиз. Ток  $\bar{I}_2$  билан кучланиш  $\bar{U}_2$  орасида фаза силжиш бурчаги  $\varphi_2$  ҳосил бўлади. Агар  $\bar{I}_2 = -\bar{I}_2$  десак, (5.9) ифодадан  $\bar{I}_1$  ни аниқлаймиз. Кучланиш  $\bar{U}_1$  ток  $\bar{I}_1$  дан  $\varphi_1$  бурчакка илгарилаб келади, аммо  $\varphi_1$  бурчак  $\varphi_2$  бурчакдан катта. Векторлар диаграммасидан кўриниб турибдики,  $\bar{I}_2$  нинг ортиши билан  $\bar{I}_1$  ҳам ортиб,  $\varphi_1$  тобора кичраймоқда. Демак, трансформаторнинг қувват коэффициенти  $\cos \varphi_0$  дан то  $\cos \varphi_n$  гача ортиши мумкин.

Трансформаторнинг ўз-ўзидан ростланиш хусусияти фақат номинал нагрузка доирасида ўринлидир. Бошқа ҳолларда  $\bar{I}_2$  нинг магнитсизлаш таъсири ортиб кетади.

Қисқа туташув режими. Бу режимда иккиламчи чулғам учлари ўзаро туташиб, ташқи қаршилиқ  $z_{2н} = 0$  бўлади. Трансформатор учун бундай режим номақбул режим ҳисобланади. Бунда иккиламчи, шунингдек бирламчи ток номиналидан 18—20 марта ортиб кетади. Бу ҳодисага йўл қўйиб бўлмайди. Шунинг учун реал шароитларда трансформаторни қисқа тута-

шув токидан сақлаш мақсадида автоматик ажраткичлар урна-  
тилади. Трансформаторларни лаборатория шароитида текши-  
риш учун „қиска туташув“ пасайтирилган кучланишларда  
амалга оширилади.

#### 5.4. ТРАНСФОРМАТОРНИ САЛТ ИШЛАШ ВА ҚИСКА ТУТАШУВ РЕЖИМЛАРИДА ИШЛАТИШ ТАЖРИБАЛАРИ

Салт ишлаш тажрибасини ўтказишдан мақсад трансформа-  
торнинг пўлат ўзагида магнит майдони ҳосил қилиш учун  
сарф бўладиган қувват исрофи  $P_{\text{п}}$  ни ва трансформаторнинг  
трансформация коэффиценти  $k$  ни аниқлашдир. Трансформа-  
торнинг салт ишлаш тажрибасини ўтказиш схемаси 5.8-расмда  
кўрсатилган. Бирламчи чулғамга уланган ўлчаш асбоблари ёр-  
дамида трансформаторнинг салт ишлаш вақтидаги токи  $I_0$  ва  
қуввати  $P_0$  ҳамда кучланиш  $U_{10}$  аниқланади. Тажриба вақти-  
да  $U_{10} = U_{1 \text{ ном}}$  бўлиши керак. Иккиламчи чулғам учларига  
уланган вольтметр ёрдамида кучланиш  $U_2 = U_{20}$  аниқланади.  
Ток  $I_2 = 0$ . Салт ишлаш вақтидаги ваттметр кўрсатган қувват  
исрофи:

$$P_0 = P_{\text{п}} + I_0^2 \cdot R_1.$$

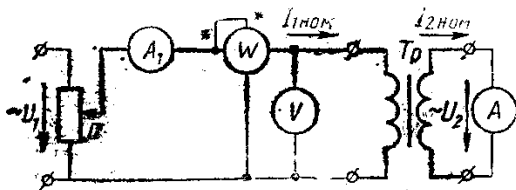
Мис чулғамларининг қизиши салт ишлаш токининг  $I_0^2 R_1 =$   
 $= (0,05 I_{1 \text{ ном}})^2 \cdot R_1$  қиймати билан чеклангани учун, ундаги қув-  
ват исрофини  $P_{\text{м}} = I_0^2 \cdot R_1 \approx 0$  дейиш мумкин. У ҳолда  $P_0 =$   
 $= P_{\text{п}}$  бўлади.

Олинган маълумотлар бўйича трансформаторнинг трансфор-  
мация коэффиценти  $k = U_{10}/U_{20}$  ни ва салт ишлаш вақтидаги  
параметрларини аниқлаш мумкин:

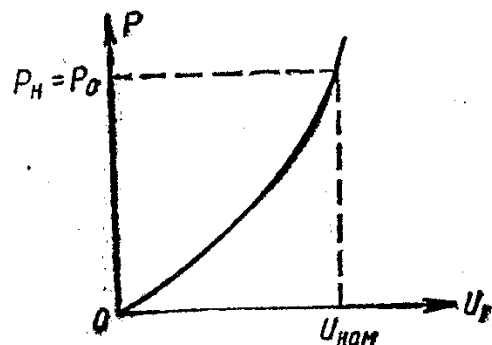
$$z_{10} = \frac{U_1}{I_0}; \quad R_{10} = \frac{P_0}{I_0^2}; \quad X_{10} = \sqrt{Z_{10}^2 - R_{10}^2}.$$

Агар бирламчи чулғамга бериладиган кучланиш 0 дан  $U_{1 \text{ ном}}$   
гача орттира борилса, пўлатдаги қувват исрофининг кучла-  
нишга боғлиқлигини кўриш мумкин. Бу боғланиш квадратик  
бўлиб, унга мос график 5.9-расмда кўрсатилган.

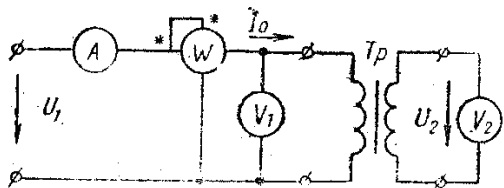
Трансформатор номинал нагрузка билан ишлаганда унинг



5.8-расм.



5.9-расм.



5.10-расм.

чулғамларидан номинал ток ўтиб, чулғамлар қизийди. Келтирилган қувват бир қисмининг иссиқлик тарзида атроф-муҳитга тарқалиши мис чулғамлардаги қувват исрофи  $P_m$  дейилади, уни трансформаторнинг қисқа туташув режимида ишлаш тажрибасидан (5.10-расм) аниқланади. Схемадан кўринадики, трансформаторнинг

иккиламчи чулғами амперметр  $A_2$  орқали қисқа туташтирилган.

Тажриба вақтида бирламчи чулғамга потенциометр  $\Pi$  ёрдамида иккала чулғамдан ҳам номинал тоқлар ( $I_1 = I_{1\text{ном}}$ ;  $I_2 = I_{2\text{ном}}$ ) ўтадиган даражада пасайтирилган кучланиш берилади. Бу кучланиш трансформаторнинг қисқа туташув кучланиши ( $U_k$ ) дейилади:

$$u_k \% = \frac{U_k}{U_{1\text{ном}}} \cdot 100.$$

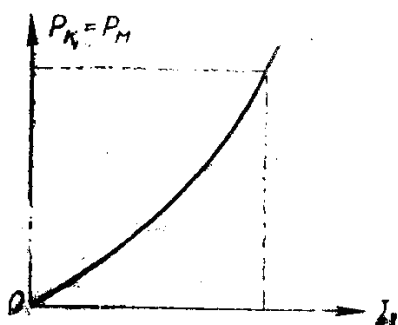
Қисқа туташув кучланиши трансформатор номинал кучланишининг кичик улушини ( $U_k \approx 0,1 U_{1н}$ ) ташкил этгани учун, пўлат ўзакдаги қувват исрофи  $P_{п} \approx 0$  дейиш мумкин. У ҳолда қисқа туташув пайтида ваттметр кўрсатган қувват  $P_k$  мис чулғамларнинг қизишига сарф бўлган қувват исрофи  $P_m$  га тенг бўлади, яъни

$$P_k = P_{п} + I_{1н}^2 \cdot R_1 = 0 + P_m = P_m.$$

Тажрибадан олинган маълумотлар бўйича трансформаторнинг қисқа туташув параметрларини аниқлаш мумкин:

$$z_{1к} = \frac{U_k}{I_{1н}}; \quad R_{1к} = \frac{P_m}{I_{1н}^2}; \quad X_{1к} = \sqrt{z_{1к}^2 - R_{1к}^2}.$$

Агар қисқа туташув кучланиши  $U_k = 0,05 U_{1\text{ном}} = 0,05 E_1$  эканлигини ҳамда нормал ҳолатда  $E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi_m$  бўлишини ҳисобга олсак, у ҳолда қисқа туташув пайтидаги магнит оқими



5.11-расм.

$$E_{1к} = 0,05 E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi_k;$$

$$\Phi_k = \frac{0,05 E_1}{4,44 f \omega_1}.$$

Демак, қисқа туташув пайтида магнит оқими, шунингдек, магнит индукцияси тахминан 20 марта камаяди:

$$\frac{\Phi_k}{\Phi_m} = \frac{1}{20} \text{ ёки } \frac{B_k}{B_m} = \frac{1}{20};$$

$$P_{\Pi} \approx B_m^2 \text{ бўлганда } P_{\Pi} = 0$$

дейиш мумкин.

Агар трансформаторнинг бирламчи чулғамига бериладиган кучланишни 0 дан  $U_{\kappa}$  гача орттира борсак, мис чулғамдаги қувват исрофининг токка боғлиқлигини ифодаловчи эгри чи-зиқ ҳосил бўлади (5.11-расм).

### 5.6. ТРАНСФОРМАТОРДАГИ ҚУВВАТ ИСРОФЛАРИ ВА УНИНГ ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Ҳар қандай электр машиналаридаги каби трансформаторларда ҳам келтирилган энергиянинг бир қисми унинг ўзида исроф бўлади. Бу қувват исрофлари қуйидагилардан иборат:

1. Токнинг иссиқлик таъсири туфайли мис чулғамларда юзага келган қувват исрофи

$$P_M = I_{1\text{ ном}}^2 R_1 + I_{2\text{ ном}}^2 R_2.$$

2. Магнит оқимининг ўзгарувчанлиги туфайли юзага келган пўлат ўзакдаги гистерезис ва уюрма тоқларга сарф бўладиган қувват исрофи  $P_{\Pi} = P_r + P_y$ . Бу қувват исрофи пўлат ўзакнинг материалига, магнит индукциясига ва ўзгарувчан токнинг частотасига боғлиқ.

3. Трансформаторнинг конструкциясига боғлиқ бўлган қувват исрофи  $P_{\kappa}$ .

Булардан  $P_M$  ва  $P_{\Pi}$  асосий исрофлар ҳисобланади. Мис чулғамлардаги қувват исрофлари нағрузкага боғлиқ бўлгани учун ўзгарувчан, пўлат ўзакдаги қувват исрофлари  $P_{\Pi}$  эса трансформаторнинг иш жараёнида ўзгармас (номинал кучланиш чегарасида) дир.

Трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\Pi} + P_M}, \quad (5.11)$$

бу ерда:  $P_1$  — трансформаторнинг кириш томонидаги қуввати;  $P_2$  — трансформаторнинг чиқиш томонидаги фойдали қуввати;  $\Delta P$  — трансформатордаги тўла қувват исрофи.

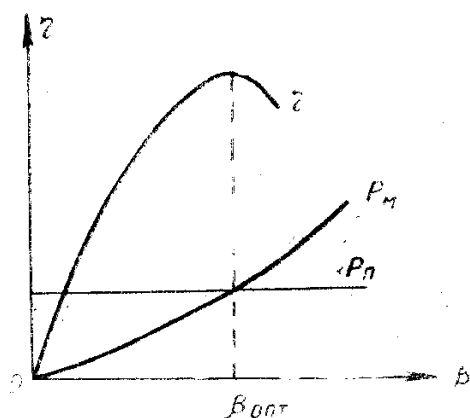
Агар трансформаторнинг фойдали иш коэффициентини унинг қандай юкланганлигини кўрсатувчи юкланиш коэффициенти

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{ ном}}}$$

орқали ифодаласак,

$$\eta'' = \frac{\beta \cdot P_{2\text{ ном}}}{\beta \cdot I_{2\text{ ном}} + P_{\Pi} + \beta^2 P_M} = \frac{\beta \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_2 + P_{\Pi} + \beta^2 P_M} \quad (5.12)$$

$\cos \varphi_2$  — нағрузка қувват коэффициенти,  $S_{\text{ном}}$  — трансформаторнинг тўла қуввати, ВА.



5.12- расм.

Катта қувватли трансформаторларнинг фойдали иш коэффициенти  $0,97 \div 0,99$ , кичик қувватлилариники эса  $0,82 \div 0,9$  атрофида бўлади. Трансформаторларда  $R_n = R_m$  бўлганда, унинг юкланиш коэффициенти оптимал ( $\beta_{\text{опт}} = 0,5 \div 0,6$ ) бўлиб, бунда трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти энг юқори бўлади (5.12- расм).

### 5.6. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ НОМИНАЛ КАТТАЛИКЛАРИ

Трансформаторлардан нормал фойдаланиш мақсадида унинг паспортида қуйидаги номинал катталиклар кўрсатилган бўлади:

- 1) трансформаторнинг тури;
- 2) чиқиш томонидаги номинал қувват  $S_{\text{ном}}$ , кВА;
- 3) бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг номинал линия кучланишлари ( $U_{1 \text{ ном}}$  ва  $U_{2 \text{ ном}}$ ), кВ;
- 4) салт ишлагандаги қувват исрофи ( $P_0 = P_n$ ), кВт;
- 5) мис чулғамлардаги, яъни қисқа туташув пайтидаги қувват исрофи ( $P_m = P_k$ ), кВт;
- 6) қисқа туташув кучланиши ( $a_k$ ), %;
- 7) нагрузка номинал ва унинг ярмига тенг ҳамда  $\cos \varphi_2 = 1$  даги фойдали иш коэффициенти.

Трансформатор бирламчи ва иккиламчи чулғамларининг номинал токлари эса унинг номинал катталикларидан ҳисоблаб топилади.

Бир фазаги трансформаторларда

$$I_{1 \text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot 10^3}{U_{1 \text{ ном}}} [\text{A}]; \quad I_{2 \text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot 10^3}{U_{2 \text{ ном}}} [\text{A}]. \quad (5.13)$$

Уч фазаги трансформаторларда

$$I_{1 \text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{1 \text{ ном}}} [\text{A}]; \quad I_{2 \text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{2 \text{ ном}}} [\text{A}]. \quad (5.14)$$

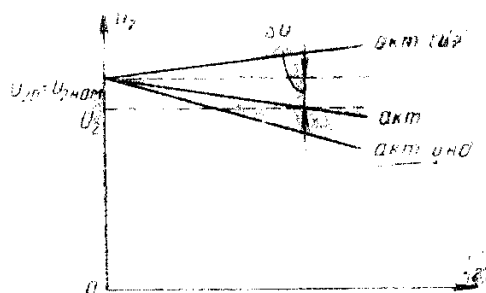
Кичик қувватли трансформаторларнинг номинал кучланиши ва токи ҳужжатда кўрсатилган бўлади.

### 5.7. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ТАШҚИ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ВА УНДАГИ КУЧЛАНИШНИНГ УЗГАРИШИ

Бирламчи чулғам кучланиши  $U_1$  ва қувват коэффициенти  $\cos \varphi_2$  ўзгармас бўлганда иккиламчи чулғамдаги кучланиш  $U_2$  нинг нагрузка токи  $I_2$  га боғлиқлигини ифодаловчи эгри чизиқ  $U_2 = f(I_2)$  трансформаторнинг ташқи характеристикаси дейилади.



5.13-расмда трансформаторнинг турли хил характердаги нагрукаларга оид ташқи характеристикаси кўрсатилган. Хараактеристикадан кўринадики, актив нагрукда  $\cos \varphi = 1$ , актив-индуктив нагрукда эса  $\cos \varphi < 1$  ва фаза силжиш бурчаги  $\varphi > 0$  бўлади. Ниҳоят, актив-сигим нагрукда  $\cos \varphi_2 < 1$  ва  $\varphi < 0$  дир. Иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг ўзгариши:



5.13- расм.

$$\Delta U \% = \frac{U_{2н} - U_2}{U_{2н}} \cdot 100, \quad (5.15)$$

бу ерда:  $U_{2н} = U_{20}$  — трансформатор салт ишлаган пайтда иккиламчи чулғам учларидаги кучланиш;  $U_2$  — трансформатор нагрукка билан ишлаётгандаги кучланиш.

Ташқи хараактеристикадан кўринадики, актив ва актив-индуктив нагрукка (истеъмолчи) учун ишлаётган трансформатордаги кучланиш номиналидан доим  $\Delta U$  га кичик, актив-сигим хараактерли нагруккада эса  $\Delta U$  га ортиқ бўлади. Электр истеъмолчилари, асосан, актив-индуктив хараактерга эга бўлади.

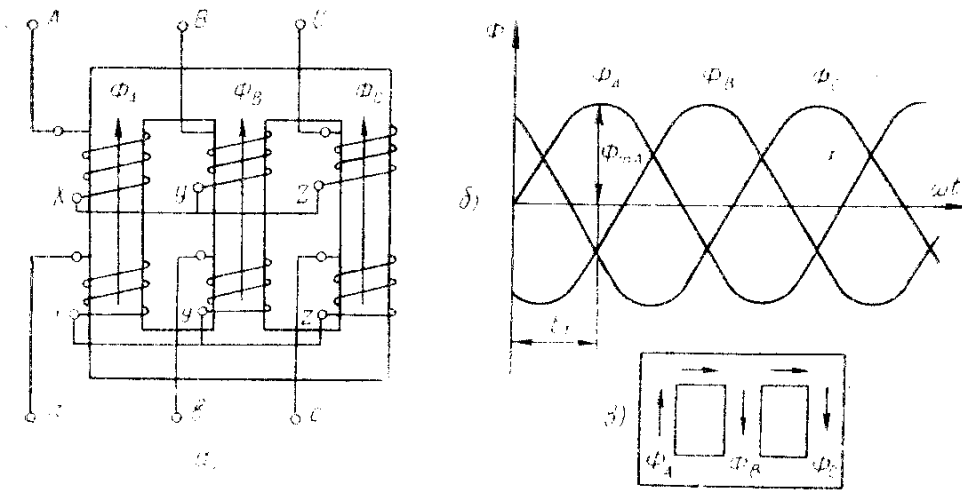
Линиядаги кучланишларнинг пасаювини ҳисобга олиб истеъмолчига ўрнатиладиган катта қувватли трансформаторларнинг чиқиш томонидаги кучланиш, одатда, номиналдан 5 процент ортиқ қилиб лойиҳаланади.

## 5.8. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Уч фазали трансформаторлар, асосан, уч фазали ток системасини трансформациялаш учун ишлатилади. Уч фазали трансформатор умумий пўлат ўзакка эга бўлиб, алоҳида фазаларнинг токлари ҳосил қилган барча магнит оқимлари ана шу ўзак бўйлаб туташади.

Уч фазали трансформаторнинг пўлат ўзаги остки ва устки томонлардан бирлаштирилган учта стержендан иборат. Ҳар бир стерженда ҳар фазанинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари жойлаштирилган. Чулғамлар юлдуз ёки учбурчак схемада уланishi мумкин. Бу бириктириш схемалари тегишлича  $\Delta$  ва  $\Delta$  тарзда белгиланади. Чулғамлар қандай схемада уланishiдан қатъи назар бирламчи чулғамнинг бош ( $A, B, C$ ) ва охириги ( $X, Y, Z$ ) учлари катта ҳарфлар билан, иккиламчи чулғамнинг бош ( $a, b, c$ ) ва охириги учлари ( $x, y, z$ ) кичик ҳарфлар билан белгиланади.

Биринчи ўралладиган чулғамнинг ўралаш йўналиши ихтиёрий, аммо қолган фазаларнинг чулғамлари биринчи ўралган чулғамнинг йўналишида ўралаши керак. Фақат шундагина ай-



5.14- расм.

рим фазалардаги токларнинг ва уларни ҳосил қилган магнит оқимлари ( $\overline{\Phi}_A$ ,  $\overline{\Phi}_B$ ,  $\overline{\Phi}_C$ ) ларнинг шартли мусбат йўналиши таъминланган бўлади (5.14- расм, а).

Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан исталган вақт лаҳ-засида учала фаза магнит оқимларининг йиғиндиси доимо нол-га тенг. Масалан, 5.14- расм, б даги магнит оқимларининг ўз-гариш графигидан кўринадики,  $\overline{\Phi}_A = \overline{\Phi}_m$  бўлган  $t_1$  вақтда  $\overline{\Phi}_A$  ўзининг мусбат максимал қийматига эришган бўлса, қолган иккита магнит оқими  $\Phi_B$  ва  $\overline{\Phi}_C$  ларнинг манфий ярим максимал қийматларга эга бўлиши учала фаза магнит оқимларининг пў-лат ўзак бўйлаб қўшилишини (5.14- расм, в) билдиради, яъни

$$\overline{\Phi}_{mA} - \frac{1}{2} \overline{\Phi}_{mB} - \frac{1}{2} \overline{\Phi}_{mC} = 0.$$

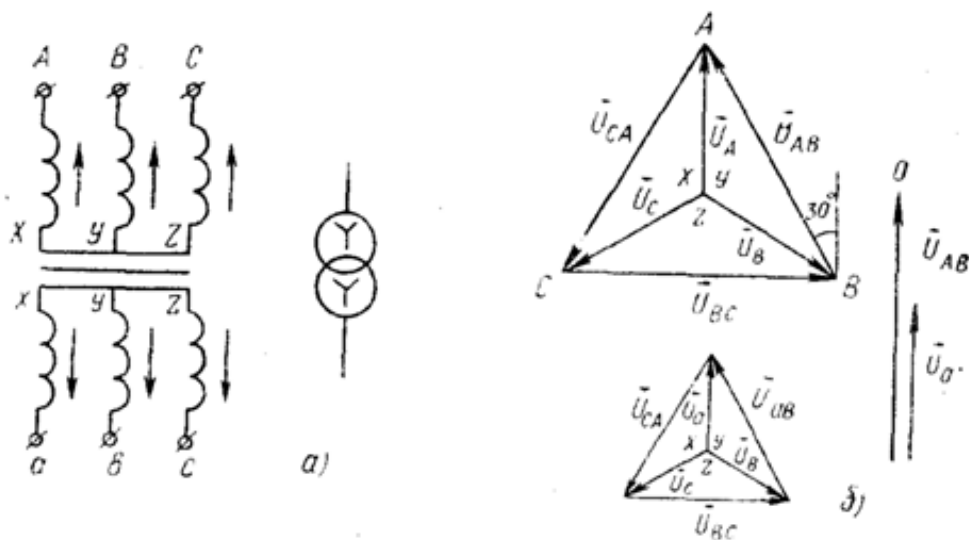
### 5.9. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ЧУЛҒАМЛАРИНИ УЛАШ СХЕМАЛАРИ ВА ТУРҚУМЛАРИ

Уч фазали трансформаторлар чулғамларини улаш схемала-рини каср тарзида кўрсатиш қабул қилинган. Касрнинг сура-тидаги белги бирламчи чулғамни, махражидаги белги эса ик-киламчи чулғамни улаш схемасини билдиради. Масалан, 5.14-расм, а даги уч фазали трансформаторнинг чулғамлари юлдуз/юлдуз схемада уланган бўлиб,  $\lambda/\lambda$  тарзда белгиланади. Агар-да юлдуз/учбурчак схемада уланган бўлса,  $\lambda/\Delta$  белги билан кўрсатилади. Амалда, асосан кичик ва ўртача қувватли (тах-минан 1800 кВА гача бўлган) трансформаторларнинг иккала чулғамига нисбатан юлдуз усулида улаш схемаси қўлланади. Бундай улашда чулғамларнинг изоляцияси фаза кучланишига ( $U_{\phi} = U_{\lambda}/\sqrt{3}$ ), учбурчак схемада уланганда эса линия кучла-нишига ҳисобланади. Одатда, трансформаторнинг юқори куч-ланишли чулғами (манба томондаги) юлдуз схемада уланади.

Бунда маълум қийматдаги линия кучланишини олиш қулай ва чулғамнинг ўрамлар сони кам бўлади. Чулғамларни учбурчак схемада улаш катта тоқларда маъқул бўлгани учун  $\Delta/\Delta$  схема паст кучланиш томони катта қувватли бўлган трансформаторларда қўлланади.

Уч фазали ток занжирида фаза ва линия кучланишлари бир-биридан фарқ қилгани учун фазали трансформаторларнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари бир хил схемада, масалан юлдуз/юлдуз ( $\Delta/\Delta$ ) схемада уланганда (5.14, 5.15-расм, а) бирламчи ва иккиламчи чулғамнинг фаза ( $\bar{U}_A, \bar{U}_a, \dots$ ) ва линия ( $\bar{U}_{AB}, \bar{U}_{ab}$ ) кучланишларининг векторлари фаза бўйича мос тушади (5.15-расм, б). Дастлаб иккала чулғамнинг фаза кучланишлари диаграммаси қурилади, сўنгра (3.4) ифодага биноан линия кучланишларининг диаграммасини қурамыз. Агар бирламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори  $\bar{U}_{AB}$  ни соғ миллининг ҳаракат йўналишида  $30^\circ$  га буриб, уни 0 (ёки 12) рақамида турибди десак, иккиламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори  $\bar{U}_{ab}$  ни ҳам ўша йўналишда  $30^\circ$  га бурсак, у ҳам 0 рақамига тўғри келади. Бу, чулғамлар юлдуз/юлдуз схемада уланганга уларнинг уланиш туркуми 0 эканлигини билдиради. Бирламчи ва иккиламчи чулғам учбурчак/учбурчак схемада уланганда  $U_a = U_\phi$  бу ҳолда ҳам чулғамларнинг уланиш туркуми 0 бўлади. Демак, бирламчи ва иккиламчи чулғамлар бир хил схемада уланганда 0 нчи уланиш туркуми олинар экан. Бундай уланиш туркуми  $\Delta/\Delta - 0$  ва  $\Delta/\Delta - 0$  тарзда белгиланади.

Уч фазали трансформаторнинг бирламчи чулғами юлдуз, иккиламчи чулғами эса учбурчак схемада уланса, у ҳолда бошқа улаш туркуми олинади. Иккиламчи чулғамни учбурчак схемада улаш учун А фазанинг бош учини В фазанинг охириги учи билан, В фазанинг бош учини С фазанинг охириги учи билан ва ҳоказо тарзда улаш керак (5.16-расм, а). Бирламчи чулғам юлдуз, иккиламчи чулғам учбурчак схемада уланганда, бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг фаза кучланишлари векторлари ( $\bar{U}_A, \bar{U}_{ax} = \bar{U}_a$  ва ҳоказо) фаза бўйича мос тушади ҳам, аммо линия кучланишларининг векторлари ( $\bar{U}_{AB}, \bar{U}_{ab}$  в. ҳ.) бир-бирларидан фаза бўйича  $30^\circ$  га ёки бир неча  $30^\circ$  га силжиган бўлиши мумкин (5.16-расм, б). Бирламчи чулғам кучланишининг вектор диаграммаси (5.16-расм, б) (5.15-расм, б) дагидек, ўзгаришсиз қолади. Учбурчак схемада уланган иккиламчи чулғамнинг вектор диаграммасида фаза кучланиши вектори  $\bar{U}_{ax} = \bar{U}_a$  бирламчи чулғамнинг фаза кучланиши вектори  $\bar{U}_A$  билан фаза бўйича мос тушади, шунинг учун вектор  $\bar{U}_{ax}$  вектор  $\bar{U}_A$  га,  $\bar{U}_{by}$  эса  $\bar{U}_B$  га параллел қилиб ўтказилади. Фаза кучланишларининг шартли мусбат йўналиши схемаларда

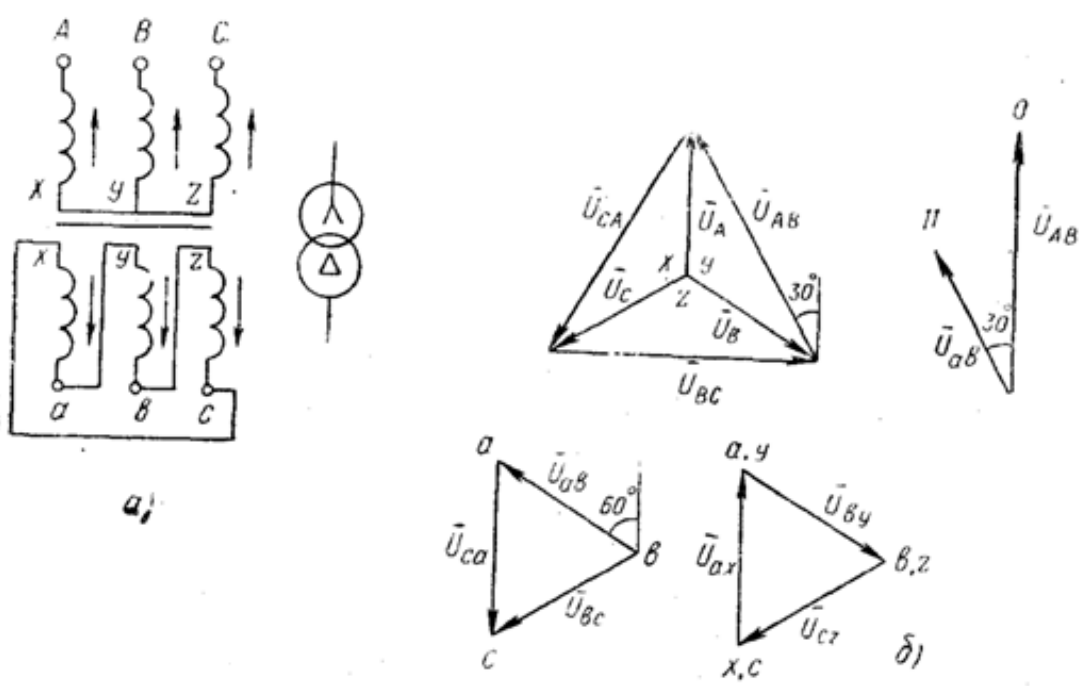


5.15- расм.

(5.15- расм, а ва 5.16- расм, а) чулғамларнинг охириги учларидан бош учларига томон олинган. Чулғам учбурчак схемада уланганда турли фазаларнинг бош ва охириги учлари бир нуқтага бирлашади, масалан, а ва у, b ва z, c ва x. Бу нуқталар орасидаги потенциаллар ўзаро тенг.

Бирламчи чулғамнинг векторлар диаграммасидан кўринадикки, линия кучланишининг вектори  $\vec{U}_{AB}$  B нуқтадан A нуқтага йўналган, у ҳолда иккиламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори  $\vec{U}_{ab}$  ҳам B дан A га йўналган (5.16- расм, б).

Агар бирламчи чулғам линия кучланишининг вектори  $\vec{U}_{AB}$  ни соат милининг ҳаракат йўналишида  $30^\circ$  га буриб, уни 0



5.16- расм.

рақамида турибди деб, иккиламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори  $\bar{U}_{ab}$  ни ҳам  $30^\circ$  га бурганимизда  $v$  соатнинг 11 рақамига тўғри келади. Демак, бирламчи чулғами юлдуз, иккиламчи чулғами учбурчак схемада уланган уч фазали трансформатор чулғамларининг уланиш туркуми 11 бўлиб, у  $\Delta/\Delta$  — 11 тарзда белгиланади.

Демак, уч фазали трансформатор бирламчи ва иккиламчи чулғамлари линия кучланишларининг фаза силжишига кўра фарқ қилувчи турли улаш схемалари улаш туркумлари дейилади.

Уч фазали трансформаторларнинг  $\Delta/\Delta$  — 0,  $\Delta/\Delta_0$  — 0 ва  $\Delta/\Delta$  — 11 сингари улаш туркумлари кўп ишлатилади.

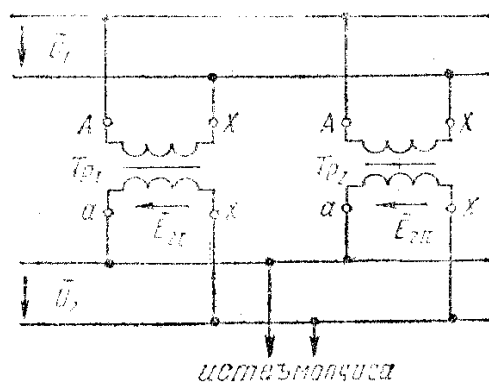
### 5.10. ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Саноат корхоналарининг подстанцияларида бир нечта трансформаторлар ўрнатилган бўлиб, улар алоҳида ёки биргаликда (параллел) ишлаши мумкин. Трансформаторлар алоҳида ишлаганда уларнинг иккиламчи чулғамлари ўзаро боғланмаган, параллел ишлаганда эса умумий нагрузкага уланади. Трансформаторларни параллел ишлатиш улардан оқилона фойдаланишга имкон беради. Масалан, нагрузка кам бўлган соатларда трансформаторларнинг бир қисмини узиб қўйиш мумкин. Шунингдек, кучли нагрузка уланганда ҳар бир трансформаторга тўғри келадиган нагрузка миқдорининг кичикроқ бўлиши ва ҳар бир трансформаторнинг бир текис юкланиши таъминланади.

Трансформаторларнинг параллел ишлаши учун қуйидаги шартлар бажарилиши керак:

1. Бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг номинал кучланишлари бир хил бўлиши керак; трансформация коэффициентининг фарқи 0,5% дан ортиб кетмаслиги керак.
2. Қисқа туташиниш кучланишлари бир хил бўлиши керак ( $\pm 10\%$  фарқ қилишига йўл қўйилади).
3. Уч фазали трансформаторлар параллел ишлаши учун уларнинг уланиш туркумлари бир хил бўлиши керак.

Трансформаторларнинг параллел ишлаш схемаси 5.17-расмда кўрсатилган. Трансформатор салт ишлаганда иккиламчи чулғам занжирида токнинг йўқлиги ҳамда нагрузканинг параллел ишлаган трансформаторларнинг номинал қувватларига пропорционал равишда тўғри тақсимланиши трансформаторлар нормал ҳолда параллел ишлашининг асосий белгилари ҳисобланади.



5.17-расм.

## 5.11. АВТОТРАНСФОРМАТОРЛАР

Автотрансформаторда бирламчи ва иккиламчи чулгамлар электр жиҳатдан ўзаро боғланган бўлиб, иккиламчи чулгам бирламчи чулгамнинг бир қисмини ташкил этади. Автотрансформаторлар бир фазали ва уч фазали қилиб ишлаб чиқарилади. Бир фазалилари *лаборатория автотрансформаторлари* (ЛАТР) тарзида кенг қўлланади (5.18-расм, в). Уч фазали автотрансформаторларнинг қуввати бир фазалиларга қараганда катта бўлиб, чулгалари мойли бакка туширилган бўлади.

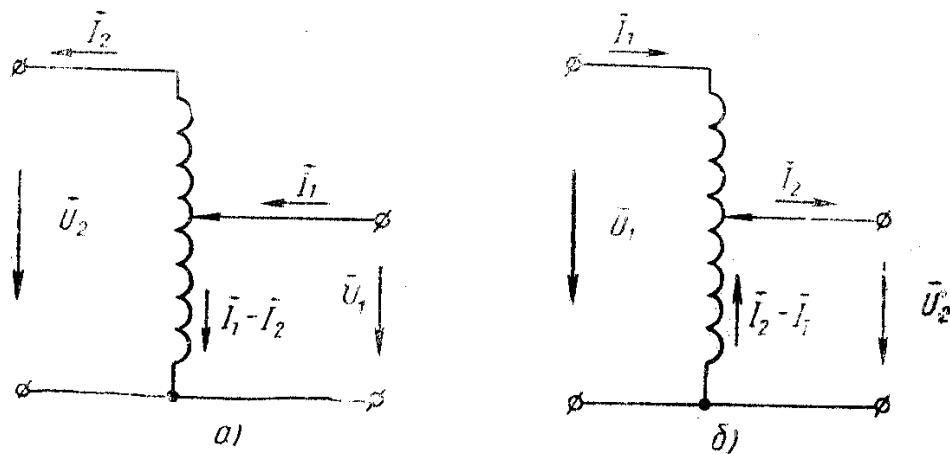
Автотрансформаторлар кучланиш кенг доирада ўзгартириладиган жойларда ишлатилади. Улар кучланишни орттириб ёки пасайтириб беради 5.18-расм, а ва б да кучланишни орттирувчи ва пасайтирувчи автотрансформаторларнинг схемалари берилган.

Кучланишни орттириб берувчи автотрансформаторнинг (5.18-расм, а) схемасидан кўринадики, бирламчи кучланиш  $U_1$  автотрансформатор чулгамларининг бир қисмига берилиб, иккиламчи кучланиш  $U_2$  унинг иккала чулғамидан олинмоқда. Кучланишни пасайтириб берувчи автотрансформаторда (5.18-расм, б) бирламчи кучланиш  $U_1$  (иккала) бутун чулғамига берилиб, иккиламчи кучланиш  $U_2$  бутун чулгамнинг бир қисмидан олинмоқда.

Агар чулгамнинг барча ўрамлари  $w_1 + w_2$  бўлиб, шохобланган ўрамлари  $w_2$  бўлса, у ҳолда орттирувчи ва пасайтирувчи автотрансформаторларнинг трансформация коэффициентлари тегишлича  $k = \frac{w_1 + w_2}{w_2}$  (орттирувчи) ва  $k = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$  (пасайтирувчи) тарзда ифодаланади.

Ишлатилиш шароитига қараб автотрансформаторлар трансформация коэффициенти ўзгарадиган қилиб ҳам ясалади (масалан, ЛАТР).

Автотрансформаторлар ўзгарувчан ток двигателларини ишга туширишда театр биноларида ёруғлик кучини ўзгартиришда; уй-рўзгор ва лаборатория ишларида кенг қўлланади.



5.18- расм.

## 5.12. УЛЧАШ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИ

Ўзгарувчан токнинг юқори кучланишли занжирларига уланадиган ўлчов асбобларининг ўлчаш чегараларини кенгайтириш мақсадида кучланиш ва ток трансформаторларидан фойдаланилади. Чунки бундай занжирларда ўлчаш чегараларини қўшимча қаршилик ва шунтлар ёрдамида кенгайтириш мумкин эмас, негаки ўлчаш асбобларининг чулғамлари юқори кучланиш остида бўлиб, ундан фойдаланишда хизмат кўрсатувчи шахс ҳаёти учун катта хавф туғилади.

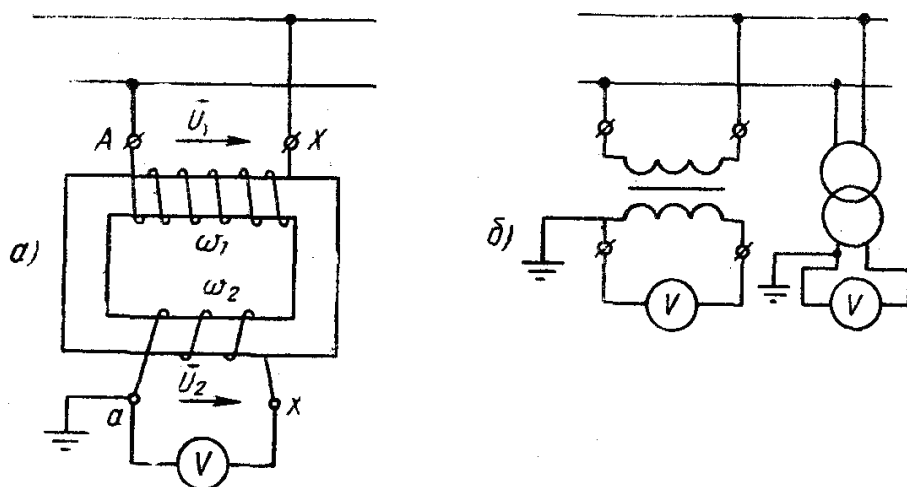
Юқори кучланишли тармоқ ва асбоб-ускуналарни ҳимоя қилиш учун турли ҳимоя релелардан фойдаланилади. Улар ҳам тармоққа ўлчаш асбоблари каби ток ва кучланиш трансформаторлари ёрдамида уланади.

Кучланишни ўлчаш трансформатори. Кучланиш трансформаторининг занжирга уланиш схемаси ва унинг белгиланиши 5.19-расм, а ва б да кўрсатилган.

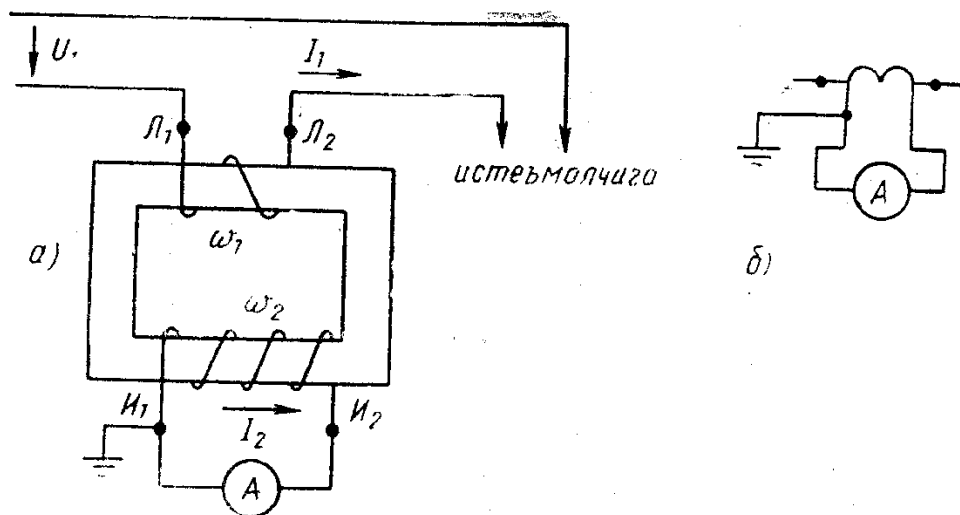
Юқори кучланишли бирламчи чулғамнинг ўрамлари сони  $w_1$  нисбатан кўп бўлиб, тармоққа параллел уланади, яъни ўлчанадиган кучланиш бевосита таъсир эттирилади. Иккиламчи чулғамнинг ўрамлари сони  $w_2$  нисбатан кам бўлиб, унга вольтметр, ваттметр, счётчик ва бошқа асбобларнинг кучланиш ғалтаклари уланади.

Кучланиш трансформаторларидаги бирламчи чулғамнинг номинал кучланиши  $U_{1\text{ ном}}$  юқори кучланишли тармоқнинг ёки қурилманинг номинал кучланишига, иккиламчи чулғамнинг номинал кучланиши  $U_{2\text{ ном}}$  эса 100 В га тенг қилиб олинади. Кучланиш трансформаторлари бир фазали ва уч фазали қилиб ишлаб чиқарилади. Бундай трансформаторларнинг трансформация коэффиценти:

$$k_U = \frac{U_{1\text{ ном}}}{U_{2\text{ ном}}} = \frac{w_1}{w_2}$$



5.19-расм.



5.20- расм.

Ўлчанаётган кучланишнинг ҳақиқий қийматини билиш учун вольтметрнинг кўрсатишини трансформация коэффиценти  $k_U$  га кўпайтириш керак. Кучланиш трансформаторларининг паст кучланишли иккиламчи занжирида ўта юкланиш ёки қисқа туташидан сақланиш мақсадида ҳимоя сақлагичлар ўрнатилади. Айрим сабабларга кўра юқори кучланишли чулғам изоляцияси шикастланса, унинг трансформаторга тегиб қолиш хавфи туғилади. Бундай фаложатнинг олдини олиш учун кучланиш трансформаторининг паст кучланишли чулғами ва темир ўзаги ерга уланган бўлади.

Кучланиш трансформатори бошқа электр ўлчов асбоблари каби 0,5; 1,0; 3,0 аниқлик синфига эга.

**Токни ўлчаш трансформатори.** Кучли тоқларни кучсиз тоққа айлантиришда ток трансформаторлари ишлатилади. Бундай трансформатор бирламчи чулғамининг ўрамлари сони кўп бўлмай, асосий электр занжирига кетма-кет уланади ва ўлчанадиган ток у орқали ўтади. Иккиламчи чулғамининг ўрамлари сони нисбатан кўп бўлиб, унга ўлчов асбоблари (амперметр, ваттметр, счётчикларнинг тоқли ғалтаклари) кетма-кет уланади.

Ток трансформаторининг занжирга уланиш схемаси ва белгиланиши 5.20-расм, *a* ва *b* да кўрсатилган.

Ток трансформаторининг трансформация коэффиценти қуйидагича ифодаланади:

$$k_I = \frac{I_{1 \text{ ном}}}{I_{2 \text{ ном}}} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Ўлчанаётган тоқнинг ҳақиқий қийматини билиш учун амперметрнинг кўрсатишини трансформация коэффиценти  $k_I$  га кўпайтириш керак. Иккиламчи чулғамнинг номинал тоқи ( $I_{2 \text{ ном}}$ ) 5 амперга мўлжалланган бўлиб, унга уланадиган электр ўл-



чов асбоблари бирламчи чулғамдан ўтадиган токка мослаб даражаланади. Уланадиган ўлчаш асбобларининг электр қаршилиги унчалик кагта бўлмайди. Шунинг учун ток трансформатори, кўпинча, қисқа туташув режимида ишлайди. Демак, ток трансформаторларини ишлатишда иккиламчи чулғамга уланган нагрузканинг қаршилиги номиналдан ошмаслиги шарт. Бирламчи занжирдан ток ўтиб турганида иккиламчи занжир асло узилмаслиги ва очилиб қолмаслиги керак. Мабодо иккиламчи занжир узилса, ток трансформаторидаги магнит оқими кучайиб кетиб, иккиламчи чулғам учларида ҳаёт учун хавфли кучланиш юзага келади. Шунинг учун ток трансформаторнинг иккиламчи чулғами электр ўлчов асбобларига уланган ёки қисқа туташган бўлиши шарт.

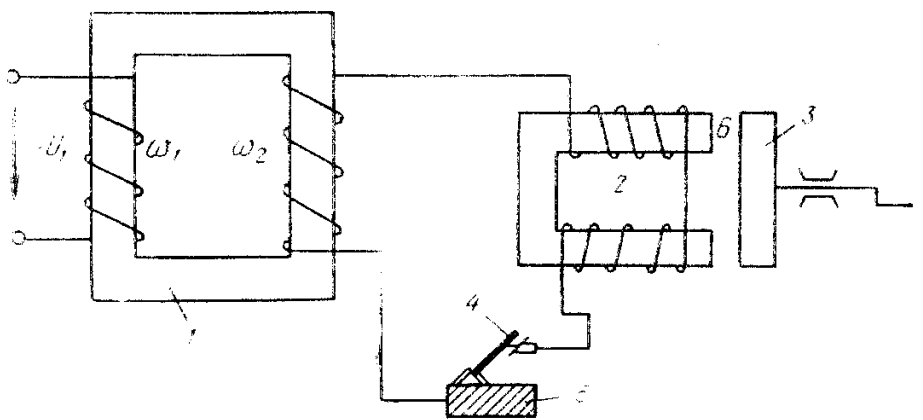
Ток трансформаторлари 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 10 аниқлик синфларига эга.

### 5.13. ПАЙВАНДЛАШ ТРАНСФОРМАТОРИ

Пайвандлаш трансформатори металл буюмларни, конструкцияларни ва ҳоказоларни эритиб, ўзаро улаш учун хизмат қилади. 5.21-расмда пайвандлаш трансформаторининг принципиал схемаси кўрсатилган. У трансформатор 1, дроссель 2, якорь 3, электрод 4, пайвандланадиган буюм 5, дроссель билан якорь орасидаги тирқиш 6 дан иборат. Пайванд сифатли бўлиши учун электр ёй барқарор ёниши керак. Бунинг учун пайвандлаш жараёнида пайвандлаш токи қиймат жиҳатдан ўзгаришсиз бўлиши лозим. Пайвандлаш токи дроссель 2 билан якорь 3 орасидаги тирқиш 6 ни ўзгартириш орқали ростланади. Тирқиш ортганда дроссель чулғамининг индуктив қаршилиги камайиб, пайвандлаш токи кўпаяди ва аксинча.

Қисқа туташув бўлганда дроссель электр ёй ва трансформаторнинг токени чеклайди.

Трансформатор салт ишлаганда  $U_{20} = 60 \div 70$  В, номинал нагрузка билан ишлаганда эса 30 В ни ташкил этади.



5.21- расм.

## 6-606. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИ

### 6.1. АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

Электр қурилмалари (генераторлар, трансформаторлар, энергия истеъмолчилари ва энергияни ўзгартирувчи бошқа қурилмалар) нинг нормал ишлаши учун аниқ техник талаблар таъминланган бўлиши керак. Бундай талабларнинг бажарилишини текшириш электр ўлчаш асбоблари ёрдамида бажарилади, чунки инсоннинг сезги аъзолари электр катталиклар (ток, кучланиш, частота, қувваг, энергия ва ҳ. к.) ни бевосита кузата олмайди.

Электр ўлчаш асбоблари юқори сезгирликка, аниқликка эга бўлиши ҳамда ишончли ва оддий бўлганликлари туфайли аксарият физик катталиклар (температура, босим, ёруғлик, тезлик ва ҳ. к.) электр ўлчаш асбоблари ёрдамида ўлчанади. Бунда ноэлектр катталиклар унга пропорционал бўлган электр катталикларга ўзгартирилади.

Электр ўлчаш усули электр ва электр бўлмаган катталикларни узоқ масофадан ўлчаш (телеметрия) имконини беради. Телеметрик ўлчашлар чуқур бурғиланадиган қудуқларда, Ернинг сунъий йўлдошларида кенг қўлланилади.

Замонавий ишлаб чиқаришда электр ўлчашлар техникаси машина ва механизмларга таъсир этиб, ҳар хил технологик жараёнларни кузатиш имкониятини беради. Шунинг учун ҳам улар ишлаб чиқариш жараёнларини автоматик бошқаришнинг асосий бўғини ҳисобланади.

Ҳозирги пайтда асбобсозлик саноати фан-техникага керак бўлган барча текширув-ўлчаш асбоблари ишлаб чиқаришни йўлга қўйган. Ўлчаш аппаратларининг юқори сифати ва аниқлиги Давлат назорати томонидан кафолатланади.

Махсус техник воситалар — ўлчаш асбоблари ёрдамида физик катталикларнинг қийматларини тажриба йўли билан аниқлаш *ўлчаш* дейилади. Ўлчаш натижаси сон билан ифодаланади. Масалан, кучланиши 220 В

Маълум ўлчамдаги физик катталикларни акс эттиришда фойдаланиладиган ашёвий ўлчаш воситаси ўлчов деб аталади. Электр қаршилигининг ўлчови — ўлчаш резисторлари (қаршилик ғалтаклари), электр юритувчи куч ва кучланишларнинг ўлчовлари — нормал элементлар, индуктивликнинг ўлчови — ўз ва ўзаро индуктивлик ўлчаш ғалтаклари, электр сизимининг ўлчови — намунавий конденсаторлар.

Ўлчаш маълумотларини кузатувчининг бевосита ўзлаштириши учун қулай бўлган шаклда кўрсатувчи техник воситаси *ўлчаш асбоби* дейилади.

Барча электр ўлчаш асбоблари икки турга бўлинади: аналогли ва рақамли. Кўрсатиши ўлчанаётган миқдорнинг ўзгаришига узлуксиз боғлиқ бўлган ўлчаш асбоби аналогли ўлчаш асбоби деб аталади. Ўлчаш маълумотлари автоматик ҳолда

дискрет сигналларни ҳосил қиладиган ва кўрсатиши рақам шаклида ифодаланадиган асбоблар рақамли ўлчаш асбоблари деб аталади.

Ўлчаш маълумотларининг олиниш усулига қараб ўлчаш асбоблари қуйидагиларга бўлинади:

**кўрсатувчи асбоблар** (ўлчаш натижасини шкала бўйича кўриш мумкин);  
**қайд қилувчи асбоблар** (ўлчаш натижасини тасмада акс эттиradi).

Ўлчаш асбоблари ўлчов билан таққослаш усули бўйича бевосита ва билвосита таққослаш асбобларига бўлинади. Бевосита таққослайдиган асбобда сигнални бир ёки бир нечта ўзгартириш назарда тутилган. Буларга стрелкали амперметрлар, вольтметрлар, ваттметрлар ва шунга ўхшаш асбоблар мисол бўлади. Билвосита таққослаш асбоблари ўлчанаётган миқдорларни маълум миқдор билан таққослашга асосланган. Буларга ўлчаш кўприклари, потенциометрлар мисол бўлади. Кўп ҳолларда бевосита баҳолайдиган электр ўлчаш асбобларидан фойдаланилади. Бундай асбоблар билан ўлчашда ўлчовнинг кераги йўқ. Ўлчов дастлаб асбоб шкаласини даражалашда фойдаланилади, холос. Солиштириб ўлчайдиган асбоблар ўлчашни юқори аниқлик билан бажаришни таъминлайди, улар юқори сезгирликка эга. Лекин, ўлчашнинг бу усули мураккаб ва кўп вақт сарфлашни талаб қилади.

## 6.2. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИГА ҚЎЙИЛАДИГАН УМУМИЙ ТЕХНИК ТАЛАБЛАР

Ўлчаш асбобининг аниқлиги унинг хатолиги нолга қанчалик яқинлигини билдирувчи кўрсаткичдир. Стрелкали ўлчаш асбобларининг аниқлиги *келтирилган хатолик* билан баҳоланади:

$$\gamma = \frac{\pm \Delta}{A_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{A_{\text{ў}} - A_{\text{х}}}{A_{\text{ном}}} \cdot 100\%. \quad (6.1)$$

Бу ерда:  $A_{\text{ў}}$  — ўлчанган миқдор;  $A_{\text{х}}$  — ўлчанадиган миқдорнинг ҳақиқий қиймати;  $\Delta$  — абсолют хатолик.

Ўлчаш хатолиги асбобдаги камчиликлар (ишқаланиш, қўзгалувчан қисмларнинг мувозанатланмаганлиги, шкаланинг нотўғри урнатилиши ва ҳоказолар) ҳамда ташқи таъсирлардан келиб чиқади.

Нормал иш шароитларида аниқланган келтирилган хатолик асбобнинг *асосий хатолиги* деб аталади. Асосий хатолик бўйича бевосита баҳолайдиган асбоблар ГОСТ бўйича 8 та аниқлик синфига ажратилади: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 ва 4. Улар ўлчаш асбобларининг шкалаларида кўрсатилган бўлади. Аниқлик синфини билдирувчи рақам асосий энг катта жоиз

келтирилган хатоликни билдиради. Масалан, асбобнинг аниқлик синфи 0,2 бўлганда  $\gamma = \pm 0,2\%$  бўлади.

Қўшимча хатоликлар асбоб ишлаш шароитларининг нормал шароитлар (муҳит температураси, ишчининг нормал ҳолати, ўзгарувчан токнинг кучланиши ва частотаси) дан четга чиқиши оқибатида келиб чиқади. Ташқи магнит ва электр майдонларининг мавжудлиги ҳам ўлчашда қўшимча хатоликни вужудга келтиради.

Ишлатиш шароитга қараб электр ўлчаш асбоблари қуйидаги туркумларга бўлинади: А (температура оралиғи  $+10$  дан  $+35^\circ\text{C}$  гача; муҳитнинг нисбий намлиги 80% гача); Б ( $-30$  дан  $+40^\circ\text{C}$  гача; 90% гача); В<sub>1</sub> ( $-40$  дан  $+50^\circ\text{C}$  гача; 95% гача); В<sub>2</sub> ( $-50$  дан  $+60^\circ\text{C}$  гача; 95% гача), В<sub>3</sub> ( $-50$  дан  $+80^\circ\text{C}$  гача; 98% гача)

Тропик иқлим шароитида ишлатишга мўлжалланган электр ўлчаш асбобларида „Т“ белгиси бўлади.

Асбобнинг сезгирлиги ўлчаш асбобининг чиқиш қисмидаги сигнал ўзгариши ( $\Delta I$ ) нинг кириш қисмидаги сигнал ўзгартирувчи ( $\Delta x$ ) га нисбатидир:

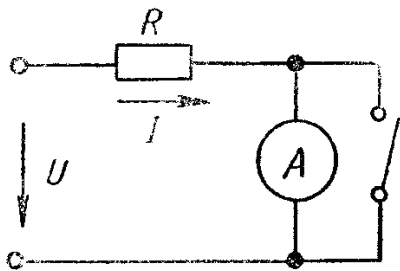
$$S = \frac{\Delta I}{\Delta x^{\circ}}$$

Асбобнинг сезгирлиги ўлчанаётган миқдорлар бирлигига мос келувчи шкаланинг бўлинмалар сони билан аниқланади.

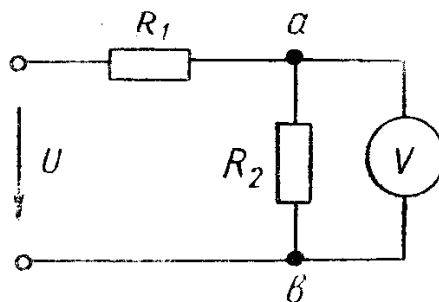
Асбобнинг ўзи истеъмол қиладиган қувват. Электр ўлчаш асбобининг ишлаши электр энергиянинг сарфланиши билан боғлиқдир. Бунда асбобнинг электр занжири қизийди. Асбобнинг қувват исрофи ва унинг параметрлари шундай бўлиши керакки, асбоб уланганда ўлчаш бажарилаётган занжирнинг иш режими ўзгармаслиги керак.

Юқорида айтилганларни қуйидаги иккита мисол билан тасдиқлаймиз. 1. Айтайлик,  $R$  қаршиликли занжирдаги токни ўлчаш талаб қилинсин (6.1-расм).

Амперметр бўлмаганда занжирдаги ток  $I = \frac{U}{R}$ . Амперметр уланганда (рубильник ажратилган)  $I' = \frac{U}{R + r_A}$ . Ушбу формулалардан кўринадики,  $I' \neq I$ , яъни  $I' < I$ .  $I'$  ток  $I$  га тенглашиши учун  $r_A$  ноль қийматгача камайиши керак. Шунда  $P_A =$



6.1- расм.



6.2- расм,

$\rightarrow (I')^2 \cdot r_A \rightarrow 0$ . Агар  $r_A$  қанчалик кичик бўлса, ўзи истеъмол қиладиган қувват шунча кичик бўлади ва амперметрнинг ула- шинидан ҳосил бўладиган хатолик ҳам кичик бўлади.

2. Кучланиши  $U = 300$  В бўлган занжирга (6.2-расм) ик- ки қаршилик  $R_1 = 20$  кОм ва  $R_2 = 10$  кОм уланган. Вольт- метр уланмагандаги кучланиш  $U_{ab} = 100$  В. Қаршилиги  $r_v = 10$  кОм бўлган вольтметр  $a$  ва  $b$  нуқталарга кучланишни ўлчаш учун уланган.  $a$  ва  $b$  нуқталар орасидаги кучланиш аниқлансин.  $U$  ҳолда

$$R_{ab} = \frac{R_2 \cdot r_v}{R_2 + r_v} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = \frac{100}{20} = 5 \text{ кОм};$$

$$U'_{ab} = \frac{U}{R_1 + R_{ab}} \cdot R_{ab} = \frac{300}{20 + 5} \cdot 5 = 60 \text{ В.}$$

Методик нисбий хатолик

$$\delta_m = \frac{60 - 100}{100} \cdot 100\% = -40\%.$$

$r_v$  қанча катта бўлса, нисбий хатолик шунча кичик бўлади ва асбоб истеъмол қиладиган қувват ҳам кичик бўлади.

Замонавий ўлчаш асбобларида қувват исрофи 0,2 дан 6 Вт гача бўлади.

**Асбобнинг тез ишлай олиши.** Ўлчанаётган миқдорлар ўз- гарганда асбобнинг қўзғалувчан қисми (стрелка) бирор муво- занат ҳолатдан иккинчи мувозанат ҳолатга ўтади. Стрелканинг шкала узунлиги бўйича 1% дан ошмагандаги тебраниш ам- плитудаси учун кетган вақт оралиғи тинчланиш вақти деб ата- лади. Барча ўлчаш асбоблари тинчлантиргичлар (демпферлар) билан таъминланади. Тинчланиш вақти 4—6 секунддан ошмас- лиги керак.











**Изоляция мустаҳкамлиги.** Ўлчаш асбоблари ва ёрдамчи қисмларнинг изоляцияси етарли мустаҳкамликка эга бўлиши керак. Изоляция ГОСТ 1845—59 га мувофиқ 1 минут давоми- да 2 дан 5 кВ гача кучланишга бардош бериши керак (мос равишда тармоқ кучланиши 40 В дан 2 кВ гача бўлганда).

### 6.3. БЕВОСИТА БАҲОЛАЙДИГАН ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИНИНГ ТАСНИФИ




Ўлчанадиган катталикларнинг турига қараб электр ўлчаш асбоблари қуйидагиларга бўлинади (4-жадвал).





Электр ўлчаш асбоблари ишлаш принципига кўра қуйида- ги системаларга бўлинади (5-жадвал).

4- жадвал

Ўлчанадиган катталик	Ўлчаш асбоби	Асбобнинг шартли белгиланиши
Ток кучи	Амперметр	
	Миллиамперметр	
Кучланиш	Вольтметр	
Электр қуввати	Ваттметр	
	Киловаттметр	
Электр энергияси	Счётчик	
Фазаларнинг силжиши	Фазометр	
Частота	Частотометр	
Электр қаршилиқ	Омметр	
	Магомметр, меггер	

5- жадвал







Системанинг номи	Шкаладаги шартли белгиланиши
Магнитоэлектрик: қўзғалувчан рамкали, тесқари таъсир кўрсатувчи механик моменти бўлган асбоб	
тесқари таъсир кўрсатувчи механик моменти бўлмаган, қўзғалувчан рамкали асбоб (логометр)	
Электромагнит	

Системанинг номи	Шкаладаги шарли белгиланиши
Электродинамик	
Ферродинамик	
Индукцион	
Электростатик	

Шунингдек, ўлчаш асбобининг шкаласида қуйидаги шартли белгилар: ток тури, фазалар сони, асбобнинг аниқлик синфи, изоляцияси текшириб (синаб) кўрилган кучланиш, асбобнинг иш ҳолати, асбоб ижросининг эксплуатация шароитига боғлиқлиги, ташқи майдондан ҳимояланиш даражасига кўрсатилган бўлади (6-жадвал).

6-жадвал

ГОСТ 1845—59 бўйича шартли белгилар	Шаргли белгининг маъноси
—	Ўзгармас ток асбоби
~	Ўзгарувчан ток асбоби
⏏	Ўзгармас ва ўзгарувчан ток асбоби
≈	Уч фазали ток системаси асбоби
1,5	Ўлчаш диапазонида процентлар билан нормаланган 1,5-аниқлик синфидаги асбоб
15	Шкала узунлигида процентлар билан нормаланган 1.5-аниқлик синфидаги асбоб
☆	Асбобнинг ўлчайдиган занжири унинг корпусидан изоляцияланган ва бу изоляция ушбу кучланиш (2 кВ) билан текширилган

ГОСТ 1845-59 бўйича шартли белгилар	Шартли белгининг маъноси
	Шкаланинг горизонтал ҳолати
	Шкаланинг вертикал ҳолати
	Шкаланинг горизонталдан маълум бурчак (60°) остидаги қия ҳолати
АБВ	Ишлатиш шаронтига кўра асбобнинг ижроси
	Ташқи магнит майдонлар таъсиридан I категория бўйича ҳимоя қилинган магнитоэлектрик асбоб
	Электр майдони таъсиридан I категория бўйича ҳимоя қилинган электростатик асбоб
✱	Генератор қисқич
	Корпус билан уловчи қисқич

#### 6.4. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИНИНГ МЕХАНИЗМЛАРИ

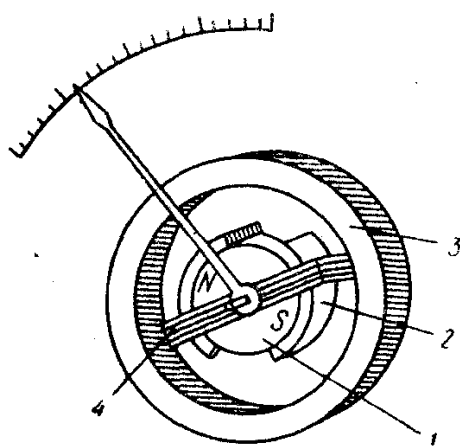
Электр ўлчаш асбобининг асосий қисмлари ундаги ўлчаш занжири ва ўлчаш механизмидир. Ўлчаш занжири (кучланиш, қувват, частота ва бошқалар) ни унга пропорционал бўлган ва ўлчаш механизмига таъсир этувчи катталиқка айлангириб беради. Масалан, вольтметрнинг ўлчаш занжири ўлчаш механизмининг чулғамидан ва қўшимча қаршилиқдан иборат. Бундай қаршилиқ занжири ўзгармасдир. Демак, ўлчаш механизми орқали кучланишга пропорционал бўлган ток ўтади.

Ўлчаш механизми (ЎМ) ўлчаш асбоби конструкциясининг бир қисми бўлиб, элементларнинг ўзаро таъсири натижасида уларнинг бир-бирига нисбатан ҳаракатини вужудга келтиради. Ўлчаш механизми қўзғалмас ва қўзғалувчи қисмлардан иборат. Ўлчаш механизми чулғамидаги токнинг қўзғалмас қисмининг магнит (ёки электр) майдони билан таъсирлашиши натижасида механизмнинг қўзғалувчи қисми сурилади. Айлан-



тирувчи момент  $M_{\text{айл}}$  ўлчанаётган миқдорларга бир хилда боғлиқ. Ўлчанаётган катталиқнинг қиймати қўзғалувчи қисмнинг сурилишига қараб аниқланади.

Айлантирувчи момент тескари таъсир кўрсатувчи момент  $M_{\text{тес}}$  билан мувозанатда бўлганда қўзғалувчи қисм стрелка билан биргаликда ўлчанаётган катталиқ қийматига мос келадиган аниқ ҳолатни эгаллайди. Ўлчаш асбобларидаги тескари таъсир кўрсатувчи момент кўпинча пружиналар, тортқилар ёрдамида ҳосил қилинади.



6.3- расм.

Қўзғалувчан қисмнинг сурилиши мувозанат ҳолатда бўлиши моментларнинг тенглиги  $M_{\text{айл}} = M_{\text{тес}}$  билан ифодаланади.

Асосий электромеханик ўлчаш механизмларига магнитоэлектрик, электромагнит, электродинамик ва индукцион механизмлар киради.

**Магнитоэлектрик механизм.** Қўзғалувчан рамкали магнитоэлектрик ўлчаш механизмлари ташқи ва рамка ичидаги магнитли кўринишларда бажарилади. Иккинчи хилдагиси асбобларнинг 80% дан кўпроғига ўрнатилади.

Ички рамали магнитли механизмларда (6.3-расм) ўзак ва зифасини ўзгармас магнит 1 бажаради. Уни юмшоқ пўлатдан ясалган ҳалқасимон магнит ўтказгич 3 ўраб туради. Ҳаво оралиғида (зазорида) бир текис радиал магнит майдони ҳосил қилиш учун юмшоқ пўлатдан ясалган қутб учликлар 2 хизмат қилади.

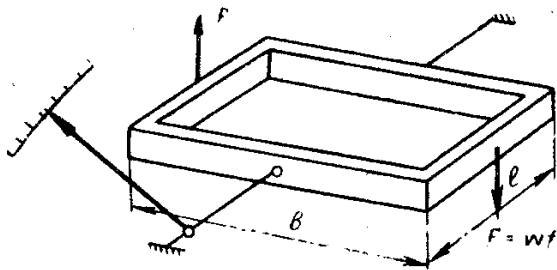
Қўзғалувчан ғалтак 4 тортқи ёки таянчларга ўрнатилган бўлиб, ўзакка нисбатан  $90^\circ$  га бурилиши мумкин. Ғалтак енгил алюмин каркасга ўралган ёки каркассиз изоляцияланган симдан иборат. Тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилувчи ва қўзғалувчи ғалтакка ток ўтказувчи тортқилар (пружина ёки осмалар) чулғам учларига уланган.

Магнитоэлектрик механизмнинг ишлаш принципи ўзгармас магнит майдони билан токли ўтказгичларнинг ўзаро таъсирига асосланган. Айлантирувчи момент  $M_{\text{айл}}$  электромагнит кучлар қонуни асосида аниқланади. Бунда ҳар бир ўтказгичга таъсир этаётган куч

$$f = B \cdot I \cdot l,$$

бу ерда  $l$  — ўтказгичнинг актив узунлиги.

Ғалтакнинг  $W$  ўрама иккита актив томонга эга. Елкага қўйилган кучлар ғалтак кенглиги  $b$  нинг ярмига тенг (6.4-расм). Демак, айлантирувчи момент:



6.4- расм.

$$M_{\text{айл}} = 2 \cdot f \cdot W \cdot \frac{b}{2} = \\ = B \cdot l \cdot W \cdot l \cdot b.$$

Агар  $lb = S$  ғалтак юзаси бўлса, у ҳолда  $M_{\text{айл}} = W \cdot B \cdot l \cdot S = c_1 \cdot l$ . Тескари таъсир кўрсатувчи момент  $M_{\text{тес}}$  тортқиларнинг ёки спирал пружиналарнинг буралишидан ҳосил бўлади ва уларнинг бура-

лиш бурчагига пропорционалдир:

$$M_{\text{тес}} = c_2 \cdot \alpha,$$

бунда  $c_2$  — пружинанинг бикрлик коэффициенти.

Моментлар тенглашганда  $M_{\text{айл}} = M_{\text{тес}}$  ёки  $c_1 l = c_2 \alpha$  стрелка сурилишдан тўхтайди. Тортқи ёки спирал пружиналарнинг буралиш бурчаги бир вақтда асбоб стрелкасининг сурилиш бурчаги ҳамдир. Демак, стрелканинг сурилиш бурчаги:

$$\alpha = \frac{c_1}{c_2} l = c l.$$

Қўзғалувчан қисмнинг бурилиш бурчаги ўлчанаётган токка тўғри пропорционалдир. Шунинг учун магнитоэлектрик асбобларнинг шкаласи текисдир, бу эса асбобнинг афзаллиги ҳисобланади.

Асбоб чулғами енгил алюмин каркасга ўралган бўлиб, қисқа туташган ўрамдан иборат. Каркас (ёки асбобнинг каркасиз чулғами) ўзгармас магнит ( $N - S$ ) нинг магнит майдонида бурилганда (ҳаракатланганда) унда уярма ток индукцияланиб, унинг йўналиши Ленц принципига асосан каркас (чулғам) бурилишига тескари таъсир кўрсатади. Бундай уярма тоқлар магнит оқими билан ўзаро таъсирлашиб, тинчлантирувчи моментни ҳосил қилади ва чулғамли каркасининг (чулғамнинг) тезда тинчланишини таъминлайди (магнит индукционли тинчлантиргич).

Магнитоэлектрик асбобларда, асосан, каркасли тинчлантиргичлар қўлланилади. Каркасиз ишлаб чиқарилаётган микроамперметрлардаги тинчлантиргич чулғамлидир.

Қўзғалувчан ғалтак 150 — 200 мА токка мўлжаллаб тайёрланади, чунки ток қийматининг юқори бўлиши тескари таъсир кўрсатувчи моментни ҳосил қилувчи ва ғалтакка ток узатувчи тортқилар ёки спирал пружиналарнинг қизишини оширади.

Магнитоэлектрик системага тааллуқли асбоблар шкалаларининг бир текислиги юқори аниқлик синфидаги ўлчаш чегараси кенг бўлган асбоблар тайёрлаш имконини беради. Масалан, М-1150 турдаги магнитоэлектрик амперметр 0,1 аниқлик синфи-

да 0,75 мА дан 15 А гача бўлган 14 та ўлчаш чегарасига эгадир.

Шкаласи нотекис бўлган бошқа системадаги асбобларни кўп ўлчаш чегарали, аниқлик синфи юқори қилиб тайёрлаш қийиндир. Айлантирувчи момент йўналиши ғалтакдаги ток йўналишига боғлиқдир. Асбобни ўзгарувчан ток занжирига уланганда ғалтак тез ўзгарадиган механик импульсларни сезади ва стрелка ноль атрофида тебраниб туради. Магнитоэлектрик асбоблар фақат ўзгармас ток занжирларида қўлланилади. Стрелканинг керакли томонга бурилишини таъминлаш учун асбобни улашда қутблиликка амал қилиш керак.

Магнитоэлектрик системага тааллуқли асбобларнинг афзалликлари қуйидагилардан иборат: 1) аниқлик синфининг юқорилиги; 2) ташқи магнит майдонлар тавсифини кам сезиши (чунки улар ўзининг кучли магнит майдонига эга); 3) шкаласининг текислиги; 4) ўзи истеъмол қилувчи қувватнинг анча кичик бўлиши (сезгирлигининг юқорилиги).

Унинг камчиликларига ортиқча юкланишга сезгирлиги, механизмларининг нисбатан қimmatли туришини келтириш мумкин.

Магнитоэлектрик ўлчаш механизмларидан юқори сезгир асбоблар (амперметр, вольтметр ва гальванометрлар) тайёрлашда фойдаланилиб, асосан ноль индикаторлар (ноль асбоблар), яъни занжирда токнинг йўқлигини қайдлагичлар (фиксаторлар) сифатида ишлатилади.

Магнитоэлектрик амперметрлар ва вольтметрларнинг ўлчаш механизмлари, умуман олганда, бир-биридан фарқ қилмайди. Фарқи фақат ўлчаш занжиридадир. Кучланишни ўлчаш — бу кучланишга пропорционал бўлган токни ўлчашдир, яъни

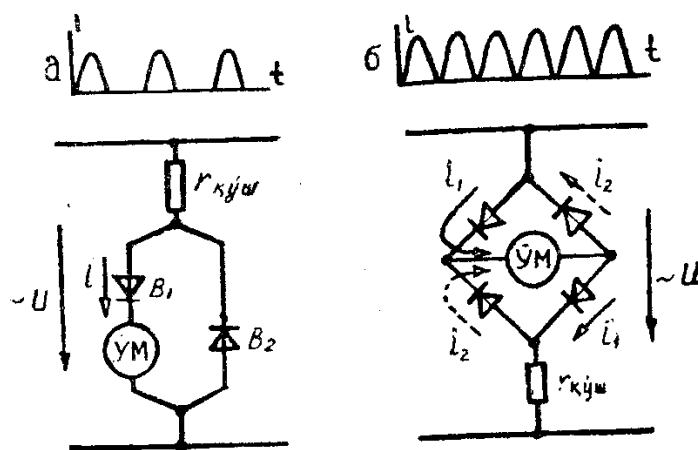
$$I_b = \frac{U}{r_b}$$

$r_b = \text{const}$  бўлганда  $I_b = U$  ва бундай амперметрнинг шкаласи вольтларда даражаланган бўлади.

Амперметрлар занжирга кетма-кет уланиб, уларнинг ички қаршиликлари (параллел уланган шунт билан бирга) нолга яқин бўлади. Вольтметрлар занжирга параллел уланиб, ички қаршилиги бир неча юз ва минг Омни ташкил этади (ўрамлар сони кўп бўлган ингичка сим). Бундан ташқари, ўлчаш механизми билан кетма-кет қилиб қўшимча қаршилик уланади. Вольтметрлар қаршиликларининг йиғиндиси бир неча ўн минг Омни ташкил этади.

Асбобсозликда аниқлиги юқори (аниқлик синфи 0,1) бўлган асбоблар кўплаб ишлаб чиқарилади. Чунончи, ўлчаш чегаралари 750 мкА гача, 45 мV гача бўлган М 1150 А, М 1151 мV, М1152 V асбоблар, М95 микроамперметрлар ва М1201 вольтметрлар шулар жумласидандир.

Рамка ичига жойлаштирилган магнитлардан фойдаланилганда ўлчаш механизмларининг габаритлари кичикроқ бўлишига эришилади. Масалан, М726 асбоблари (микроамперметр-



6.5- расм.

лар, миллиамперметрлар ва вольтметрлар) нинг габаритлари  $20 \times 24$  мм ни ташкил этади.

Тортқилардан фойдаланиш (ўқлар ва подшипниклар ўрнига) асбобларнинг сезгирлигини оширади ва тебранишга берилувчанлигини камайтиради.

Магнитоэлектрик асбобларнинг юқори сезгирлигидан фойдаланиб, ўзгарувчан тоқларни ўлчашда улар ярим ўтказгичли диодлардан йиғилган битта ва иккита ярим даврли ўзгарувчан ток тўғрилагичли схемалар орқали уланади (6.5-расм).

Тўғрилагич магнитоэлектрик ўлчаш механизми (ЎМ) ўлчайдиган ўзгарувчан токни пульсланувчи ўзгармас токка айлантиради. Асбоб қўзғалувчан қисмининг инерция кучи бундай пульсацияларга улгурмайди, унинг буралиши айлантирувчи моментнинг бир даврдаги ўртача қиймати билан аниқланади. Чунки айлантирувчи момент токка пропорционалдир, у ҳолда мазкур момент токнинг уртача қиймати  $I_{ўр}$  га пропорционал бўлади. Иккита ярим даврли тўғрилашда айлантирувчи момент қуйидагича топилади:

$$M_{айл} = W \cdot S \cdot B \cdot I_{ўр}.$$

Битта ярим даврли тўғрилагичда бу момент икки марта кичик бўлади. Одатда, тўғрилагичли асбобларнинг шкаллари таъсир этувчи қийматларни кўрсатадиган қилиб даражаланган бўлади.

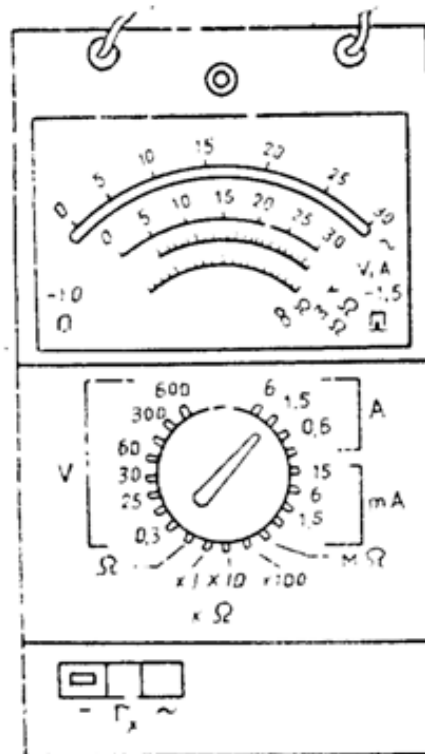
Синусоидага мувофиқ, эгри чизиқ формалари коэффициенти

$$K_{\phi} = \frac{I}{I_{ўр}} = 1,11,$$

шунинг учун тўғрилагич асбоби шкаласи 1,11 га кўпайтирилган ( $I = 1,11 \cdot I_{ўр}$ ) бўлади. Масалан, синусоидал кучланишнинг ўртача қиймати 108 В бўлганда асбоб 120 В кучланишни кўрсатади ( $108 \cdot 1,11 = 120$ ).

Тўғрилагичли асбоблар косинус-оидал катталикларни ўлчаш учун номақбулдир, чунки бунда қўшимча ўлчаш хатоликлари вужудга келади. Диодлар параметрларининг ўзгариб туриши (беқарорлиги) тўфайли вужудга келадиган хатоликлар сабабли, бундай асбобларнинг аниқлик синфи 1,5 дан ошмайди.

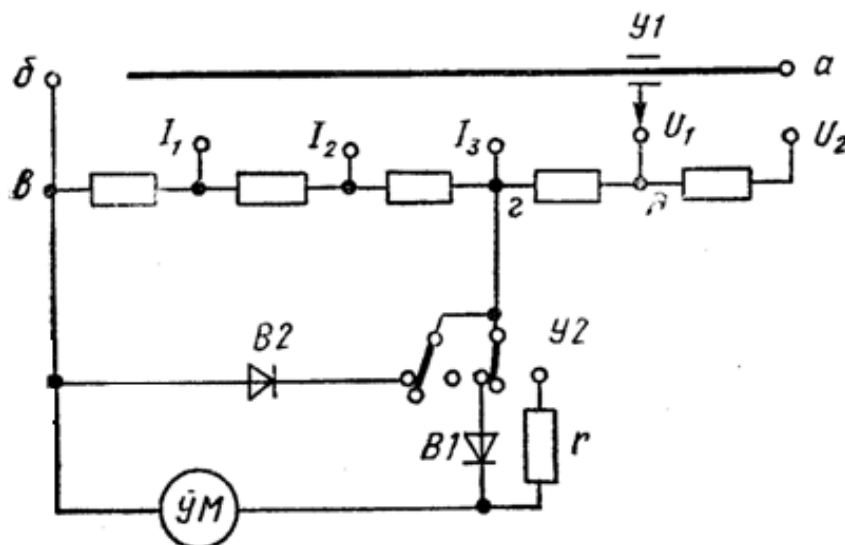
Тўғрилагич асбоблар магнито-электрик системанинг бир қатор афзалликларини (сезгирлигининг юқорилиги, ўзида кам қувват сарфлаши) сақлаб қолади. Улар кўн ўлчаш чегарали универсал асбоблар (тестерлар) сифатида қўлланилади, чунки шунтлар ва қўшимча қаршиликларни қайта улаш йўли билан уларнинг ўлчаш чегараларини ўзгартириш мумкин (6.6-расм). Ўлчашда ишлатиладиган ярим ўтказгич венти́лларнинг ўлчамлари етарли даражада кичик бўлиб, улар тўғрилагич асбоб корпуси ичига бемалол жойлашади.



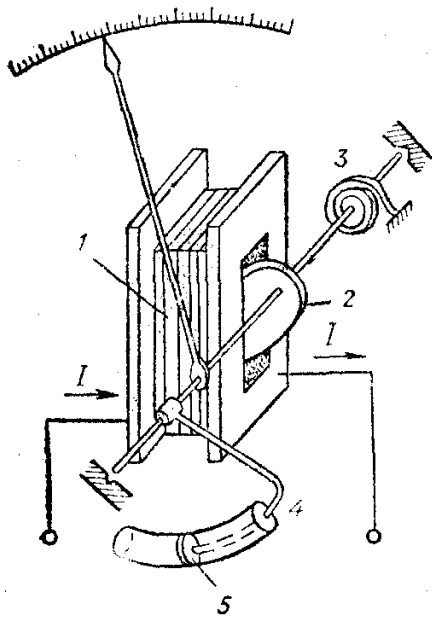
6.6- расм.

Кўп ўлчаш чегарали универсал вольт-амперметрнинг битта ярим даврли тўғрилагич схемаси 6.7-расмда кўрсатилган. Бунда В1 ва В2 мос равишда тўғри ва тескари диодлар.

Қайта улагич У1 ток ёки кучланишнинг керакли ўлчаш чегарасини танлаш имкониятини беради. Қайта улагич У2 асбобни ўзгармас ёки ўзгарувчан токка қайта улаш учун ишлатилади (6.7-расмда ўзгарувчан ток учун кўрсатилган). Ўлча-



6.7- расм.



6.8- расм.

наётган кучланиш  $a$  ва  $b$  қисмаларга берилганда ток қўшимча қаршилик 2- $g$  орқали ўтади. Бу ток универсал шунт  $b-2$  ва  $V1$  диод орқали ўлчаш механизми (ЎМ) орасида тақсимланади. Диод  $V2$  диод  $V1$  ни ҳавфли тескари ярим тўлқин кучланишидан сақлайди.

Ўзгармас токдаги ўлчашларда  $V1$  диоднинг тўғри қаршилиги қаршилик билан алмаштирилади.

**Электромагнит механизм.** Электромагнит системасидаги асбобларнинг ишлаш принципи ўлчанаётган токни ғалтак 1 га пўлат ўзак 2 нинг тортилишига асосланган (6.8-расм). Бундай қурилмада электромагнит кучлар шундай йўналган бўлиши керакки, бунда ўзакнинг ҳолатини ўзгартириш учун механизмдаги магнит оқим энг

кўп бўлсин. Қўзғалувчан ўзак 2 япроқча кўринишида бўлиб, эксцентрик ҳолда ўққа маҳкамланган бўлади. Шу ўққа стрелкага тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қиладиган спирал пружина 3 ва тинчлантисгич 4 нинг поршени 5 маҳкамланган бўлади (6.8-расм). Ўлчанаётган ток 1 қўзғалмас ғалтак орқали ўтиб, магнит майдони ҳосил қилади. Ўзак 2 магнитланиб, ғалтакнинг тешигига тортилади ва у маҳкамланган ўқни буради. Ўз навбатида, ўққа маҳкамланган асбоб стрелкаси  $\alpha$  бурчакка бурилади.

Асбобнинг қўзғалувчан қисмига таъсир этаётган айлантйрувчи момент умумий ҳолда, магнит майдон энергияси ўзгаришининг бурилиш бурчак бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиласи орқали аниқланиши мумкин:

$$M_{\text{айл}} = \frac{dW_M}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \left( \frac{Li^2}{2} \right) = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{d\alpha},$$

бунда  $L$ —ғалтакнинг ўзак ҳолатига боғлиқ бўлган индуктивлиги;  $i$ —ўлчанаётган ток.

Айлантирувчи момент ғалтакдаги токнинг квадратига пропорционал деб қабул қилинади:

$$M_{\text{айл}} = c_1 i^2.$$

Айлантирувчи момент  $M_{\text{айл}}$  ни мувозанатловчи тескари таъсир кўрсатувчи момент спирал пружина 3 ёрдамида ҳосил қилиниб, асбоб стрелкасининг бурилиш бурчагига, яъни спиралнинг буралиш бурчагига пропорционалдир:

$$M_{\text{тес}} = c_2 \alpha.$$

Стрелка бурилишининг барқарорлашуви  $M_{\text{айл}} = M_{\text{тес}}$  ёки  $c_1 I^2 = c_2 \alpha$  га мос келади. Бундан

$$\alpha = \frac{c_1}{c_2} I^2 = c I^2.$$

Стрелканинг бурилиш бурчаги токнинг квадратига пропорционал бўлганлиги учун бу асбобларнинг шкаласи нотекис бўлади.

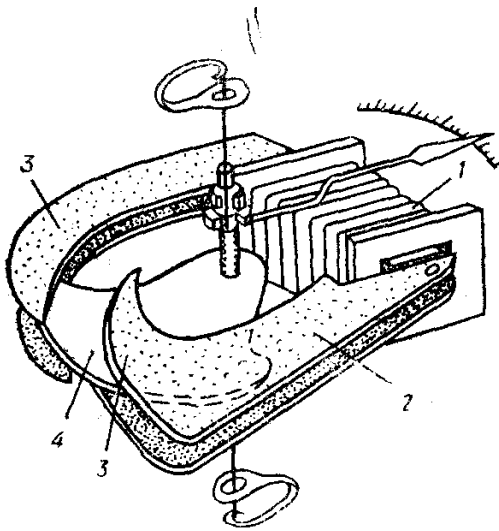
$\alpha = c I^2$  ифодадан кўринадики, қўзғалувчан қисм бурилиш бурчагининг ишораси ток йўналишига боғлиқ эмасдир. Электромагнит асбоблардан ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида фойдаланиш мумкин. Улар ўзгарувчан ток занжирида токнинг таъсир этувчи қийматини ўлчайди.

Асбобнинг қўзғалувчан қисми тинчланиши учун одатда ҳаволи тинчлантиргич қўлланилади. У эгилган цилиндр 4 дан иборат. Асбобнинг ўқи цилиндр ичида поршень 5 штоги билан боғланган. Цилиндр иккала қисмидаги босимлар фарқи натижасида қўзғалувчан қисмнинг ҳаракати секинлашади.

Шкаласининг нотекислиги электромагнит механизмли асбобларнинг камчилиги ҳисобланади. Асбоб шкаласининг нотекислигини камайтириш учун айлантирувчи момент ток кучига пропорционал бўлиши керак. Электромагнит механизм учун бу шартга  $I \frac{dL}{da} = \text{const}$  бўлганда эришилади. Ўзакнинг шаклини танлаш ва уни ғалтакка нисбатан жойлаштириш йўли билан асбобнинг шкаласини деярли текис қилишга эришилади. Шкаланинг бошланғич қисми учун  $I \frac{dL}{da} = \text{const}$  шартни амалга ошириб бўлмайди, чунки  $I \rightarrow 0$  да  $\frac{dL}{da} \rightarrow \infty$  бажарилмайди. Шунинг учун шкаланинг 10÷20% қисми сиқик бўлиб, қолган қисми анча текисдир.

Ташқи магнит майдоннинг таъсири ҳам мазкур асбобларнинг камчилиги ҳисобланади, чунки ғалтакнинг магнит майдони ҳавода тугашганлиги учун озроқ индукция билан характерланади. Ташқи магнит майдони таъсирида вужудга келган хатоликларни камайтириш учун электромагнит механизмли асбоблар пўлат ғилоф билан ниқобланган бўлади.

Электромагнит механизмли асбобларнинг янги конструкцияларида магнит-ўтказгичли механизмлар (6 9- расм) қўлланилади. Бундай механизмларда ташқи магнит майдон таъсири анча сусайган бўлади. Бундай асбобларнинг ўзи истеъмол қиладиган қувват аввалги конструкциядаги асбоблардан 3—4 марта кам бўлиб, сезгирлиги нисбатан юқоридир. Ғалтак 1 иккита қутб учликлари 3 бўлган магнит ўтказгич 2 га жойлаштирилган. Ғалтак чулғамидан ток ўтганда сектор шаклдаги қўзғалувчи ўзак 4 ўқ (тортқи) атрафида бурилиб, магнит системанинг максимум энергиясига мос келувчи ҳолатни эгаллайди. Тортқиларга ўрнатилган қўзғалувчан қисмнинг бурилиши те-



6.9- расм.

кари таъсир кўрсатувчи моментни ҳосил қилади. Демпфер сифатида суюқликли тинчлантиргичдан фойдаланилади. Суюқликли тинчлантиргичларнинг қўлланиши механизм ўлчамларини анча кичрайтиради. Бу уларнинг бошқа системадаги ўлчаш асбобларидан афзаллигидир.

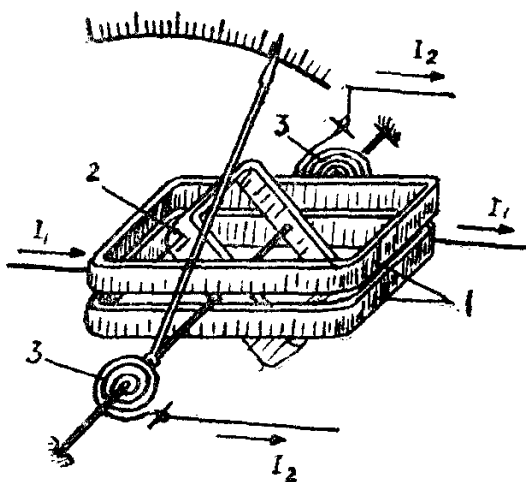
Электромагнит механизми асбоблар ўзининг тузилишига кўра оддий, нисбатан арзон, ўта юкланишга ғоят чидамлидир. Чунки ўлчаш механизмининг ғалтаги қўзғалмас бўл-

ганлигидан, у катта токка (500 А гача) мўлжалланган бўлиши мумкин.

Асбобсозликда ўлчаш токи 10 мА гача бўлган кўчма Э59; 1,5 мА гача бўлган шчитли Э378 миллиамперметрлар; 500 А гача бўлган Э59/102 ва Э59/103 амперметрлар; 600 В гача бўлган Э59/106 вольтметрлар; тор профили Э390 амперметрлар ва Э391 вольтметрлар ишлаб чиқарилади.

**Электродинамик механизмлар.** Электродинамик механизми асбобларнинг ишлаши токли ўтказгичларнинг ўзаро таъсир принципи (токлари қарама-қарши йўналган, иккита ўтказгич бир-биридан итарилиши, токлари бир хил йўналишда бўлса, бир-бирига тортилиши)га асосланади. Бундай ўзаро таъсирни ғалтаклардан биридаги токнинг бошқа ғалтакда ҳосил бўлган токнинг магнит майдон билан ўзаро таъсири, деб хулоса чиқариш мумкин.

Электродинамик механизми асбоблар иккита: икки секцияли қўзғалмас 1 ва қўзғалувчан 2 ғалтакдан иборат.



6.10- расм.

Қўзғалувчан ғалтакка ток  $I_2$  иккита спирал пружина 3 орқали берилади. Бу ток тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилиш учун ҳам хизмат қилади. Ўққа стрелка ва ҳаволи тинчлантиргич ҳам маҳкамланган бўлади (6.10-расм). Айлантирувчи момент ғалтаклардаги тоklarнинг кўпайтмасига тўғри пропорционалдир. Бундан ташқари, у қўзғалувчан ғалтак бурилиши би-



лан ғалтакларнинг нисбатан ўзгариш ҳолатига боғлиқдир. Айлантирувчи момент қўзғалувчан ғалтак сурилганда ўзаро индуктивликнинг ўзгаришига пропорционал ҳолда ифодаланади, яъни

$$M_{\text{айя}} = I_1 \cdot I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

Тормозловчи момент  $M_{\text{торм}} = K \cdot \alpha$  пружинанинг буралиш бурчаги  $\alpha$  га пропорционалдир. Бу бурчак асбоб стрелкасининг бурилиш бурчагидир. Стрелка бурилишининг барқарорлашуви  $M_{\text{тес}} = M_{\text{торм}}$  га мос келади. Бундан

$$\alpha = \frac{1}{K} I_1 \cdot I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

Ўзгарувчан токда бундай боғланиш қуйидаги кўринишни олади:

$$\alpha = \frac{1}{K} I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}) \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

Юқоридаги ифодадан кўринадики,  $I_1$  ва  $I_2$  тоқлар йўналишларининг бир вақтда ўзгариши билан бурилиш бурчаги  $\alpha$  нинг ишораси ўзгармайди. Шу сабабли ҳам электродинамик механизмли асбоблар ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида қўлланиши мумкин.

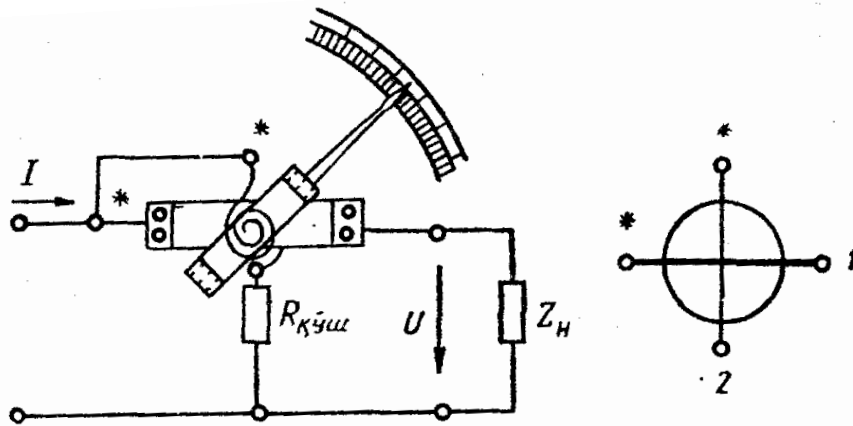
Ғалтакларнинг шаклини, уларнинг ўзаро жойлашишини ўзгартириш орқали бурчакнинг кичик ўзгаришида  $\frac{dM_{12}}{d\alpha}$  га таъсир кўрсатиш, яъни  $\frac{dM_{12}}{d\alpha} = \text{const}$  бўлишига эришиш мумкин. Бунда шкаланинг бирмунча текис бўлишига эришилади.

Ўлчаш механизмлари тайёрлашда пўлатдан фойдаланмаслик 0,5; 0,2; 0,1 каби юқори аниқлик синфидаги асбобларни ясаш имкониятини беради.

Ғалтакларнинг магнит оқимлари ҳаво орқали туташганлиги учун кучсиздир. Электродинамик механизмли асбобларнинг ташқи магнит майдон таъсирига берилиши уларнинг камчилиги ҳисобланади. Электродинамик механизмларни ташқи магнит майдон таъсиридан ҳимоялаш учун улар пермаллой билан икки қават қилиб ниқобланади.

Электродинамик механизмли асбоблар, асосан, кўчма лаборатория асбоблари ҳисобланиб, амперметрлар ва вольтметрлар сифатида ишлатилади. Ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида қувватларни ўлчаш учун электродинамик ваттметрлар кенг қўлланилади.

Ваттметрнинг қўзғалмас ғалтаги  $I$  ток ғалтаги деб аталиб, нағрузка занжирига кетма-кет уланади (6.11-расм). Шундай қилиб, ток  $I_1$  назорат қилиб турилган қурилманинг токи  $I$  га тенг. Қўзғалувчан ғалтак 2 қўшимча резистор  $R_k$  билан бир-



6.11- расм.

галикда параллел занжирни ёки кучланиш занжирини ташкил қилади. Бундай ғалтакдаги ток

$$I_2 = \frac{U_{\text{нагр}}}{r_v + R_k} \equiv U_{\text{нагр}}$$

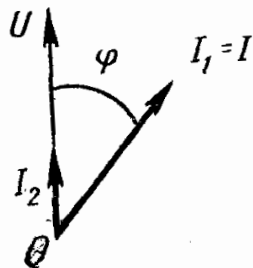
Айланувчи момент ва стрелканинг бурилиш бурчаги  $\alpha$ , аввал кўрганимиздек,

$$M_{\text{айл}} = I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}) \frac{dM}{d\alpha} \text{ ва } \alpha = \frac{1}{K} I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}) \frac{dM}{d\alpha}.$$

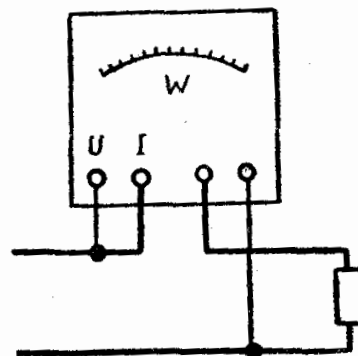
Параллел занжир ўзгармас ва реактивсиз қаршиликлан иборат бўлса, бундай ғалтакдаги ток ( $I_2 = \frac{U_{\text{нагр}}}{\text{const}}$ ) кучланиш билан бир хил фазада бўлади. Актив-индуктив нагруканинг вектор диаграммаси 6.12-расмда кўрсатилгандек бўлади. Бундай ҳолда бурчак  $(\widehat{I_1 I_2})$  ток  $I$  ва кучланиш  $U$  орасидаги фаза силжиш бурчагига тенг бўлади.

$$\frac{dM}{d\alpha} = \text{const}$$

деб қабул қилсак.  $M_{\text{айл}} = KUI \cos \varphi = K_1 \cdot P$  ни ҳосил қиламиз,



6.12- расм.



6.13- расм.

яъни айланувчи момент актив қувватга пропорционалдир ва  $\alpha = \frac{K_1}{K} U I \cos \varphi = \frac{K_1}{K} P$  бўлади.

Электродинамик ваттметр „қутбли“ асбоб ҳисобланади, чунки чулғамларнинг бирортасидаги ток йўналиши ўзгарганда стрелка тескари томонга бурилади. Ваттметрни тўғри улашни таъминлаш учун чулғамнинг иккала „учлари“ схемада юлдузча (\*) ёки нуқта (·) билан белгиланади. Юлдузча билан белгиланган иккала занжирнинг қисқичлари *генератор (бошланғич) қисқичлар* деб аталади.

Мамлакатимизда ишлаб чиқарилган ваттметрларнинг чулғам клеммалари кучланиш чулғамига, ўртадагилари ток чулғамига тегишли. Генератор қисмалари  $U$  ва  $I$  ҳарфлари билан белгиланган.

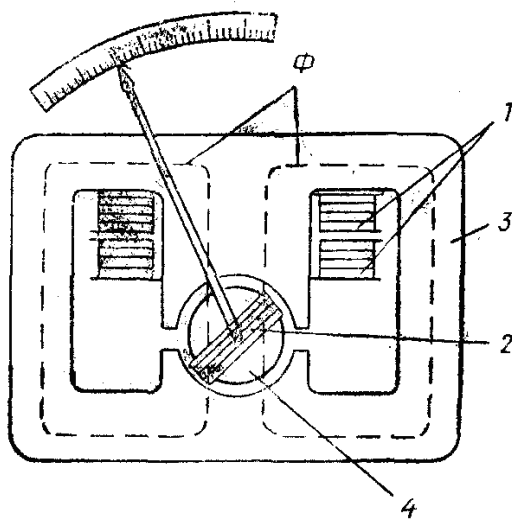
Электродинамик ваттметрлар ток ва кучланиш бўйича, одатда, бир нечта ўлчаш чегараларидан иборат (масалан, ток бўйича иккита чегара — 5А ва 10А, кучланиш бўйича учта чегара — 30,150 ва 300 В). Бундай асбоблар шартли шкалалари бўлиб, ваттметрда ўлчанган катталиқнинг ҳақиқий қийматини топиш учун стрелка кўрсатаётган бўлаклар сони асбобнинг доимийлиги  $c$  (ҳар бир бўлакка мос келган қувват) га кўпайтирилади.  $U$  қуйидаги формула билан аниқланади:

$$c = \frac{U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ном}}}{N},$$

бунда  $N$ —асбоб шкаласининг бўлаклар сони ( $c = \frac{150 \cdot 5}{100} = 7,5$  Вт/бўлак, агар стрелка 10 бўлакка тенг бўлган бурчакка бурилса, ваттметр ўлчаётган қувват  $P = 7,5 \cdot 10 = 75$  Вт бўлади).

Уч фазали занжирлардаги қувватни ўлчаш учун уч фазали, икки ва уч элементли ваттметрлардан фойдаланилади.

**Ферродинамик механизмлар.** Электродинамик механизмлари асбобларининг ташқи магнит майдон таъсирига берилишини ва айлантирувчи моментининг нисбатан кичик бўлишини механизмда электротехник пўлат пластинкалардан ёки пермаллойдан иборат ферромагнитли магнит ўтказгични қўллаш билан бартараф қилиш мумкин. Шундай магнит ўтказгичли электродинамик асбоблар *ферродинамик асбоблар* деб аталади. Уларнинг ишлаш принципи электродинамик асбобларникига ўхшашдир. Қўзғалмас ғалтак 1 магнит ўтказгич 3 ичига жойлаштирилади, қўзғалувчан каркассиз ғалтак 2



6.14- расм.

эса пўлат 4 дан иборат қўзғалмас цилиндр билан ўраб олинган бўлади (6.14-расм). Пўлат магнит ўтказгич ўлчаш механизмининг магнит майдонини кучайтиради, нағижада асбобнинг айлантурувчи моменти бирмунча ошади. Ўзида кучли магнит майдонининг бўлиши ташқи магнит майдонлар таъсирини камайтиради.

Ферродинамик механизмли асбоблар ўзи ёзар асбобларда ҳамда тебраниш, силкиниш ва зарбли силкиниш шароитларида ишлатиш учун мўлжалланган асбобларда қўлланилади. Ўзи ёзар (қайд қилиш) асбобларда стрелка ҳаракатланаётган қоғоз лентасида ўзининг кўрсатишларини (маълумотларини) қайд қилиш учун сиёҳли перо билан таъминланган бўлади.

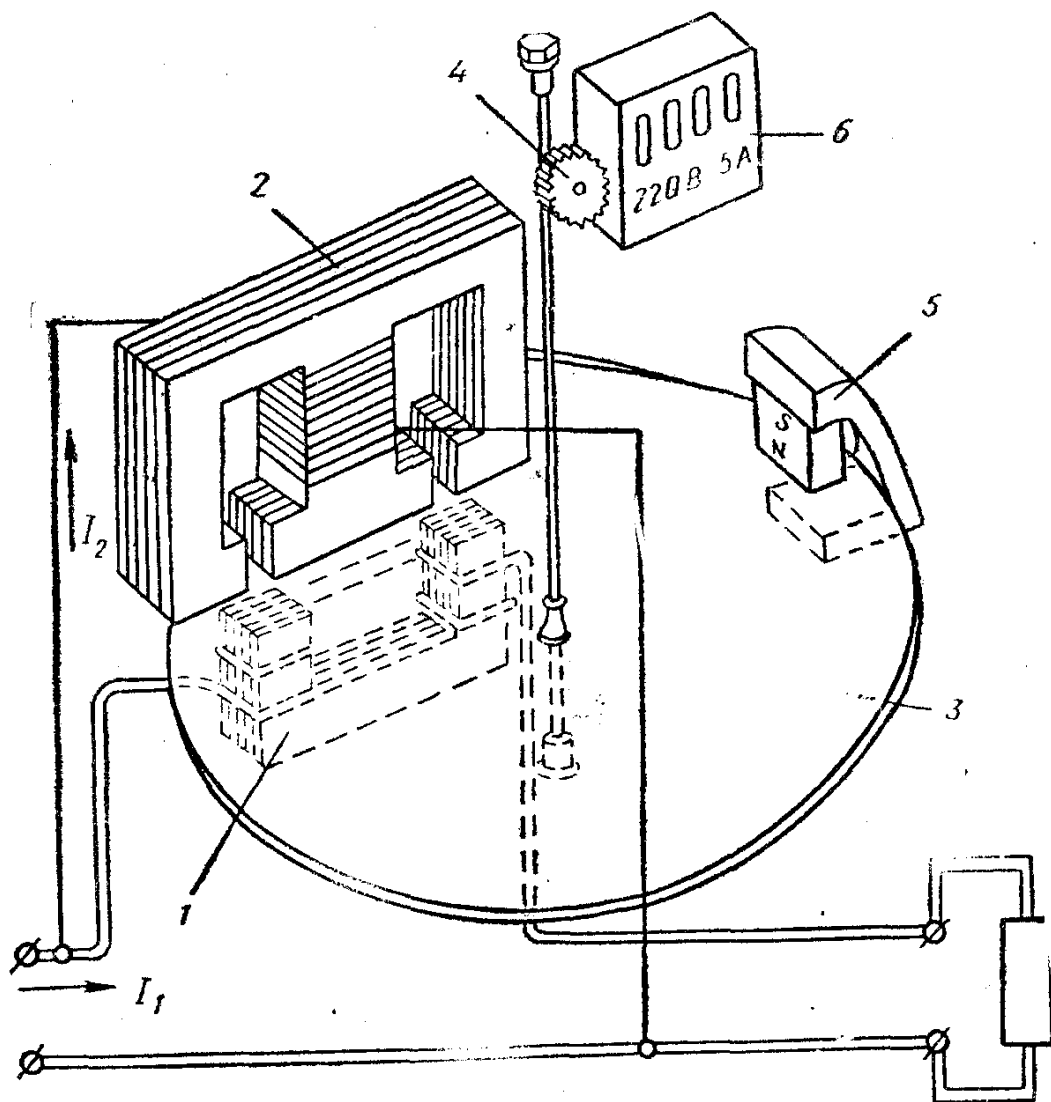
Улаш механизмида чизиқли бўлмаган элемент (пўлат магнит ўтказгич) нинг бўлиши, гистерезис, уюрма токлар ва пўлатнинг магнитланиш эгри чизиғи чизиқли бўлмаслиги сабабли асбобнинг аниқлик даражаси пасаяди. Ферродинамик механизмли асбобларнинг аниқлик синфлари 1,5; 2,5 бўлади.

**Индукцион механизмлар.** Индукцион механизмли асбобларда айлантурувчи момент қўзғалмас контурлар ҳосил қилган ўзгарувчан магнит оқимлари ва асбобнинг қўзғалувчан қисмида шу оқимлар индуктивлаган уюрма токларнинг ўзаро таъсири натижасида вужудга келади. Бундай асбобларнинг ишлаш принциpidан кўриналики, улар фақат ўзгарувчан ток занжирларида қўлланиши мумкин.

Ҳозирги вақтда индукцион ўлчаш механизмлари фақат электр энергияси счётчикларида қўлланилади.

Электр энергияси бир фазали счётчигининг  $CO=1$  тури кенг тарқалган (6.15-расм).  $U$ -симон 1 ва  $T$ -симон 2 қўзғалмас электромагнитларнинг ўзгарувчан оқимлари ўққа ўрнатилган алюминийли енгил диск 3 ни кесиб ўтади. Ўзгарувчан оқимлар индукциялаган токлар (уюрма токлар) билан электромагнит оқимлари ўзаро таъсирлашиб, айлантурувчи моментни ҳосил қилади. Бу момент дискқа таъсир қилади ва уни айлантиради.

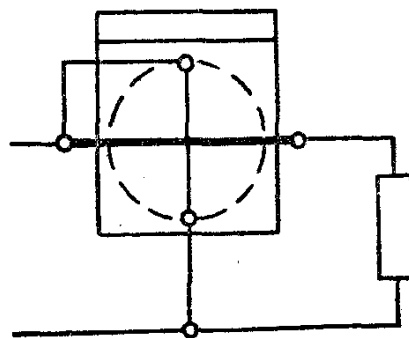
Электр энергияси счётчиги йиғувчи (жамловчи) асбоб бўлиб, кўрсатувчи қисми пружина билан чекланмагандир. У бирор вақт давомида (бир соатда, бир суткада, бир ойла ва ҳ. к.) сарфланган электр энергиясини ҳисобга олади. Пастки электромагнит 1 нинг чулғами счётчикнинг номинал токига мос келадиган, кўндаланг кесими нисбатан йўғон симдан ўралган (ясалган) бўлиб, ток чулғами деб аталади. У занжирга амперметр каби кетма-кет уланади. Электромагнит 2 нинг чулғами эса ингичка симдан 8—12 минг ўрам қилиб ўралади ва вольтметр каби тармоққа параллел уланади. Счётчик тармоққа ваттметр каби уланади (6.16-расм). Ток чулғамидаги  $I_1$  ток магнит оқими  $\Phi_1$  ни ҳосил қилади ва у диск 3 ни икки марта кесиб ўтади. Ток  $I_2$  кучланишга пропорционал ҳолда  $\Phi_u$  оқимни ҳосил қилиб, дискни бир марта кесиб ўтади ( $\Phi_u$  магнит



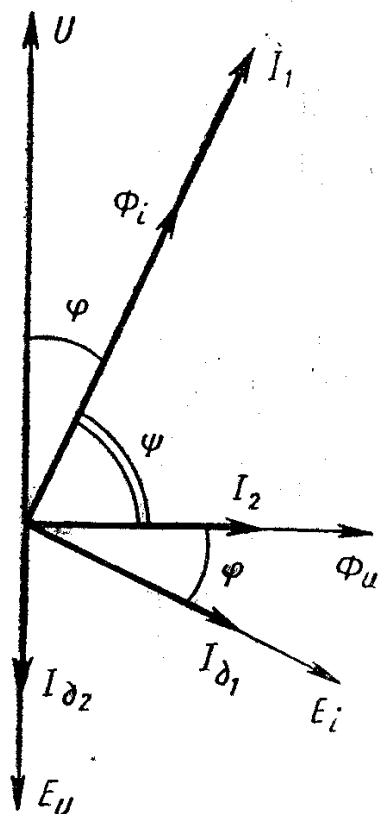
6.15- расм.

ўтказгичнинг пўлат ҳалқаси 2 бўйича туташган бўлиб, расмда кўрсатилмаган).

Иш токи  $I$  га тенг бўлган  $I_1$  ток ва кучланиш  $U$  нагруканинг характери билан аниқланиб, фаза бўйича бир-биридан  $\varphi$  бурчакка фарқ қилади. Кучланиш ғалтаги индуктивлигининг катта бўлиши, ўрамлар сонининг кўплиги сабабли ток  $I_2$  кучланиш  $U$  дан  $90^\circ$  га яқин бурчакка кечикади (бунда  $\Phi_u$  оқим бир қисмининг шунтланиши ёрдам беради). Агар асбобдаги электромагнитлар тўйинмаган режимда ишлаётганлигини ҳисобга олсак (яъни  $\Phi_u \equiv -I_2 \equiv U$  ва  $\Phi_i \equiv I_1$ ) ва исрофлар бурчагини ҳисобга олмасак, қуйидаги вектор диаграммани ҳосил қиламиз (6.17-расм).



6.16- расм.



6.17- расм.

Ўзгарувчан оқимлар  $\Phi_i$  ва  $\Phi_u$  дискда шу оқимлардан  $90^\circ$  кечикувчи  $E_1$  ва  $E_2$  ЭЮК ларни индукциялайди. Бу ЭЮК лар дискда  $I_{g1}$  ва  $I_{g2}$  уярма тоқларни ҳосил қилади ва улар билан бир хил фазада бўлади (дискнинг индуктивлигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади). Оқимларнинг „бегона“ тоқлар билан ўзаро таъсири натижавий айлантурувчи моментни беради. Мазкур моментнинг бир даврдаги ўртача қиймати:

$$M_{\text{айл}} = K_1 \Phi_i \cdot I_{g2} \cos(\Phi_i I_{g2}) + K_2 \Phi_u I_{g1} \cos(-\varphi \Phi_u I_{g1}) = K' \Phi_i \Phi_u \cos(90^\circ + \psi) + K'' \Phi_i \Phi_u \cos(90^\circ - \varphi) = K \Phi_i \Phi_u \sin \psi.$$

Ушбу ифодада  $\sin \psi = \sin(90^\circ - \varphi) \iff \iff \cos \varphi$ .

Шундай қилиб, айлантурувчи момент

$$M_{\text{айл}} = I_1 U \cos \varphi = K_M P,$$

яъни у нағрузка истеъмол қилаётган актив қувватга пропорционалдир

Счётчик дискнинг айланишлар сонини сарфланаётган энергияга пропорционал қилиш учун дискнинг айланиш тезлигига пропорционал бўлган тормозловчи момент бўлиши керак. Бу моментни ўзгармас магнит  $\mathcal{B}$  (6.17- расм) ҳосил қилади. Диск айланда унинг  $\Phi_m$  майдони (магнит оқими) дискда ўзининг уярма тоқларини индукциялайди. Ленц қондасига асосан, бу тоқлар дискнинг айланишига тескари таъсир кўрсатади. Уярма тоқлар дискнинг айланиш тезлиги  $n$  га пропорционал бўлганлиги учун тормозловчи момент:

$$M_{\text{торм}} = K_T \cdot n.$$

Барқарорлашган тезликда  $M_{\text{айл}} = M_{\text{торм}}$  ёки  $K_M P = K_T n$  ифода  $t=0$  дан  $t_1$  гача бўлган вақт оралиғида

$$\int_0^{t_1} K_M P dt = \int_0^{t_1} K_T n dt$$

ёки

$$K_M P t_1 = K_T n t_1.$$

Бунда  $P t_1 = W$  —  $t$  вақт ичида қурилма истеъмол қилаётган электр энергияси,  $n t_1 = N$  эса шу вақтдаги счётчик дискнинг айланишлар сони.

Демак,

$$W = \frac{K_T}{K_M} N = c N.$$

Бунда  $s$ —счётчик доимийси бўлиб, счётчик дискининг бир марта тўла айланишига тўғри келувчи Вт·сек даги энергия.

Счётчикдаги айланадиган дискининг ўқи червяк ва тишли узатма орқали ҳисоблаш механизми билан туташтирилган. Счётчикнинг ҳисобга олаётган энергияси ҳисоблаш механизмининг кўрсатиши бўйича ўлчанади.

Индукцион счётчикларнинг қуйидагича аниқлик синфлари мавжуд: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0. Счётчик қисмаларининг жойлашиши 6.18-расмда кўрсатилган.

Уч фазали электр қурилмаларда электр энергиясининг уч фазали счётчиклари қўлланилиб, улар иккита ёки учта асосий элементлардан иборат бўлади ва уқ орқали ҳисоблаш механизмига таъсир кўрсатади.

Реактив энергияни ҳисобга олишда актив қувват счётчиклари тузилишига ўхшаш, лекин ғалтакларнинг ижроси ва ўзаро уланиши билан фарқ қиладиган уч фазали махсус счётчиклар ишлаб чиқарилади. Корхона ва бошқа объектлар электр қурилмаларининг электр қуввати 100 кВА ва ундан катга бўлганда реактив энергия счётчикларидан фойдаланилади.

Актив ва реактив энергия счётчикларининг кўрсатишлари бўйича электр қурилмаларнинг ўлчанган  $\cos \varphi$  қийматининг ўртачаси аниқланади (бир ойда, кварталда, йилда). Бунинг учун бир ойдаги кВт·соат да ифодаланган электр энергиянинг сарфи кВт·соат да ифодаланган актив энергия сарфига бўлинади. Бу нисбат фаза силжиш бурчагининг тангенсини беради:

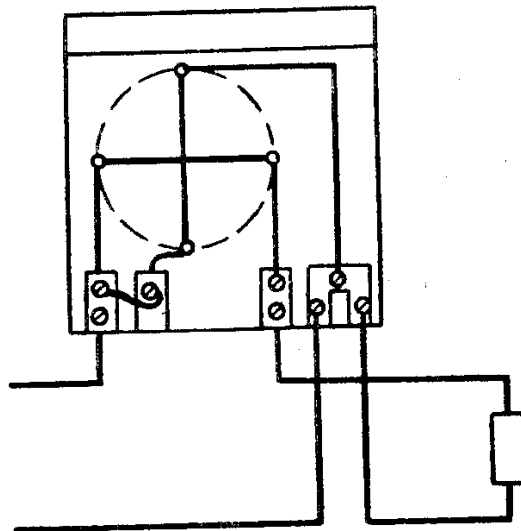
$$\frac{W_p}{W_a} = \frac{0,001 UI \sin \varphi}{0,001 UI \cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi.$$

$\operatorname{tg} \varphi$  бўйича  $\cos \varphi$  топилади

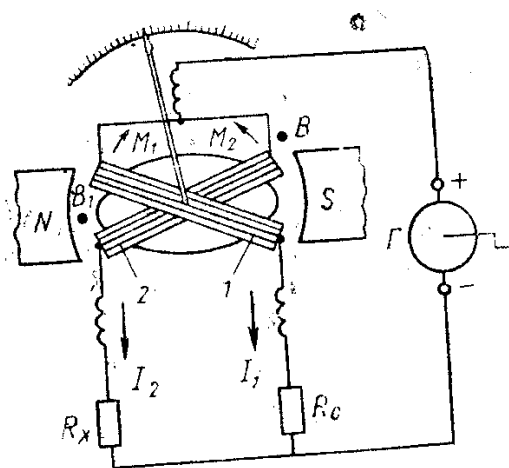
Электр қурилмаларнинг ўртача ўлчанган  $\cos \varphi$  сини ҳар ойда аниқлашдан мақсад истеъмолчининг  $\cos \varphi$  қийматини ҳисобга олиб, сарфланган электр энергиясига тўланадиган ҳақни белгилашдир.

## 6.5. ЛОГОМЕТРЛАР

Кўриб чиқилган электр ўлчаш механизмларидаги қўзғалувчи қисмнинг бурилиши уларнинг ғалтаклари орқали ўтаётган токнинг, бинобарин, энергия манбаи кучланишининг бирор функцияси ҳисобланади.



6.18- расм.



6.19- расм.

хусусияти уларда механик тескари таъсир кўрсатувчи моментнинг йўқлигидир. Бунда айлантирувчи ва тескари таъсир кўрсатувчи моментларни электромеханик кучлар ҳосил қилади ва улар кучланишга турли даражада боғлиқ бўлади. Шунинг учун манба кучланишининг ўзгариши моментлар нисбатини ўзгартирмайди, бинобарин, асбобнинг кўрсатишига таъсир этмайди.

Магнитоэлектрик механизмли логометрнинг қўзғалувчан қисми бир-бирига бирор бурчак остида қаттиқ маҳкамлаб жойлаштирилган иккита рамка 1 ва 2 дан иборат. Рамкаларга ток учта юмшоқ (моментсиз) кумуш спираллар орқали берилди. Токларнинг йўналишлари шундай танланиши керакки, рамкаларда ҳосил қилинган моментлар  $M_1$  ва  $M_2$  ўзаро қарама-қарши таъсир этсин.

Магнит индукцияси  $B$  нинг бурилиш бурчагига боғлиқлиги  $N-S$  қутблар билан ўзак орасидаги масофанинг ўзгариши билан аниқланади. Бунга эришиш иккала ғалтакнинг нотекис оралиқда бўлиши ҳисобига содир бўлади (ё қутб учликлар шаклини йўниб ўйиш туфайли, ё ўзак шаклининг эллипсга ўхшашлиги туфайли).  $B_1$  нуқтадаги индукция  $B$  нуқтадагига нисбатан катта бўлади (6.19- расм).

Агар ток занжири ёпиқ бўлса, у орқали  $I_1$  ва  $I_2$  тоқлар ўтади ва рамкаларда иккита айлантирувчи момент ҳосил бўлади:

$$M_1 = W_1 S B_1 I_1 = K I_1 f_1(\alpha);$$

$$M_2 = W_2 S B_2 I_2 = K I_2 f_2(\alpha).$$

Бу ерда:  $W$ —ғалтакнинг ўрамлар сони;  $S$ —ғалтакнинг кўндаланг кесим юзи,  $B$ —ҳаво оралиғида жойлашган ғалтакнинг магнит индукцияси.

Ғалтак соат стрелкаси йўналишида бурилганда, масалан ( $M_1 > M_2$ ) биринчи ғалтакнинг актив томони анча кучсиз индукцияли жойга ўтади ва  $M_1$  камаяди. Шу вақтда  $M_2$  ошади.

Қаршиликлар, фазалар фарқи, частота, температура, босим, идишдаги суюқлик сатҳи ва ҳоказоларни ўлчаш учун логометрлардан фойдаланилади. Бунда кучланишга боғлиқ бўлган токнинг эмас, балки икки токнинг ўзаро нисбати ўлчанади („логос“ грекча сўз бўлиб, нисбат деган маънони билдиради).

Магнитоэлектрик ва электродинамик механизмли логометрлар кенг тарқалган. Бу логометрларнинг ўзига хос



Бирор аниқ ҳолатда моментлар ўзаро мувозанатда бўлади, яъни  $M_1 = M_2$  ёки:

$$I_1 f_1(\alpha) = I_2 f_2(\alpha),$$

бундан

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{f_2(\alpha)}{f_1(\alpha)} = f(\alpha).$$

Демек, логометрнинг кўрсатиши унинг ғалтакларидаги тоқлар нисбати билан аниқланади.

Электротехник қурилмалар изоляциясининг мустаҳкамлигини аниқлашда магнитоэлектрик механизмли логометрлар (мегоомметр) ишлатилади. Бу асбобнинг қўлланилишини ( $R_x$  қаршиликни аниқлашни) кўриб чиқамиз (6.19-расм).

$$I_1 = \frac{U}{R_0 + R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_x + R_2},$$

бунда  $R_1$  ва  $R_2$ —логометр ғалтакларининг қаршиликлари;  $R_0$ —асбоб ичидаги ўзгармас қаршилик;  $U$ —қўл ёрдамида ҳаракатга келтириладиган генератор (манба) кучланиши.

Манба сифатида асбоб корпуси ичига жойлашган ўзгармас магнит ёрдамида уйғотиладиган генератор  $\Gamma$  дан фойдаланилади. Генератор якори қўл билан ҳаракатга келтириладиган даста ёрдамида айлантиради (2 айл/сек). Мегоомметрнинг турига қараб генераторнинг кучланиши 500, 1000, 2500 В бўлиши мумкин.

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{U}{R_0 + R_1} \cdot \frac{R_x + R_2}{U}\right) = f\left(\frac{R_x + R_2}{R_0 + R_1}\right).$$

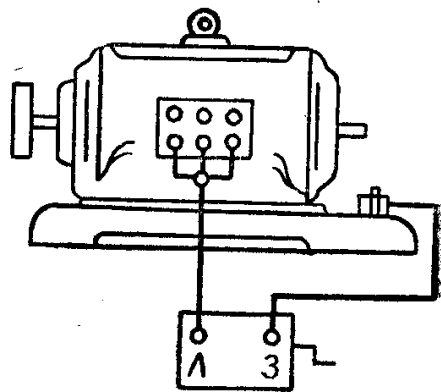
$R_2$  кичик бўлганлиги сабабли ( $R_x$  га нисбатан) уни эътиборга олмасак ва  $R_0 + R_1 = \text{const}$  бўлишини ҳисобга олсак,

$$\alpha = f(R_x)$$

ни ҳосил қиламиз, яъни асбоб қўзғалувчан қисмининг бурилиш бурчаги ўлчанаётган қаршилик миқдори билан аниқланади. Мегоомметр шкаласи қаршилик миқдорларида даражаланган бўлади.

Логометрларнинг ўзига хос хусусияти шундаки, ўлчаш натижаси кучланиш  $U$  нинг ўзгаришига боғлиқ бўлмай, бунда  $I_1$  ва  $I_2$  бир хил ўзгаради.

Одатда, мегоомметрлар (М1101) нинг МОм ва КОм ларни ифодалайдиган шкаласида икки қатор белгилар бор. Шкала кўрсаткичининг охири чексизлик ( $\infty$ ) ҳисобланади. Занжир очиқ бўлганда асбоб стрелкаси чексизликни кўрсатидиган қилиб белгиланади.



6.20- расм.

Мегоомметрда ташқарига чиқарилган Л (линия) ва З (земля) қисма (клемма) лар бор. 6.20-расмда электродвигатель чулғамининг изоляция қаршилигини ўлчаш схемаси келтирилган (бундай ўлчашда электродвигатель манбадан ажратилади).

Магнитоэлектрик механизмли логометрлар температура, намлик, суюқлик сатҳи ва ҳоказоларни ўлчашда ҳам ишлатилади.

Электродинамик логометрлар фазометрлар, частотометрлар, фарадметрлар сифатида ишлатилади.

## 6.6. РАҚАМЛИ ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИ ТЎҒРИСИДА АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

Кейинги йиллар ичида рақамли электр асбоблар юзага келди ва такомиллашди. Бундай асбобларда ўлчанадиган узлуксиз катталиклар қабул қилинган кодга мувофиқ шартли белгилар (рақамлар комбинацияси) га асбобнинг ҳисоблаш қурилмасида ўзгартирилади. Ишлаш принципига қараб рақамли вольтметрларда код-импульси, вақт-импульсли ўзгартиришлар ва кучланиш-частота ўзгартиришлардан фойдаланилади.

*Код*—бу бир неча сигналлар (кўпинча электр токининг импульслари) дан иборат бўлиб, электр катталикларни шартли равишда акс эттиради. Рақамли асбобларда ўлчанаётган катталиқни код билан ёзиш, унинг  $X$  қийматини ўлчов бирлигида акс эттирувчи қиймат ўлчови  $M$  билан дискрет ҳолда таққослаб амалга оширилади.

Умумий ҳолда, рақамли вольтметр кириш қурилмаси (КҚ), таққослаш-рақамли ўзгарткич (ТРЎ) ва рақамли ҳисобот қурилма (РХҚ) дан иборат (6.21-расм).

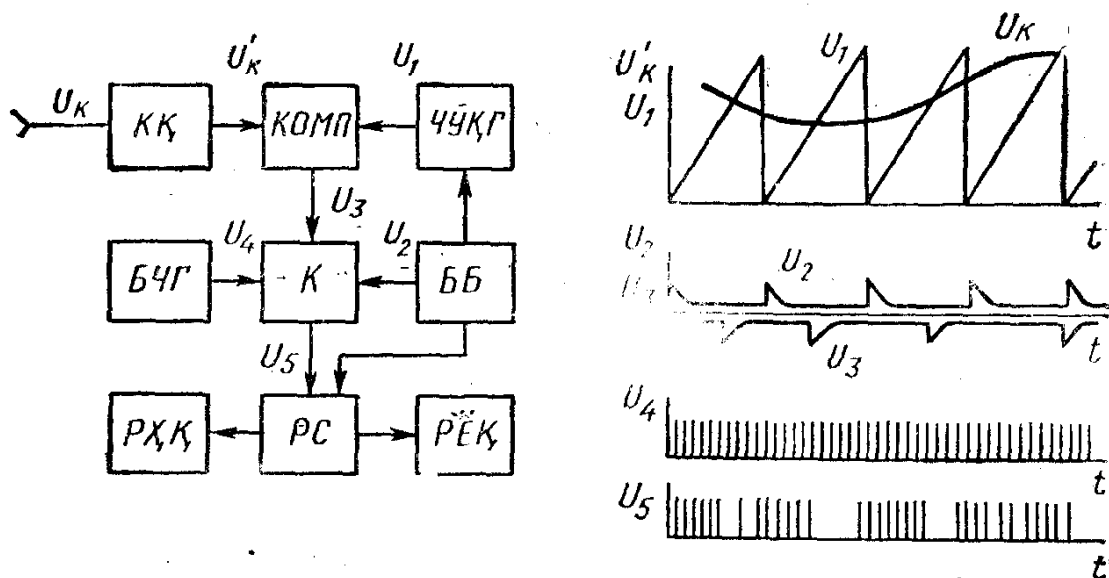
Мисол тариқасида, кенг қўлланилиб келаётган вақт-импульсли ўзгартиришли рақамли вольтметрлар (В7-8, ВК7-10, Ф-200, Ф-220) нинг ишлаш принципини кўриб чиқамиз. Уларнинг ишлашини изоҳловчи структура схемаси ва вақтли диаграмма 6.22-расмда келтирилган.

Ўлчанаётган кучланиш  $u_k$  кириш қурилмаси КҚ га берилади. Мазкур қурилма катта қаршиликли кучланишни бўлгич ҳисобланиб, унинг чиқиш жойида маълум оралиқда (масалан, 0—1 В) ўзгарадиган нормаллаштирилган кучланишни ҳосил қилиш мумкин. Бундай нормаллаштирилган кучланиш компаратор (КОМП) киришининг бирортасига берилади. *Компаратор* ўлчанаётган кучланишни эталон билан солиштирадиган қурилмадир. Компараторнинг иккинчи кириш жойи чизикли равишда ўзгарадиган кучланиш генератори (ЧЎКГ)—релаксацион генератор чиқиш жойига



6.21-расм.

уланган бўлади. Кириш ва компенсацияловчи кучланишлар ўзаро тенг бўлган вақтда компаратор калит  $K$  ни беркитувчи импульс ҳосил қилади. Бар-



6.22- расм.

қарор частотали генератор БЧГ ишлаб чиқарган импульслар калит  $K$  орқали рақамли счётчик РС га келади. Счётчикнинг чиқишига рақамли ҳисоблаш қурилмаси РХҚ ва рақам ёзувчи қурилма РЁҚ уланади. Вольтметрнинг ишлашини бошқариш блоки ББ бошқаради. Ўлчаш циклининг бошланишида бошқариш блокининг сигнали бўйича ЧҰҚГ ишлай бошлаб,  $u_1$  кучланишни ҳосил қилади ва БЧГ ( $u_4$ ) импульсларини счётчикка ўтказиб юборади. Импульс  $u_2$  билан бир вақтда калит  $K$  очилади. Нормаллаштирилган кириш кучланиши  $u_K$  ва ЧҰҚГ кучланиши  $u_1$  тенглашган пайтда компараторнинг  $u_3$  сигнали бўйича калит  $K$  ёпилади. Шундай қилиб, РС га кирган импульслар миқдори  $u_5$  ўлчаш циклининг бошланиш моменти  $t_1$  дан мувозанат ҳолати  $t_2$  гача бўлган вақтга пропорционал бўлади. Бу вақт ўлчанаётган кучланиш  $u_K$  га пропорционалдир.

Рақамли электрон вольтметрларнинг нисбий хатолиги 0,001% ни ташкил этади.

Ўзгарувчан кучланишли рақамли вольтметрларда кириш қурилмасидан кейин уланадиган қўшимча детектор бўлади.

Рақамли электр асбобларидан вольтметрлар, омметрлар, частотомерлар, электр энергияси счётчиклари ва бошқа асбоблар сифатида кенг фойдаланилади.

Рақамли ўзгармас ток вольтметрлари 1 мВ дан 1 кВ гача бўлган кучланишларни секундига 2000 мартагача ўлчаш имконини беради.

Ўлчаш хатолигининг нисбатан кичиклиги, тез ишлаши, ўлчаш натижаларини рақам кўринишида бериш ва уларни рақам ёзиш қурилмалари ёрдамида ҳужжатларга асосан қайд қилиш, электрон-ҳисоблаш машиналарига ўлчаш ахборотларини кириштиш мумкинлиги рақамли электр ўлчов асбобларининг афзалликларидир. Шу билан бирга, рақамли электр асбобларининг

камчиликлари ҳам бор: схема ва конструкциясининг мураккаблиги, нисбатан қиммат туриши, ишончлилик даражасининг пастроқлиги. Микроэлектрониканинг тез суръатлар билан ривожланиши бу каби камчиликларни бартараф этиш имконини беради, дейиш мумкин.

## 7-боб. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШЛАР

### 7.1. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ УСУЛЛАРИ

Ўлчаш техникаси халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларида фан ва техника тараққиётини илгари сурувчи муҳим омиллардан бири бўлиб ҳисобланади. Табиатдаги нарса ва ҳодисаларни ўзаро таққосламай туриб, уларни илмий жиҳатдан асослаб бўлмайди. Бунда ўлчаш техникасининг бир тармоғи бўлган электр ўлчаш техникаси катта аҳамиятга эга.

Электр ўлчаш техникаси ёрдамида амалда маълум бўлган барча физик миқдорлар, яъни электрик ва ноэлектрик миқдорларни, ўзгармас ва вақт бўйича ўзгарувчан миқдорларни кенг кўламда ва узоқ масофадан ўлчаш мумкин. Шунинг учун ҳам электр ўлчаш усуллари хилма-хилдир. Электр ўлчаш усулларига бевосита баҳолаш усули ва таққослаш усуллари киради.

Агар ўлчанадиган катталиқнинг қиймати олдиндан даража-лаб қўйилган ўлчаш асбобининг ҳисоблаш қурилмасидан бевосита олинган бўлса, бундай ўлчаш *бевосита баҳолаш усули* дейилади. Масалан, ток кучини ўлчаш амперметр билан, кучланишни ўлчаш-вольтметр билан, қувватни ўлчаш ваттметр билан олиб борилади ва ҳоказо.

Агар ўлчанадиган катталиқнинг қиймати ўлчов намунаси билан солиштириб аниқланса, бундай ўлчаш усули *таққослаш усули* дейилади. Таққослаш усули ўз навбатида ноль дифференциал, алмаштириш ва устма-уст тушириш усулларига бўлинади. Таққослаш усулига кўприксимон занжирлардаги қаршилиқ, сизим ва индуктивликларни ёки потенциометрлардаги кучланиш ва ЭОК ларни ўлчаш усуллари мисол бўла олади. Амалда таққослаш усулларида ноль ва дифференциал усуллари энг кўп қўлланади.

*Ноль усулда* ўлчанаётган катталиқнинг қиймати намуна ўлчов билан солиштиришда ҳосил бўлган фарқ нолга тенглашгунча ўзгартириб борилади. Бунга потенциометрда кучланишни, мувозанат кўприксимон занжирларда қаршилиқни ўлчашлар мисол бўла олади. Солиштириш фарқи солиштириш асбобида ёки ноль индикаторда кузагилади. Ноль ўлчаш усули жуда аниқ ўлчаш усулидир. Чунки бундай ўлчашла юқори аниқликли намуна ўлчови ва сезгирлиги юқори таққослаш асбоби, масалан гальвонометр ишлатилади.

*Дифференциал усулда* ўлчанаётган катталиқнинг қиймати намуна ўлчов билан таққосланади ва ҳосил бўлган фарқ оддий

лекстр ўлчаш асбоби билан ўлчанади. Дифференциал усул бир-биридан кам фарқ қилган иккита миқдорни таққослаш ва олиш учун ишлатилади. Шунинг учун ҳам бу усулнинг ўлчаш аниқлиги юқоридир. Масалан, икки миқдорнинг фарқи 1% тенг бўлиб, бу фарқ 1,5% католик билан ўлчанса, у ҳолда таққосланган миқдор 0,015% хатолик билан ўлчанади.

Юқорида кўриб чиқилган усулларнинг қайси биридан фойдаланишмайлик, ўлчаш натижасини тўғридан-тўғри ёки билвосита олиш мумкин.

*Тўғридан-тўғри ўлчаш*—бу ўлчанувчи миқдорни тўғридан-тўғри тажрибадан, яъни бевосита ўлчаш асбобининг кўрсатишидан олишдир. Масалан, кучланишни вольтметрда, қувватни ваттметрда ўлчаш ва ҳоказо.

*Билвосита ўлчаш*—бу аниқланиши лозим бўлган миқдорни шу миқдорни ва бевосита ўлчаш мумкин бўлган бошқа миқдорларни ўзаро боғловчи маълум ифодадан топишдир. Масалан, кучланишни вольтметр ёрдамида ва токни амперметр ёрдамида ўлчаб, қаршилиқни топишдир. Баъзи ҳолларда, айниқсан, илмий текшириш ишларида ўлчаш натижаси ўлчанувчи миқдор билан тенгламалар орқали боғланган бир қанча миқдорларни тўғридан-тўғри ёки билвосита ўлчаб, сўнгра тенгламаларни ечиш орқали топилади ва бундай ўлчаш биргаликдаги ўлчаш деб аталади. Бунга материаллар қаршилиқларининг температура коэффициентини топиш мисол бўлади.

## 7.2. ЎЛЧАШ ХАТОЛИГИ

Ҳар қандай ўлчашда ўлчаш натижаси ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматидан бироз фарқ қилади. Бу фарқ *ўлчаш хатолиги* деб аталади. Баъзан ўлчаш натижасининг баҳолашда „ўлчаш аниқлиги“ дан фойдаланилади. Ўлчаш аниқлиги ўлчаш натижасининг ҳақиқий миқдорига қанчалик яқинлигини кўрсатади. Юқори ўлчаш аниқлигининг юқори бўлишига ўлчаш хатоси кичик бўлганида эришилади.

Ўлчанган миқдор ( $A_y$ ) билан ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қиймати ( $A_x$ ) орасидаги айирма ўлчашдаги *абсолют хатолик* деб аталади ва  $\Delta$  билан белгиланади, яъни:

$$\Delta = A_y - A_x.$$

Абсолют хатонинг ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматига нисбати ўлчашдаги *нисбий хатолик* деб аталади ва  $\beta$  билан белгиланади, яъни:

$$\beta = \frac{\Delta}{A_x} 100\%. \quad (7.1)$$

Агар ўлчанган миқдор ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматидан катта бўлса, ўлчашдаги нисбий хатолик мусбат ва, аксинча, кичик бўлса, манфий бўлади.

Агар (7.1) формуладаги  $\Delta$  ўрнига  $\frac{\gamma A_{\max}}{100\%}$  ((6.1) формулага қаранг) ни қўйсак, нисбий хатолик қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\beta = \frac{\gamma A_{\max}}{A_x}.$$

Демак, ўлчанаётган миқдор асбобнинг ўлчаш чегараси ( $A_{\max}$ ) га яқин бўлса, ўлчашдаги нисбий хатолик асбобнинг келтирилган хатоси  $\gamma$  га яқин бўлади.

**7.1-масала.** Ўлчаш чегараси 10 А, аниқлик синфи 1,5 бўлган амперметр билан бир сафар 1 А, иккинчи сафар 10 А ток кучи ўлчанди. Шу амперметрнинг ўлчаш хатолигини солиштиринг.

Ечиш. Энг катта нисбий хатолик қуйидаги қийматларга тенг бўлади:

$$\beta_1 = \frac{\gamma A_{\max}}{A_x} = \frac{1,5 \cdot 10}{1} = 15\%;$$

$$\beta_2 = \frac{\gamma A_{\max}}{A_x} = \frac{1,5 \cdot 10}{10} = 1,5\%.$$

Хатоликларнинг ўзгариш характерига қараб уларни даврий ва тасодифий хатоликларга ажратиш мумкин.

*Даврий хатолик* — бу бир хил миқдорларни қайта ўлчаганда ўз қийматини ёки ўзгариш қонуниятини ўзгартирмайдиган хатоликдир.

*Тасодифий хатолик* — бу бир хил миқдорни қайта ўлчаганда ўз қийматини бирор қонуниятга бўйсунмаган ҳолда тасодифан ўзгартирувчи хатоликдир.

Умуман, ўлчаш хатолигига бир қанча сабаблар таъсир кўрсатади. Буларга асбобни ўлчанаётган миқдорнинг диапазонига, асбобнинг ўзи қабул қиладиган қувватига, сезгирлигига нисбатан нотўғри танлаш, асбобни нотўғри ишлатиш (ташқи шароитнинг нормал шароитдан фарқ қилиши, асбобни тўғри ўрнатмаслик), ўлчаш системаларини нотўғри танлаш ва бошқалар кирди.

Даврий хатолик ўз навбатида ўзгармас ва ўзгарувчан хатоликларга бўлинади. Қайта ўлчаганда ўз қиймати ва ишорасини ўзгартирмайдиган хатоликка ўзгармас даврий хатолик дейилади. Бунга мисол тариқасида ўлчашда қўлланадиган ўлчовнинг ҳақиқий қиймати юқори аниқлик билан ўлчанмаганлигини келтириш мумкин. Маълум қонуният билан ўзгарувчи хатоликка эса ўзгарувчан даврий хатолик дейилади. Агар ўлчаш натижаси кучланишга боғлиқ бўлса, аккумуляторнинг зарядсизланишидаги кучланишнинг бир текис камайиши ўзгарувчан даврий хатоликка мисол бўла олади. Даврий хатолик келтириб чиқарувчи сабабларни аниқлаб, тuzатиш кириштириш орқали мазкур хатоликни камайитириш ва бутунлай йўқ қилиш мумкин.

Агар даврий хатолик тасодифий хатоликдан кичик бўлса, бир хил миқдорни ўлчашда уни бир неча бор ўлчаб, ўлчаш натижаси сифатида уларнинг ўртача қийматини олиш мақсадга мувофиқ, яъни

$$A_{\text{ўр}} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n},$$

унда  $A_1, A_2, \dots, A_n$ —ҳар бир ўлчаш натижаси,  $n$ —ўлчашлар сони. Ўлчашлар сони катта бўлганда  $A_{\text{ўр}}$  ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматига яқинлашади.

Билвосита ўлчашда иккита ва ундан ортиқ ўлчаш асбобларидан фойдаланилади. Бу ҳолда билвосита ўлчашдаги хатолик бевосита ўлчашдаги хатоликнинг алгебраик йиғиндиси шаклида ёзиб, топилади.

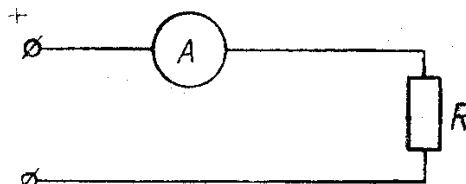
### 7.3. ТОК ВА КУЧЛАНИШНИ ЎЛЧАШ

**Ток ва кучланишни бевосита ўлчаш.** Ток ва кучланишни бевосита ўлчаш учун амперметр ва вольтметрлардан фойдаланилади. Амперметр ва вольтметрлар магнитоэлектрик (фақат ўзгармас ток занжири учун); электромагнит, электродинамик, ферродинамик (ўзгармас ва ўзгарувчан ток учун); индукцион, тўғрилагичли (ўзгарувчан ток учун) ва бошқа системаларда бўлиши мумкин.

*Токни ўлчаш* учун занжирни қулай жойдан узиб, амперметр  $A$  ни истеъмолчи қаршилиги  $R$  билан кетма-кет улаш керак (7.1-расм). Амперметрни улашдан олдин ўлчанаётган токнинг турини ва тахминий қийматини билиш керак. Ўзгармас токни ўлчаш учун индукцион системадан бошқа барча системадаги амперметрлардан фойдаланиш мумкин, аммо амалда магнитоэлектрик амперметрларгина ишлатилади. Чунки улар жуда аниқ ва юқори сезгирликка эгадир. Ўзгарувчан миқдорларни ўлчашда асбоб шкаласидаги частота ўзгарувчан ток частотасига тенг ёки катта бўлишига эътибор бериш керак, акс ҳолда катта хатолик пайдо бўлади.

Асбобнинг ўлчаш чегарасини танлашда қуйидаги оддий қоидага риоя қилиш керак, яъни ўлчаш чегараси ўлчаниши керак бўлган миқдордан тахминан 25—30% катта қилиб олинади. Чунки асбобнинг иккинчи ярмида нисбий ўлчаш хатолиги биринчи ярмидагига нисбатан камдир.

Текшириляётган электр занжирига уланувчи асбоб унинг параметрларини мумкин қадар кам ўзгартириши лозим. Шу сабабли амперметрнинг қаршилиги полга тенг бўлиши керак. Бу ҳолда токни ўлчаш учун занжирга уланган амперметр занжир қаршилигини ўзгартирмайди. Амалда бу шартни бажариш



7.1- расм.

мумкин бўлмайди, шунинг учун ички қаршилиги энг кичик бўлган амперметрдан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Аммо кичик ток (милли ва микроампер) ларни ўлчашда ички қаршилиги бир неча ўн ва юз Ом бўлган милли ва микроамперметрларни улашга тўғри келади.

Занжирга амперметр улаганда, унинг қаршилиги ўзгаради, натижада занжирдаги ток ҳам ўзгаради. Агар занжир қаршилиги  $R$  бўлиб, унга берилган кучланиш  $U$  бўлса, занжирдаги ток (амперметр уланмасдан олдин)  $I_1 = U/R$  бўлади. Занжирга амперметр улангандан сўнг, занжирнинг умумий қаршилиги амперметр қаршилиги  $R_A$  миқдорига ортади. Натижада амперметр улангандан кейинги ток, яъни амперметр ўлчаган ток (7.1-расм) қуйидагига тенг бўлади:

$$I_2 = \frac{U}{R_A + R}.$$

Шунинг учун токни ўлчаш усулининг нисбий хатолиги:

$$\beta = \frac{\Delta I}{I_1} = \frac{I_1 - I_2}{I_1}.$$

Токларнинг қийматини қўйиб, ўлчаш хатолигини ҳосил қиламиз:

$$\beta = \frac{\Delta I}{I_1} = \frac{R_A}{R_A + R} = \frac{1}{1 + R/R_A}.$$

Бу ифодадан кўринадики, амперметр қаршилиги  $R_A$  қанча кичик бўлса ёки занжир қаршилиги  $R$  қанча катта бўлса, ўлчаш хатолиги шунча кичик бўлади.

Ўзгармас ток магнитоэлектрик амперметрлар билан, ўзгарувчан ток электромагнит, электродинамик амперметрлар ва тўғрилагичли миллиамперметрлар билан ўлчанади.

Тўғрилагичли миллиамперметрлар махсус частота хатолигини йўқ қилувчи қурилма қўлланганда 20 кГц частотали ўзгарувчан ток занжиридаги кичик ўзгарувчан токни ўлчашда ҳам қўлланади (Ц28, Ц29 микроамперметрлар, Ц433, Ц55, Ц56, Ц57 турдаги ампервольтметрлар). Ток кучини юқори аниқлик билан ўлчашда таққослаш усулидан фойдаланилади.

Амперметрларнинг ўлчаш чегарасини ошириш учун ўзгармас ток занжирида шунтлар, ўзгарувчан ток занжирида эса ўлчаш ток трансформаторлари ишлатилади.

**7.2- масала.** Ўзгармас ток занжирида  $I = 100$  А токни ўлчаш чегараси  $I_A = 5$  А, ички қаршилиги  $R_A = 0,015$  Ом бўлган амперметр билан ўлчаш учун шунт қаршилиги ҳисоблансин.

Ечилиши. Амперметрнинг ўлчаш чегарасини оширувчи коэффициент

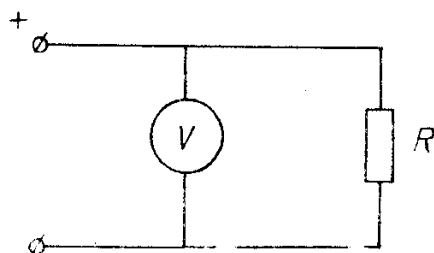
$$m = \frac{I}{I_A} = \frac{100}{5} = 20.$$



Шунг қаршилиги

$$R_m = \frac{R_A}{m-1} = \frac{0,015}{20-1} = 0,0007894 \text{ Ом.}$$

Кучланишни ўлчаш учун занжирнинг исталган (кучланиши ўлчанувчи) қисмига вольтметр параллел қилиб уланади. Вольтметр деярда шкаласи вольтларда даражаланган катта қўшимча ички қаршилиги нисбатан катта милливольтметр тушунилади (7.2- расм).



7.2- расм.

Ўзгармас ток занжирларида кучланишни ўлчаш учун, одатда, юқори аниқликдаги магнитоэлектрик механизмли вольтметрлар ишлатилади. Шу билан бирга, ўзгармас ток занжирларидаги кучланишни ўлчаш учун электромагнит, электродинамик, айлантиргич ва иссиқлик системасидаги вольтметрлардан ҳам фойдаланса бўлади, аммо бунда ўлчаш аниқлиги нисбатан пастроқ бўлади.

Ўзгарувчан ток занжиридаги кучланишни ўлчаш учун магнито-электрик системадан бошқа барча системалаги вольтметрлардан фойдаланса бўлади. Булда албатта, вольтметр частотасига катта аҳамият бериш керак, ақс ҳолда частота бўйича қўшимча ўлчаш хатолиги вужудга келиши мумкин.

Юқори частотали (100 мГц) ўзгарувчан ток кучланиши иссиқлик, айлантиргичли системалардаги вольтметрлар ва электрон вольтметрлар ёрдамида ўлчанади.

Кичик ўзгарувчан кучланишлар (милли ва милливольтлар) тўғрилагичли ва электрон милливольтметрлар ёрдамида ўлчанади. Вольтметр занжирига уланиши билан занжирнинг қаршилигини ўзгартириб, ўлчаш усулидаги хатоликни ҳосил қилади. Ўлчаш усулидаги хатоликнинг нолга тенг ёки жуда кичик (асбобнинг хатолигидан 5—10 марта кичик) бўлиши учун вольтметр қаршилиги чексиз ёки жуда катта (бир неча ўн, юз килоом) бўлиши керак.

Вольтметрларни ўлчаш чегарасини ошириш учун ўзгармас ток занжирида қўшимча қаршилик, ўзгарувчан ток занжирида кичик кучланиш ўлчаш трансформатори ишлатилади. Ўлчаш чегараси 600 В бўлган ўзгарувчан ток вольтметрларида ҳам қўшимча ички қаршиликдан фойдаланилади.

**7.3-масала.** Ўзгармас ток занжирида  $U=3000$  В кучланишнинг ўлчаш чегараси  $U_V=100$  В, ички қаршилиги  $R_V=20$  кОм бўлган вольтметр билан ўлчаш учун қўшимча ташқи қаршилик ҳисоблансин.

Ёчилиши. Вольтметрнинг ўлчаш чегарасини оширувчи коэффициент:

$$n = \frac{U}{U_V} = \frac{3000}{100} = 30.$$

Қўшимча қаршилик:

$$R_k = R_V(n - 1) = 20 \cdot (30 - 1) = 580 \text{кОм.}$$

#### 7.4. ҚУВВАТ ВА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНИ УЛЧАШ

Ўзгармас ток занжирларида қувватни амперметр ва вольтметр ёрдамида ўлчаш мумкин. Бунинг учун бир вақтда икки асбобнинг кўрсатишини ёзиб олиш ва сўнгра ўлчанган ток ва кучланиш қийматлари ўзаро кўпайтирилади. Бу ҳолда ўлчаш аниқлиги анча пасг бўлади, шунинг учун ўзгармас ток қувватини ўлчаш учун амалда электродинамик ваттметр ишлатилади.

Ўзгарувчан ток занжирида қувватни амперметр ва вольтметр билан ўлчаб бўлмайди, чунки ўзгарувчан ток занжирининг қуввати ток ва кучланишдан ташқари қувват коэффициентини  $\cos\varphi$  га ҳам боғлиқдир. Демак, ўзгарувчан ток қувватини амперметр, вольтметр ва фазометр билан ўлчаш мумкин, деган хулоса чиқади. Аммо бундай ўлчаш анча ноқулайдир, чунки бир вақтнинг ўзида учта асбобнинг кўрсатишини ёзиб олиш анча қийин, иккинчи томондан қувватни ўлчашдаги хатолик учта асбоб айрим хатоликларига боғлиқ бўлади. Шунинг учун ўзгарувчан ток занжирларидаги қувват фақат электродинамик ва ферродинамик ваттметрлар билан ўлчанади.

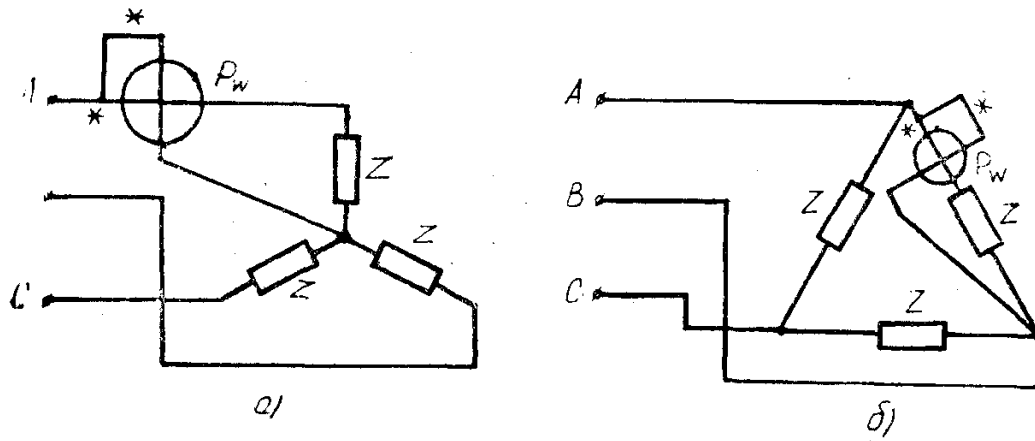
Электродинамик ваттметрларнинг аниқлиги ферродинамик ваттметрникига нисбатан юқори бўлганлиги учун уларни юқори аниқлик билан ўлчаш керак бўлганда ҳамда юқори частотали (2000 Гц гача) ўзгарувчан ток занжирларида ишлатилади. Юқори частотали қувватларни ўлчашда термоэлектрик ва электрон ваттметрлардан ҳам фойдаланиш мумкин. Ферродинамик ваттметрлар, асосан, саноат частотасида шчит асбоби сифатида ишлатилади.

Бир фазали ўзгарувчан ток занжиридаги актив қувватни ўлчаш учун ваттметрни улаш схемаси 6.11-расмда кўрсатилган.

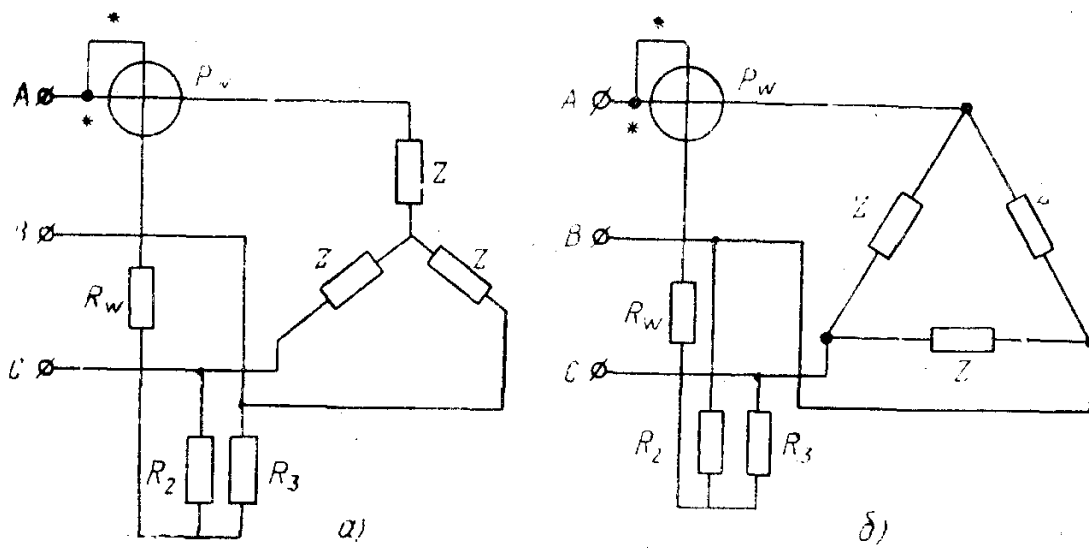
Уч фазали ток занжиридаги актив қувватни ўлчаш учун битта, иккита ва учта ваттметр усулларида фойдаланилади.

**Уч симли симметрик занжирнинг актив қувватини битта ваттметр усулида ўлчаш.** Симметрик системаларда уч фазали қувватни ўлчаш учун битта ваттметрдан фойдаланса бўлади, чунки бунда истеъмолчиларнинг токи, кучланиши, фаза синуси ва ҳар бир фазадаги актив қувват бир хил бўлади.

Истеъмолчиларнинг актив қувватини ўлчаш учун ваттметрни улаш схемаси 7.3-расмда келтирилган. Расмда ваттметр чулғамларининг бош учлари юлдузча билан белгиланган. 7.4-расмда актив қувватни ўлчаш учун ваттметрни сунъий нейтрал нуқта орқали улаш схемаси келтирилган. Чунки кўпгина ҳолларда нейтрал нуқтага улаш ва учбурчакни узиш мумкин бўлмай қолади.



7.3- расм.



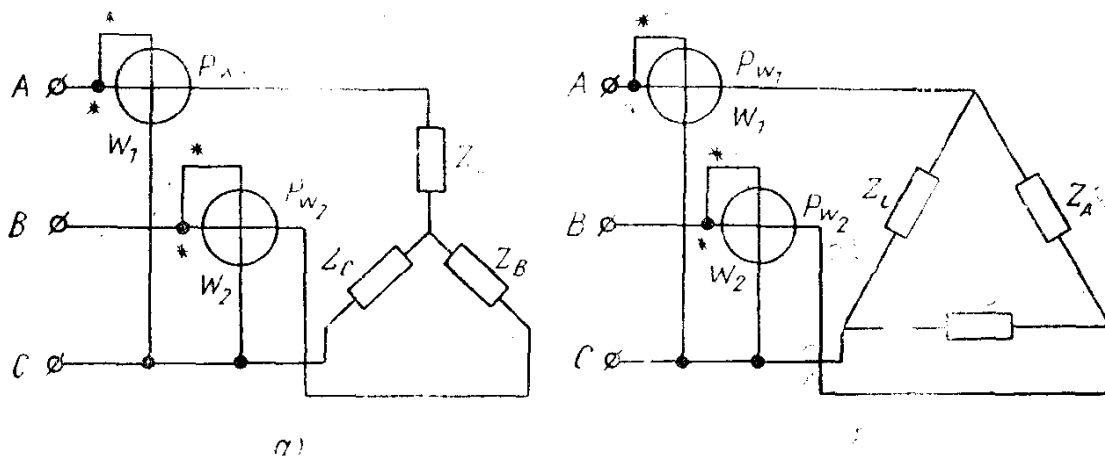
7.4- расм.

Қаршилик  $R_2$  ва  $R_3$  лар ваттметрдаги кучланиш чўлғамининг қаршилиги  $R_W$  га тенг бўлиши ( $R_2 = R_3 = R_W$ ) шарт.

Уч фазали системанинг актив қувватини аниқлаш учун тўртала схемада ҳам ваттметр кўрсатган қувват  $P_W$  ни учга кўпайтириш керак:

$$P = 3P_W.$$

Уч симли носимметрик занжирнинг актив қувватини иккита ваттметр усулида ўлчаш. Уч фазали носимметрик занжирда ҳар бир фазадаги ток, фаза силжиши ва актив қувват турлича бўлади. Ҳатто фаза ва линия кучланишлари ҳам ҳар хил бўлиши мумкин. Бундай занжирнинг қувватини иккита ваттметр усулида ўлчаш мумкин. Иккита ваттметрни уч симли занжирга улаш схемаси 7.5- расмда келтирилган. Схемадан кўринадики, ваттметрлардаги кучланиш чулғамларининг бош учлари ток чулғами уланган фазаларга, охириги учлари эса бош қолган фазага уланади. Фақат шундагина уч фазали ток



7.5- расм.

занжирининг қуввати иккита ваттметр кўрсатиши  $P_{W_1}$  ва  $P_{W_2}$  ларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлади, яъни:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2}.$$

Бу ифоданинг тўғрилигини қуйидагича исботлаш мумкин. Уч фазали истеъмолчиларнинг оний қуввати

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C. \quad (7.2)$$

Агар истеъмолчилар юлдуз шаклида (7.5- расм, а) уланган бўлса,

$$i_A + i_B + i_C = 0,$$

бунда

$$i_C = -i_A - i_B. \quad (7.3)$$

(7.3) ифодани уч фазали система оний қувватининг ифодаси (7.2) га қўйсак, қуйидаги кўринишни олади:

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_C (-i_A - i_B) = (u_A - u_C) i_A + (u_B - u_C) i_B = u_{AC} \cdot i_A + u_{BC} \cdot i_B.$$

Шундай қилиб, уч фазали уч симли системанинг оний қувватини иккита йиғинди шаклига келгириш мумкин. Бу эса иккита ваттметр ёрдамида уч фазали система қувватини ўлчаш имконини беради. Оний қувватдан ўргача, яъни актив қувватга ўтсак, уч фазали системанинг қуввати қуйидагича бўлади:

$$P = U_{AC} I_{AC} \cos(\widehat{I_A \bar{U}_{AC}}) + U_{BC} I_B \cos(\widehat{I_B \bar{U}_{BC}}) \quad (7.4)$$

Демак, иккита ваттметр кўрсатган қувватларнинг алгебраик йиғиндиси уч фазали занжирнинг актив қувватига тенг бўлади:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2}.$$

Чунки, ваттметр  $W_1$  кўрсатган қувват  $P_{W_1} = U_{AC} I_{AC} \cos(\widehat{I_A \bar{U}_{AC}})$  га ваттметр  $W_2$  кўрсатган қувват эса  $P_{W_2} = U_{BC} I_B \cos(\widehat{I_B \bar{U}_{BC}})$

га тенг бўлади. Худди шундай натижага истеъмолчилар учбурчак шаклда уланганда ва ваттметрлар В, С ҳамда А, С фазаларга уланганда ҳам келиш мумкин.

Симметрик нагрузкали истеъмолчилар юлдуз шаклида улангандаги ток ва кучланишларнинг вектор диаграммаси 7.6-расмда келтирилган. Бунда барча линия токи ва кучланишлари миқдор жиҳатдан тенг бўлиб,  $\vec{I}_A$  ва  $\vec{U}_{AC}$  векторлар орасидаги бурчак  $\beta_1 (\varphi - 30^\circ)$  га,  $\vec{I}_B$  ва  $\vec{U}_{BC}$  векторлар орасидаги бурчак  $\beta_2 (\varphi + 30^\circ)$  га тенг бўлади.

Шунинг учун (7.4) формулани қуйидагича ёзамиз:

$$\begin{aligned} P &= U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \beta_1 + U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \beta_2 = \\ &= U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos (\varphi - 30^\circ) + U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos (\varphi + 30^\circ) = \\ &= U_{\text{л}} I_{\text{л}} 2 \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi. \end{aligned} \quad (7.5)$$

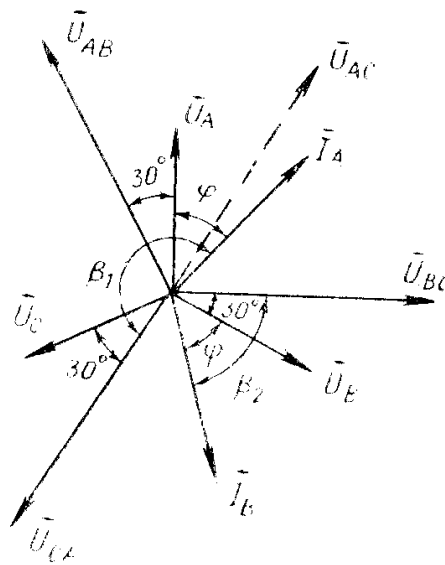
(7.5) ифодага асосан ҳар бир ваттметрнинг кўрсатиши фаза силжиши  $\varphi$  нинг қиймати ва ишорасига қараб манфий ёки мусбат бўлиши мумкин. Масалан,  $\varphi > -60^\circ$  бўлганда биринчи ваттметрнинг кўрсатиши манфий, иккинчисиники эса мусбат ҳамда  $\varphi > 60^\circ$  да аксинча бўлади. Бундай ҳолларда ваттметрнинг кучланиш чулғамидаги токнинг йўналиши ўзгартирилади ва истеъмолчининг актив қуввати ваттметрлар кўрсатишининг айирмаси сифатида аниқланади. Агар  $\varphi = 0^\circ$  бўлса, истеъмолчининг актив қуввати иккала ваттметр кўрсатишларининг айирмаси сифатида аниқланади. Агар  $\varphi = 60^\circ$  бўлса, иккала ваттметрнинг кўрсатиши бир хил бўлади, яъни:

$$P_{W_1} = P_{W_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\text{л}} I_{\text{л}} = 0,866 U_{\text{л}} I_{\text{л}}.$$

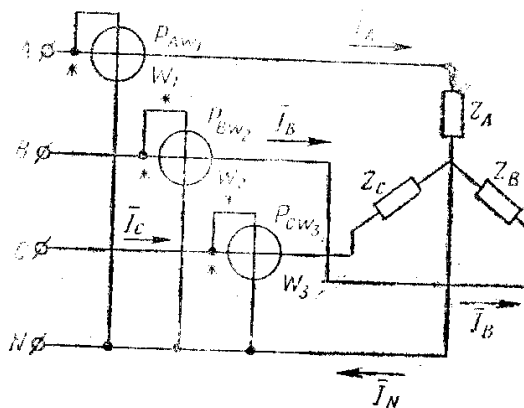
Иккита ваттметр усули тўрт симли занжирларда уч фазали қувватни ўлчаш учун яроқсиздир.

Тўрт симли занжирнинг актив қувватини учта ваттметр усулида ўлчаш. Нотекис нагрузкали тўрт симли занжирлардаги уч фазали қувватни ўлчаш учун учта ваттметрдан фойдаланилади.

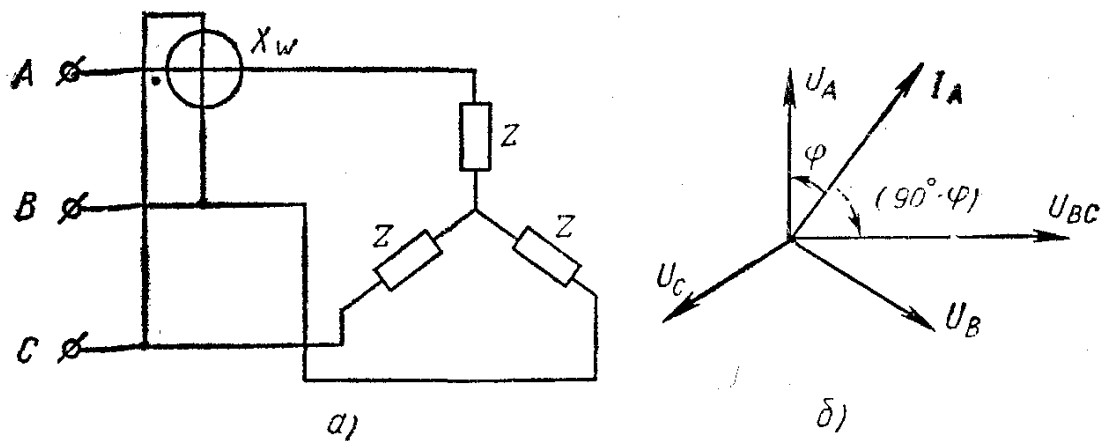
7.7-расмда ваттметрларни занжирга улаш схемаси кўр-



7.6-расм.



7.7-расм.



7.8- расм.

сатилган. Бу схемада ҳар бир ваттметр айрим фазанинг актив қувватини ўлчайди, яъни:

$$P_{AW_1} = U_A I_A \cos \varphi_A; P_{BW_2} = U_B I_B \cos \varphi_B; P_{CW_3} = U_C I_C \cos \varphi_C.$$

Уч фазали занжирнинг актив қуввати учала ваттметр кўрсатган қувватларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$P = P_{AW_1} + P_{BW_2} + P_{CW_3}.$$

Амалда бир вақтнинг ўзида иккита ёки учта ваттметрларнинг кўрсатишини кузатиш жуда қийин, шунинг учун sanoatимизда уч симли занжир учун икки элементли ҳамда тўрт симли занжир учун уч элементли уч фазали ваттметрлар ишлаб чиқарилади. Уч фазали ваттметр иккита ёки учта бир фазали ўлчаш механизмларидан иборат бўлиб, уларнинг умумий моменти ягона қўзғалувчан қисмга таъсир қилади.

**Уч фазали занжирдаги реактив қувватни ўлчаш.** Уч фазали симметрик занжирнинг реактив қувватини битта актив қувват ваттметри билан ўлчаш мумкин. Бунинг учун ваттметрни занжирга 7.8-расмда кўрсатилгандек улаш керак.

7.8-расм, б даги вектор диаграммадан кўринадикки, ваттметрнинг кўрсатиши қуйидагига тенг:

$$X_W = U_{BC} I_A \cos(\bar{U}_A \wedge \bar{I}_{BC}) = U_{\text{л.л}} I_{\text{л.л}} \cos(90^\circ - \varphi) = U_{\text{л.л}} I_{\text{л.л}} \sin \varphi.$$

Уч фазали симметрик занжирнинг реактив қуввати ваттметр кўрсатишини  $\sqrt{3}$  га кўпайтириб аниқланади:

$$Q = \sqrt{3} X_W = \sqrt{3} U_{\text{л.л}} I_{\text{л.л}} \sin \varphi.$$

Уч фазали занжирнинг реактив қувватини иккита ваттметр усули (7.5-расм) билан ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун, аввалдагидек, ваттметрлар кўрсатишларининг алгебраик йиғиндисини эмас, балки айирмасини олиш керак. Бу қуйидагича ифодаланади (7.5-расм):

$$P_{W_1} - P_{W_2} = U_{\text{л}} I_{\text{л}} [\cos(30^\circ - \varphi) - \cos(30^\circ + \varphi)] = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi.$$

Демак, уч фазали система-нинг реактив қувватини аниқлаш учун ваттметрлар кўрсатишларининг айирмасини  $\sqrt{3}$  га кў-найтириш керак, яъни

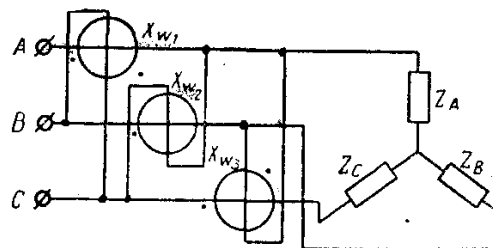
$$Q = \sqrt{3} (P_{W_1} - P_{W_2}) = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi.$$

Ушбу хулосаларнинг барчаси нагрузка текис ва линия куч-ланишлари симметрик бўлгандагина тўғри бўлади. Нагрузка потекис бўлганида реактив қувватни ўлчаш учун махсус схе-малардан фойдаланилади.

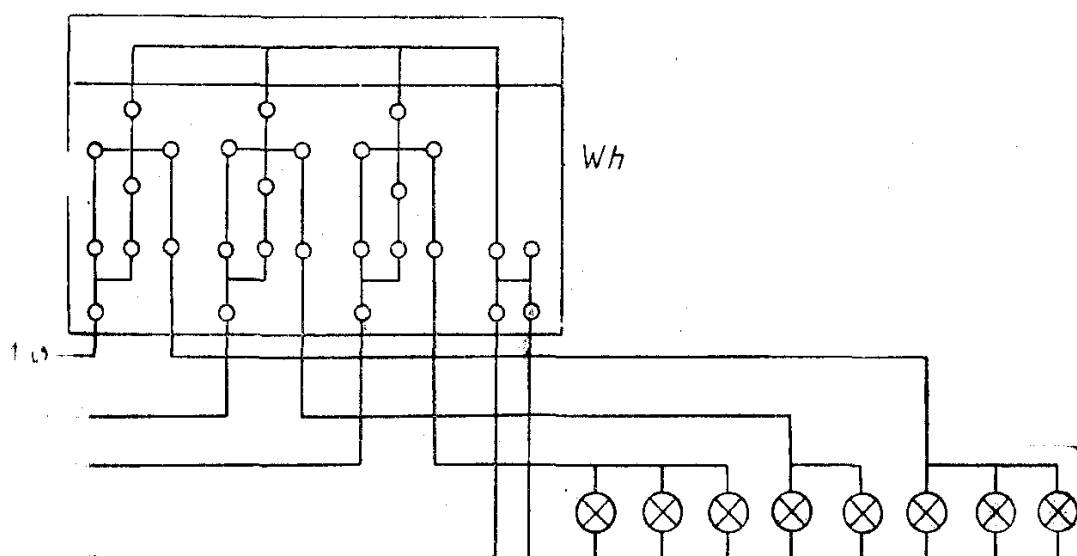
7.9- расмда кўрсатилган учта ваттметрли схема ҳар қандай уч фазали занжирлардаги реактив қувватни ўлчаш учун яроқ-лидир. Бунинг учун ваттметрлар кўрсатган қийматлар йиғин-дисини  $\sqrt{3}$  га бўлиш керак:

$$Q = \frac{X_{W_1} + X_{W_2} + X_{W_3}}{\sqrt{3}}.$$

Уч фазали занжирдаги актив ва реактив энергияни ўл-чаш. Ўзгарувчан токнинг актив энергияси индукцион счётчик-лар ёрдамида ўлчанади. Уларни занжирга улаш схемаси худ-ди ваттметрларни улаш схемаси каби бўлади. Мисол тариқа-сида 7.10- расмда уч элементли индукцион счётчикни тўрт-симли уч фазали занжирга улаш схемаси берилган.



7.9- расм.



7.10- расм.

Реактив энергияни ҳам худди реактив қувватни ўлчагандагидек сўтчикларни улаб, ўлчаш мумкин. Аммо уч фазали занжирларда реактив энергияни ўлчаш учун уч фазали махсус реактив сўтчикдан фойдаланилади.

### 7.5. ҚАРШИЛИҚНИ ЎЛЧАШ. ЎЗГАРМАС ТОК КўПРИГИ

Электротехникада учрайдиган резисторлар, электр машиналари, электр асбоблари ва бошқаларнинг қаршиликларини шартли равишда кичик (1 Ом гача), ўртача (1 дан  $10^5$  Ом гача) ва катта ( $10^5$  Ом дан юқори) қаршиликларга бўлиш мумкин. Амалда ўлчанадиган қаршиликнинг миқдори ва талаб қилинган ўлчаш аниқлигига қараб ҳар хил ўлчаш усуллари ва воситалари қўлланади.

Қаршиликни ўлчашда қуйидаги ўлчаш усулларидан фойдаланиш мумкин: а) амперметр ва вольтметр усули; б) омметр ёрдамида бевосита баҳолаш усули; в) солиштириш усули.

**Амперметр ва вольтметр усули.** Ўзгармас ток занжирида қаршиликни амперметр ва вольтметр ёрдамида ўлчаш билвосита ўлчаш усулига мисол бўлади. Бунинг учун 7.11-расмдагидек схема йиғилади. 7.11-расм, а даги схемадан кичик қаршиликларни, 7.11-расм, б даги схемадан ўртача ва катта қаршиликларни ўлчашда фойдаланилади. Номанум қаршилик Ом қонунига асосан қуйидагича аниқланади:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}, \quad (7.6)$$

бунда  $U_V$  — вольтметр кўрсатган кучланиш;  $I_A$  — амперметр кўрсатган ток.

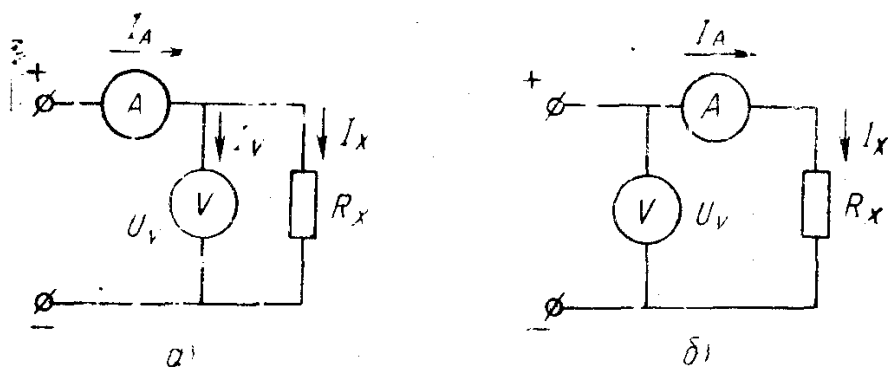
(7.6) формула билан ҳисобланган қаршилик қиймати ҳақиқий қийматдан фарқ қилади. Чунки 7.11-расм, а даги схемадан кўриниб турибдики, амперметрдан ўтаётган ток  $I_A$  номанум қаршиликдаги ток  $I_x$  га қараганда вольтметрдан ўтаётган ток  $I_V$  миқдорича ортиқдир. Шунинг учун 7.11-расм, а даги схема бўйича номанум қаршиликнинг ҳақиқий қийматини қуйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин:

$$R_x = \frac{U_V}{I_x} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - U_V/R_V}. \quad (7.7)$$

Агар вольтметрнинг қаршилиги  $R_V$  ўлчанаётган қаршилик  $R_x$  дан кўп марта катта бўлса (масалан  $R_V > 100R_x$ ), у ҳолда амперметр кўрсатган ток резистор қаршилиги  $R_x$  даги токка жуда яқин бўлади ва қаршиликни (7.6) формула ёрдамида осон топиш мумкин. Бу вақтда ўлчашдаги  $R_V$  нинг таъсири туфайли ҳосил бўлган нисбий хатолик 1% дан кичик бўлади.

7.11-расм, б даги схемада вольтметр кўрсатаётган кучланиш  $U_V$  номанум қаршилик  $R_x$  га қўйилган кучланиш  $U_x$





7.11- расм.

дан амперметрдаги кучаниш тушиши  $R_A I_A$  чалик каттадир. Шунинг учун 7.11- расм, б даги схема бўйича номаълум қаршиликнинг ҳақиқий қийматини қуйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин:

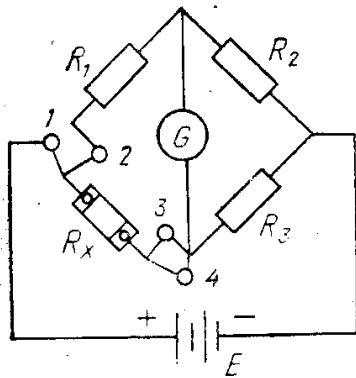
$$R_x = \frac{U_v}{I_A} = \frac{U_x + R_A I_A}{I_A}.$$

Агар амперметрнинг қаршилиги  $R_A$  ўлчанаётган қаршилик  $R_x$  дан кўп марта кичик бўлса (масалан,  $R_A < 0,01 R_x$ ), у ҳолда вольтметр кўрсатган кучланиш номаълум қаршилик учларидаги кучланиш  $U_x$  га жуда яқин бўлади ва қаршиликни (7.6) формула ёрдамида топиш мумкин. Бу вақтда  $R_A$  нинг таъсири туфайли ҳосил бўлган нисбий хатолик 1% дан кичик бўлади.

Амалда амперметр ва вольтметр усули, асосан, электр машиналари, трансформаторлар ва бошқа электромагнит аппаратларининг чулғам қаршиликларини ўлчашда қўлланилади. Бу усулнинг афзаллиги шундаки, ўлчанаётган қаршиликдан номинал ток ўтказилиб, иш режими ҳосил қилинади ва сўнг-ра қаршиликни ўлчаб, температура хатолиги ҳисобга олинади.

**Солиштириш усули.** Қаршилик юқорида кўрилган усуллар ордамида ўлчанганда ўлчаш хатолиги 1 — 3% атрофида бўлади. Қаршиликни юқори аниқликда ўлчаш учун кўприк ва компенсация усулларига асосланган солиштириш усулидан фойдаланишга тўғри келади. Ўзгармас ток кўприги икки хил бўлади: якка кўприк ва қўшалоқ кўприк. Якка, яъни оддий кўприк, асосан, ўртача ( $2 - 10^5$  Ом) қаршиликларни, қўшалоқ кўприк эса кичик қаршиликларни ўлчаш учун хизмат қилади.

Кўприк тўртта елка ва иккита диагоналдан иборат бўлади. Елканинг биттасига ўлчанадиган  $R_x$ , қолган учтасига розгла-ничи маълум қаршиликлар  $R_1$ ,  $R_2$  ва  $R_3$  уланади (7.12- расм). Кўприкнинг  $AC$  диагоналига ток манбаи  $E$ ,  $BD$  диагоналига эса магнитоэлектрик гальванометр уланади.



7.12- расм.

Қаршилик  $R_x$  ни ўлчашда қаршиликлар  $R_1$ ,  $R_2$  ва  $R_3$  шундай танландики, бунда гальванометрдаги ток нолга тенг бўлсин. Бу вақтда  $B$  ва  $D$  нуқталарнинг потенциали ўзаро тенг ва кўприк мувозанат ҳолатида бўлади, яъни:

$$U_{AB} = U_{AD} \text{ ва } U_{BC} = U_{DC}.$$

Агар кучланиш пасайишини тегишли ток ва қаршиликлар билан ифодаланса:

$$I_1 R_1 = I_x R_x \text{ ва } I_2 R_2 = I_3 R_3,$$

аммо  $I_r = 0$  бўлганда  $I_1 = I_2$  ва  $I_x = I_3$ . Шунинг учун:

$$I_1 R_1 = I_3 R_x \text{ ва } I_2 R_2 = I_3 R_3.$$

Охирги иккита тенгламани ҳадма-ҳад биринчисини иккинчисига бўлиб, ўзгармас ток кўпригининг мувозанат шартини ҳосил қиламиз:

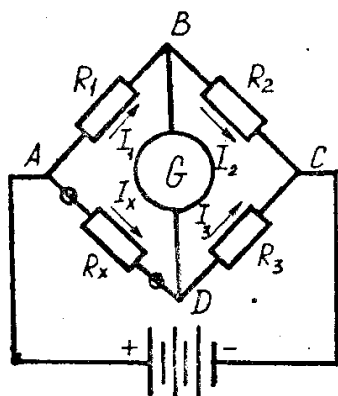
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3} \text{ ёки } R_2 R_x = R_1 R_3.$$

Ўлчанадиган қаршилик  $R_x$  нинг сон қиймати мувозанат шартига кўра қуйидагича ҳисобланади:

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}. \quad (7.9)$$

(7.9) формуладан кўринадики, номаълум қаршиликни ўлчаш нисбат  $\frac{R_3}{R_2}$  ўзгармас бўлганда елка  $R_1$  нинг (бу елка со-лиштириш елкаси дейилади) қаршилигини ростлаб ёки  $R_1$  ўзгармас бўлганда нисбат  $\frac{R_3}{R_2}$  нинг қаршилигини ростлаб, гальванометр токи  $I_r$  нолга келтирилади.

Агар ўлчанадиган қаршилик 10 Ом дан кичик бўлса, туташтирувчи симларнинг қаршилиги ўлчаш хатосига катта таъсир қилади. Бу хатони камайтириш учун  $R_x$  ни 7.13 расмдагидек қилиб улаш керак. Бу ҳолда  $R_x$  дан клемма 2 гача бўлган туташтирувчи симнинг қаршилиги елка қаршилиги  $R_1$  га ва  $R_x$  дан клемма 3 гача бўлган симнинг қаршилиги эса  $R_3$  га қўшилади.  $R_1$  ва  $R_3$  нинг қаршилиги симларнинг қаршилигидан жуда кўп марта катта.  $R_x$  дан 1 ва 4 клеммагача бўлган туташтирувчи симларнинг қаршилиги эса мос ҳолда кўприк диаго-



7.13 расм.

валининг қаршиликларига қўшилади. Бу эса кичик қаршиликларни ўлчаш аниқлигини оширади.

Туташтирувчи симлар туфайли ҳосил бўлган ўлчаш хатоллигини шу усул билан янада камайтириш натижасида пайдо бўлган кўприк қўшалоқ кўприк деб аталади. Бу кўприк тўғрисидаги маълумотларни электр ўлчаш асбобларига тааллуқли адабиётлардан олиш мумкин.

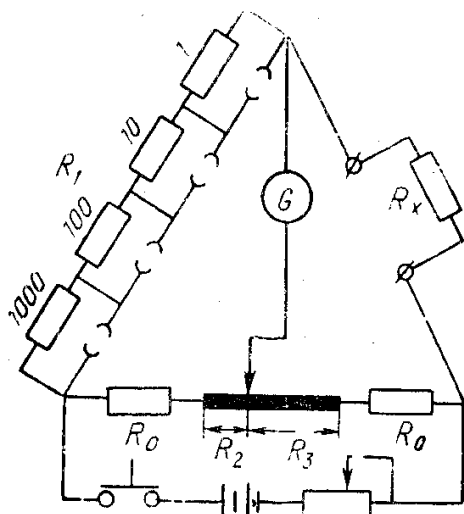
Кўприкларнинг конструкцияси турличадир. Аксарият тўрт елкали кўприкларнинг солиштириш елкаси тўрт декадали  $10 \times 1, 10 \times 10, 10 \times 100, 10 \times 1000$  Ом қаршиликлар кўринишида тайёрланади. Улар 1 дан 11110 Ом гача бўлган оралиқда ростлаш имкониятига эга. Бундай кўприкларда, одатда, елкалар нисбати 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100; 1000 Ом бўлади.

Солиштириш елкасидаги декадалар миқдор ва елкалар нисбатининг поғоналар сони кўприкдаги ўлчашлар чегарасини ва аниқлигини белгилайди. ГОСТ 7165—66 га асосан ўзгармас ток ўлчаш кўприклари жоиз хатолик бўйича қуйидаги аниқлик синфларига бўлинади: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ва 5,0.

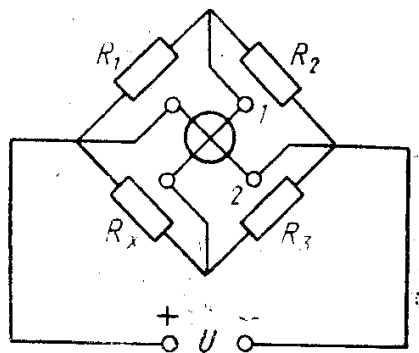
Кўприклар елкаларининг қаршиликлари конструкциясига қараб магазинли, чизиқли ёки реохордли турларда бўлади.

Магазинли кўприкларда елкаларнинг қаршиликлари штепселли ёки ричагли кўринишда бўлади.

Чизиқли (реохордли) кўприкларда солиштириш елкаси, одатда, қаршиликлар магазини кўринишида бажарилади, елкалар нисбати эса сургич (С) ёрдамида иккита ростланувчи реохордга ажралувчи реохорд (калибрланган сим) кўринишида танзимга олинилади. Чизиқли кўприкнинг схемаси 7.14-расмда кўрсатилган. Ток манбаининг қисқа туташини йўқ қилиш учун реохорд занжирига иккита бир хил чегараловчи қаршилик  $R_0$  уланади. Номаълум қаршилик  $R_x$  (7.9) формула ёрдамида топилади.  $R_2$  ва  $R_3$  ларнинг қиймати эса реохорднинг шкаласидан олинади.



7.14- расм.



7.15- расм.

Амалда мувозанатлашган кўприклар билан биргаликда мувозанатлашмаган кўприклар ҳам ишлатилади. Мувозанатлашмаган кўприкларда ўлчанаётган миқдорнинг қиймати уларнинг чиқиш диагоналидаги ток ёки кучланишнинг миқдори орқали аниқланади. Бу кўприклар кўпроқ ноэлектрик миқдорларни ўлчашда ишлатилади. Уларнинг аниқлиги мувозанатлашган кўприкларга нисбатан пастроқ бўлиб, ўлчаш натижасига манба кучланишининг ўзгариши таъсир қилади. Мувозанатлашмаган кўприкларда манба кучланишининг таъсирини йўқ қилиш учун гальванометр ўрнига логометр қўйиш ёки стабиллашган манба кучланишидан фойдаланиш керак. 7.15-расмда логометрли мувозанатлашмаган кўприк схемаси келтирилган.

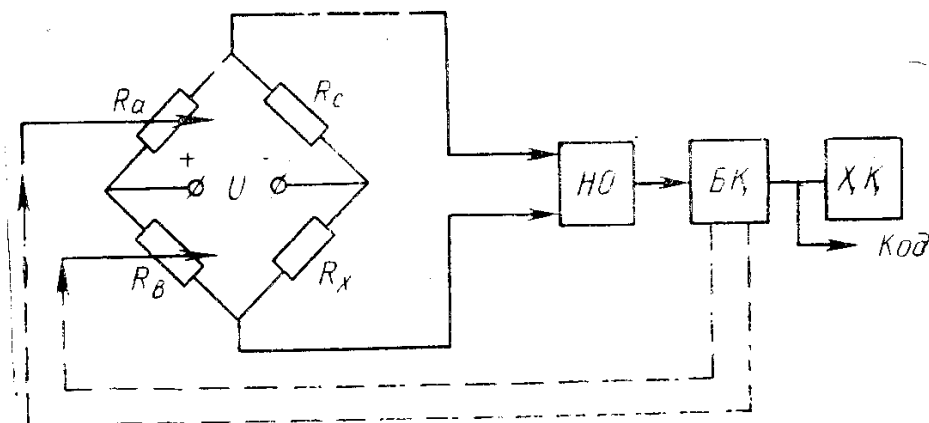
Маълумки, логометр қўзғалувчан қисмининг бурилиш бурчаги унинг қўзғалувчан рамкалари 1 ва 2 дан ўтувчи тоқларнинг нисбатига пропорционалдир. Шунинг учун манба кучланишининг ўзгариши (масалан, камайиши) кўприкнинг ўлчаш диагоналига уланган 1 рамка токени ўзгартирса (камайтирса), шу вақтнинг ўзида бошқа диагоналга уланган 2 рамка токени ҳам ўзгартиради (камайтиради), натижада кўприкнинг рамкаларидаги тоқларнинг нисбати ўзгармай қолади.

Демак, мувозанатлашмаган кўприк логометри стрелкасининг бурилиш бурчаги ўлчанаётган қаршилик  $R_x$  нинг миқдорига боғлиқ бўлади.

Кўприкни мувозанатлаштириш қўл билан ёки автоматик равишда олиб борилиши мумкин. Автоматик кўприклар, асосан, саноатда ўлчанаётган қаршилик қийматининг ўзгаришини узлуксиз кузатишда, унинг миқдорини бошқаришда ва масофада туриб ўлчашда қўлланади. Термистор ёрдамида температурани ўлчовчи ва бошқарувчи (7.8-§ га қаранг) автоматик кўприклардан ҳам халқ хўжалигида кенг фойдаланилмоқда.

Ҳозирги вақтда рақамли автоматик кўприклар ҳам тобора кўпроқ қўлланилмоқда. 7.16-расмда рақамли кўприкнинг содалаштирилган схемаси келтирилган.

Рақамли кўприк ноль орган НО, бошқарувчи қурилма БҚ, ҳисоблаш қурилмаси ХҚ ва бошқа қисмлардан иборат. Кўп-



7.16- расм.

рикда берилган программага асосан ва ноль органнинг сигналига қараб, бошқарувчи қурилма БҚ елка  $R_a$  ( $R_a$  йигирмата бир хил резистордан иборат) нинг резисторларини улаб ёки узиб кўприкни мувозанатлаштиради ва код ишлаб чиқарилади.  $R_x$  нинг қийматига қараб бошқарувчи қурилма БҚ  $R_b$  нинг қаршилигини ўзгартириб, кўприкнинг ўлчаш чегарасини ўзгартиради ва ўлчаш чегарасига қараб ХҚ да ўлчаш бирлигининг белгиси ( $\Omega$ ,  $K\Omega$ ,  $M\Omega$ ) ни алмаштиради.

7.16-расмдан кўринадики, ўлчанаётган қаршилик қуйидагича ифодаланиди:

$$R_x = \frac{R_b \cdot R_c}{R_a} = R_b R_c G_a,$$

бунда  $G_a = \frac{1}{R_a}$  —  $R_a$  елканинг умумий ўтказувчанлиги.

РЗЗ6 кўприги бешта диапазонга эга бўлиб, 0,01 Ом дан 10 МОм гача бўлган қаршиликларни ўлчайди. Кўприкнинг аниқлиги диапазонлар сонига қараб 0,05; 0,5 ва 5 бўлади.

#### 7.6. СИҒИМ ВА ИНДУКТИВЛИКНИ ЎЛЧАШ. ЎЗГАРУВЧАН ТОК КЎПРИГИ

Сиғим ва индуктивликни ўлчашда бевосита баҳоловчи асбоблар билан бир қаторда ўзгарувчан ток кўпригидан ҳам фойдаланилади. 7.17-расмда ўзгарувчан ток кўпригининг принципаал схемаси кўрсатилган.

Ўзгарувчан ток кўпригининг елкалари комплексли тўла қаршиликдан иборат бўлиши мумкин, шунинг учун унинг мувозанатлик шарти қуйидагича ифодаланади:

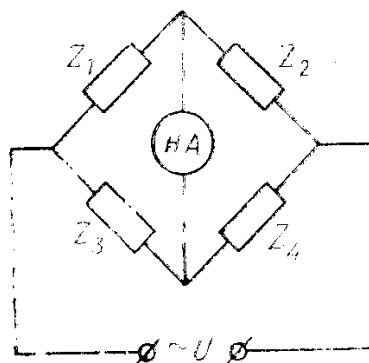
$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3. \quad (7.10)$$

Комплексли тўла қаршиликларни даража шаклида, яъни  $Z = Ze^{j\varphi}$  шаклда ёзиб, ўзгарувчан ток кўпригининг мувозанатлик шартини қуйидагича ифодалаш мумкин:

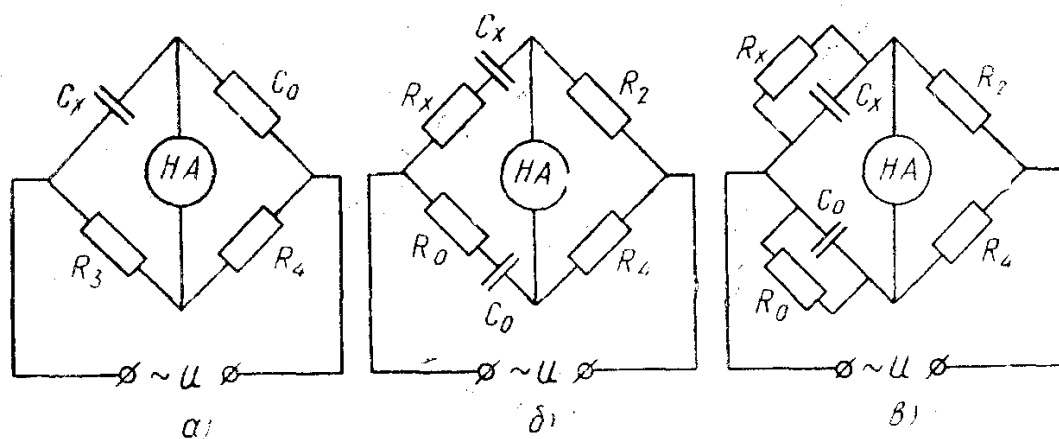
$$\left. \begin{aligned} Z_1 Z_4 &= Z_2 Z_3; \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3. \end{aligned} \right\} \quad (7.11)$$

Бунда  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  ва  $Z_4$  — тегишли елка тўла қаршиликларининг модули;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  ва  $\varphi_4$  — тегишли елка кучланишлари билан елка токлари орасидаги фаза силжиши.

Мувозанатлик шарти (7.11) даги иккинчи шартни бажариш анча қийин, шунинг учун агар иккита ёндош (масалан, учинчи ва тўртинчи) елкага соф актив қаршилик  $R_3$  ва  $R_4$  ни уласак,  $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$  бўлади ва бошқа иккита



7.17- расм.



7.18- расм.

ёндош елкага индуктивлик ёки конденсатор уланади. Агар актив қаршиликлар қарама-қарши елкаларга уланса, бошқа қарама-қарши елкаларнинг бирига индуктивлик, иккинчисига эса конденсатор уланади.

Ўзгарувчан ток кўпригидаги ноль асбоб (НА) ўрнида электрон асбоб, вибрацион гальванометрлар ва тўғрилагичли магнитозэлектрик гальванометрлар ишлатилади. 7.18-расмда конденсатор сифimini ўлчаш учун хизмат қилувчи ўзгарувчан ток кўпригининг схемалари кўрсатилган. 7.18-расм, а даги ўзгарувчан ток кўприги қувват исрофи бўлмаган конденсатор, яъни диэлектрикли (ҳаволи) конденсатор сифimini ўлчаш учун хизмат қилади. Ўлчанаётган сифим  $C_x$  намуна сифими  $C_0$  билан солиштирилиб, қуйидагича аниқланади:

$$\frac{1}{j\omega C_x} R_4 = R_3 \frac{1}{j\omega C_0} \text{ ёки } C_x = C_0 \frac{R_4}{R_3}.$$

Одатда, конденсатор оз миқдорда актив қувват қабул қилади. Шунинг учун реал конденсаторни идеал сифим  $C_x$  ва унга кетма-кет ёки параллел уланган актив қаршилиқ  $R_x$  дан иборат, деб фараз қилиш мумкин. Бу вақтда актив қаршилиқнинг миқдори қувват исрофларига эквивалент, деб қабул қилинади.

Қувват исрофи нисбатан кичик конденсаторлар сифimini ўлчаш учун актив қаршилиги кетма-кет уланган эквивалент схемадан (7.18-расм, б) фойдаланиш мумкин. Бу ҳолда кўприк елкаларининг тўла қаршиликлари қуйидагига тенг бўлади:

$$Z_1 = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}; \quad Z_3 = R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}; \quad Z_2 = R_2; \quad Z_4 = R_4.$$

Бу ифодаларни кўприкнинг умумий мувозанатлик шarti (7.10) га қўямиз:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) R_4 = R_2 \left(R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}\right).$$

Бундан кўприкнинг иккита мувозанатлик шарти келиб чиқади:

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{R_2}; \quad R_x = R_0 \frac{R_2}{R_4}.$$

Конденсаторга берилган кучланиш билан ток орасидаги фаза силжишини  $90^\circ$  га тўлдирувчи қувват исрофи бурчаги  $\delta$  ни қуйидаги ифодадан аниқлаш мумкин:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_x C_x = \omega R_0 C_0.$$

Кўприкни мувозанатлаш учун  $R_0 = 0$  бўлганда елкалар нисбати ( $R_4/R_2$ ) ни ўзгартириб, ноль асбобда энг кам ток бўлишига эришилади, сўнгра  $R_0$  ни ўзгартириб, токнинг янада кам бўлишига эришилади. Сўнгра  $R_4/R_2$  ни ўзгартириб, кўприк мувозанатланади.

Қувват исрофи нисбатан катта бўлган конденсаторлар сизимини ўлчаш учун актив қаршилиги параллел уланган эквивалент схемадан (7.18- расм, в) фойдаланилади. Кўприк мувозанатда бўлганда ўлчанаётган сизим ва конденсаторнинг актив қаршилиги:

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{R_2}; \quad R_x = R_0 \frac{R_2}{R_4}.$$

Қувват исрофи бурчаги  $\delta$  конденсатор ва резистор параллел уланганда қуйидагича аниқланади:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_x R_x} = \frac{1}{\omega C_0 R_0}.$$

7.18- расм, б ва в ёрдамида диэлектриклардаги қувват исрофларини аниқлаш мумкин.

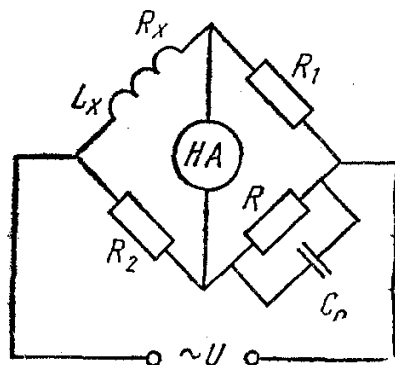
Индуктивликни ўлчаш учун бир қанча ўзгарувчан ток кўприклари мавжуд. 7.19- расмда индуктивликни намуна конденсатор сизими билан таққословчи кўприк схемаси келтирилган. Бунда ўлчанадиган индуктивлик ғалтаги ва намуна сизим кўприкнинг қарама-қарши елкаларига уланади. Схемادا  $L_x$  ва  $R_x$  — ўлчанаётган ғалтакнинг индуктивлиги ва актив қаршилиги;  $C_0$  ва  $R$  — намуна конденсатор ва унга параллел уланган резистор. Қолган елкаларга  $R_1$  ва  $R_2$  магазин қаршиликлари уланган.

Елкаларнинг тўла қаршиликлари қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x; \quad Z_2 = R_1; \quad Z_3 = R_2; \\ Z_4 = \frac{R}{1 + j\omega C_0 R}.$$

Бу ифодаларни (7.10) формулага қўйиб, ўлчанадиган ғалтакнинг параметрларини аниқлаймиз:

$$L_x = C_0 R_1 R_2; \quad R_x = \frac{R_1 R_2}{R}.$$



7.19- расм.

Саноатда универсал кўприклар ҳам ишлаб чиқарилади. Уларда сифим, индуктивлик, актив қаршилик ва қувват исрофи бурчагининг тангенсини ўлчаш мумкин, яъни универсал кўприк битта корпусда ҳам ўзгармас, ҳам ўзгарувчан ток кўпригини мужассамлаштиради.

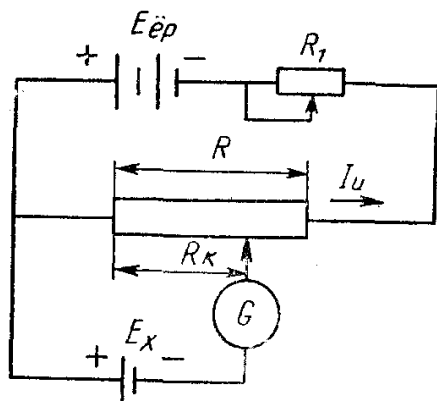
ГОСТ 9486 — 69 га асосан ўзгарувчан ток кўприклари 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 1,0; 2,0 ва 5,0 аниқлик синфларига бўлинади. Ўзгарувчан ток кўпригидаги ўлчаш аниқлиги ундаги ҳар бир диапазоннинг нисбий хатолиги билан аниқланади.

Сифим ва индуктивликни билвосита ўлчаш усуллари бўлиши гальванометр, учта вольтметр, амперметр-вольтметр-ваттметр ва бошқа усуллардан фойдаланиб ҳам ҳисоблаб топиш мумкин.

### 7.7. КОМПЕНСАЦИЯ ЎЛЧАШ УСУЛИ. ПОТЕНЦИОМЕТРЛАР

Номаълум ЭЮК ёки кучланишни маълум кучланиш билан солиштириб ўлчашга *компенсация ўлчаш* дейилади. Бунда солиштириш учун хизмаг қилувчи қурилма потенциометр деб аталади ва шунинг учун компенсация ўлчашни кўп ҳолларда кучланиш, ЭЮК ва қаршиликни потенциометрда ўлчаш деб ҳам юритилади.

**Ўзгармас токни ўлчашнинг компенсация усули.** Кучланиш бевосита баҳоловчи асбобларда ўлчанса, ўлчаш аниқлиги 99,9% дан ошмайди. Лекин бу хатолик ташқи таъсирлар туфайли 0,1% кўпайиши мумкин. Бундан ташқари, бу усул вольтметр сгрелкасининг бурилиши учун оз бўлса-да ток қабул қилади, бунинг эса амалда аниқ ўлчашларда ҳар доим ҳам иложи бўлавермайди. Масалан, термopара ЭЮК ини, нормал элемент ЭЮК ини ва бошқаларни ўлчашда токнинг ўлчанаётган миқдордан ўтиши ўлчаш хатолигини кескин ошириб юборади. Бундай ҳолларда компенсация усулидан фойдаланилади, бунда ўлчаш вақтида ўлчанаётган кучланиш ёки ЭЮК занжирида ток бўлмайди. Компенсация усулининг моҳияти ўлчанадиган номаълум ЭЮК ни маълум кучланиш пасаюви билан компенсациялаш (мувозанатлаш) орқали аниқлашдан иборатдир (7.20- расм).



7.20- расм.

$$E_x = I_u R_k,$$

бунда  $E_x$  — ўлчанадиган номаълум ЭЮК;  $I_u$  — компенсация қаршилигида кучланиш пасаювини ҳосил қилувчи маълум иш токи;  $R_k$  — аниқ, ростланувчи компенсация қаршилиги.

Кучланиш пасаювини ҳосил қилиш учун олдин юқоридаги контурда ёрдамчи батарея  $E_{\epsilon p}$  таъсири остида номинал иш токи  $I_u$  ҳо-



сил қилинади ва унинг миқдори реостат  $R_1$  ёрдамида ростланади. Сўнгра (7.20-расм) пастки контурдаги сургич  $A$  ни тахминан ўрта ҳолатдан ўннга ва чапга шундай суриш керакки, бунда гальванометр  $G$  нолни кўрсатсин. Бу эса ўлчанадиган ЭЮК  $E_x$  занжирида токнинг йўқлигидан далолат беради. Шу вақтда қаршилиқ  $R$  нинг  $R_k$  қисмидаги кучланишнинг пасажуви ўлчанаётган ЭЮК  $E_x$  га тенг бўлади, яъни

$$E_x = R_k I_u. \quad (7.12)$$

Бу формуладаги иш токи:

$$I_u = \frac{E_{\text{ер}}}{R}.$$

Ўлчаш жараёнида қаршилиқлар  $R_k$  ва  $R$  маълум бўлганлиги учун, номаълум ЭЮК қўйидагича топилади:

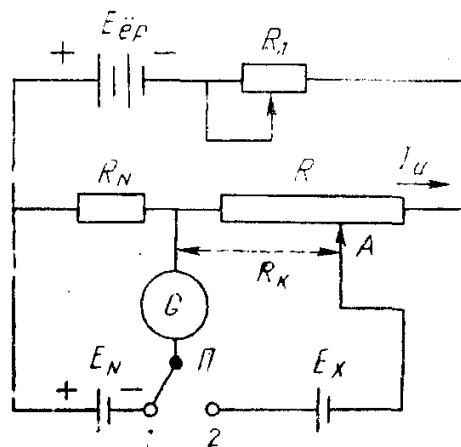
$$E_x = E_{\text{ер}} \frac{R_k}{R}.$$

Ушбу формуладан кўринадики,  $E_x$  ни топишда қаршилиқ  $R$  дан ўтувчи иш токи иштирок этмай, балки ёрдамчи батарея ЭЮК  $E_{\text{ер}}$  иштирок этади. Бу эса ўлчаш хатолигини оширади. Чунки ЭЮК  $E_{\text{ер}}$  қаршилиқка улангани туфайли, у вақт ўтиши билан зарядсизланади. Мазкур камчиликнинг таъсири ни камайт-риш мақсадида ҳозирги ҳамма потенциометрларда ёрдамчи батарея кучланишини барқарор ушлаб турувчи ярим ўтказгичли стабилизаторлар ишлатилади.

Иш токининг миқдорини аниқ ҳосил қилиш ва текшириш амперметрда эмас, балки юз мингдан биргача аниқликни таъминловчи намуна ЭЮК ўлчови — нормал элемент  $E_N$  ёрдамида амалга оширилади (7.21-расм). Потенциометрда иш токининг қийматини белгилаш ва текшириш учун переключатель (узгич)  $\Pi$  ни  $1$  ҳолатга қўйилади. Қаршилиқ  $R_1$  ни ростлаш йўли билан гальванометр стрелкасининг нолда бўлишига эришилади. Бу вақтда намуна қаршилиги  $R_N$  да иш токи  $I_u$  орқали ҳосил бўлган кучланишнинг пасажуви нормал элементнинг ЭЮК ига тенг бўлади:

$$E_N = R_N I_u; \quad I_u = \frac{E_N}{R_N}. \quad (7.13)$$

Иш токининг номинал қиймати ҳосил қилингандан сўнг, номаълум ЭЮК (кучланиш) ни ўлчаш мумкин. Бунинг учун переключатель  $\Pi$  ни ўнгдаги  $2$  ҳолатга ўтказилади ва компенсация қаршилиги  $R_k$  нинг қийматини ўзгартириб (сургич  $A$  ни



7.21-расм.

Саноатда уш  
тарда сифм,  
и бурчагини  
прик битт  
пригини  
ГОСТ  
02; 0,05  
ди. У  
р би  
С  
ни  
ти

амида ростла-  
ни А ни тах-  
лчанадиган  
керакки.  
Шу  
пасаяви  
(7.12)

арқали), гальванометрнинг нолни кўри-  
нда (7.12) формуладаги тенглик ву-

тига унинг (7.13) формуладаги  
ЭЮК қуйидагича аниқланади:

$$R_k \quad (7.14)$$

и асбобларга нисбатан асо-  
(кучланиш) ни жуда юқори  
дан намуна ўлчови — нормал эле-  
иборадир, шунингдек ўлчашнинг  
(кучланиш) дан ток (қувват) қабул  
унки гальванометр токи ўлчаш вақтида  
а). Бу эса компенсация усулида юқори аниқ-  
мумкинлигини билдиради. Ҳозирги потенцио-  
хатолигини процентнинг юздан бир ва ҳатто минг-  
улушигача камайтириш мумкин.

ўзгармас ток потенциометрлари икки гуруҳга бўлинади:  
кичик қаршиликли ҳамда катта қаршиликли потенциометрлар.

Кичик қаршиликли потенциометрларда иш токи занжири-  
нинг қаршилиги бир неча ўн ёки юз Ом, иш токи 1 дан 25 мА  
гача бўлади. Кичик қаршиликли потенциометрлар кичик ЭЮК  
(масалан, термопаранинг ЭЮК) ни ўлчаш учун хизмат қилади.

Катта қаршиликли потенциометрларда иш токи занжири-  
нинг қаршилиги 10000 Ом га етади ва иш токи 0,1 мА бўла-  
ди. Бу потенциометрларнинг юқори ўлчаш чегараси ЭЮК ёки  
кучланиш бўйича 1,2 — 2,5 В га етади.

Ўлчанадиган миқдорнинг қийматини ҳисоблаш аниқлиги ва  
потенциометрнинг ўлчаш чегараси, (7.14) формуладан кўри-  
надики, компенсация қаршилиги  $R_k$  нинг конструкцияси ва  
схемаси билан аниқланади. Чунки нормал ЭЮК  $E_N$  ва ўзгар-  
мас қаршилик  $R_N$  қийматлари жуда юқори аниқлигининг юқо-  
ри экаплиги маълумдир.

Компенсация қаршилиги  $R_k$  нинг схемаси ва конструкцияси  
 $R_k$  ни нолдан потенциометрнинг юқори чегарасига тўғри ке-  
лувчи қийматигача, иложи борича, текис ростлаш имконини  
бериши; ўлчанадиган миқдорнинг энг кичик қийматларини ҳи-  
соблаш имконини бериши; қаршилик қийматининг доимийли-  
гини ва унинг миқдорига ташқи омилларнинг кам таъсир қи-  
лишини таъминлаши керак.

Компенсация қаршилиги жуда хилма-хилдир. Компенсация  
қаршилигининг энг оддий схемаси сургичли реохорд кўрини-  
шида бўлади. Ҳозирги замон потенциометрларида шунтловчи  
декадали, ўрнини босувчи декадали ва қўшалок декадали қар-  
шиликлар схемаси кўп қўлланилади.

Потенциометрларнинг жоиз хатолиги уларнинг паспорти ва  
ишчида кўрсатилган махсус формулалар билан ҳисобланади.

ўннга ёки чапга суриш орқали), гальванометрнинг нолни кўрсатишига эришилади ва бунда (7.12) формуладаги тенглик вужудга келади.

(7.12) формуладаги  $I_u$  ўрнига унинг (7.13) формуладаги ифодасини қўйсак, номаълум ЭЮК қуйидагича аниқланади:

$$E_x = E_N \frac{R_k}{R_N}. \quad (7.14)$$

Потенциометрларнинг кўрсатувчи асбобларга нисбатан асосий афзаллиги, номаълум ЭЮК (кучланиш) ни жуда юқори даражали аниқликка эга бўлган намуна ўлчови — нормал элемент ёрдамида ўлчашдан иборатдир, шунингдек ўлчашнинг ўзи ўлчанаётган ЭЮК (кучланиш) дан ток (қувват) қабул қилмаслигидадир (чунки гальванометр токи ўлчаш вақтида нолга тенг бўлади). Бу эса компенсация усулида юқори аниқликка эришиш мумкинлигини билдиради. Ҳозирги потенциометрларнинг хатолигини процентнинг юздан бир ва ҳатто мингдан бир улушигача камайтириш мумкин.

Ўзгармас ток потенциометрлари икки гуруҳга бўлинади: кичик қаршиликли ҳамда катта қаршиликли потенциометрлар.

Кичик қаршиликли потенциометрларда иш токи занжирининг қаршилиги бир неча ўн ёки юз Ом, иш токи 1 дан 25 мА гача бўлади. Кичик қаршиликли потенциометрлар кичик ЭЮК (масалан, термопаранинг ЭЮК) ни ўлчаш учун хизмат қилади.

Катта қаршиликли потенциометрларда иш токи занжирининг қаршилиги 10000 Ом га етади ва иш токи 0,1 мА бўлади. Бу потенциометрларнинг юқори ўлчаш чегараси ЭЮК ёки кучланиш бўйича 1,2 — 2,5 В га етади.

Ўлчанадиган миқдорнинг қийматини ҳисоблаш аниқлиги ва потенциометрнинг ўлчаш чегараси, (7.14) формуладан кўринадик, компенсация қаршилиги  $R_k$  нинг конструкцияси ва схемаси билан аниқланади. Чунки нормал ЭЮК  $E_N$  ва ўзгармас қаршилик  $R_N$  қийматлари жуда юқори аниқлигининг юқори эъанлиги маълумдир.

Компенсация қаршилиги  $R_k$  нинг схемаси ва конструкцияси  $R_k$  ни полдан потенциометрнинг юқори чегарасига тўғри келувчи қийматигача, иложи борица, текис ростлаш имконини бериши; ўлчанадиган миқдорнинг энг кичик қийматларини ҳисоблаш имконини бериши; қаршилик қийматининг доимийлигини ва унинг миқдорига ташқи омилларнинг кам таъсир қилишини таъминлаши керак.

Компенсация қаршилиги жуда хилма-хилдир. Компенсация қаршилигининг энг оддий схемаси сургичли реохорд кўринишида бўлади. Ҳозирги замон потенциометрларида шунтловчи декадали, ўрнини босувчи декадали ва қўшалок декадали қаршиликлар схемаси кўп қўлланилади.

Потенциометрларнинг жоиз хатолиги уларнинг паспорти ва шчитида кўрсатилган махсус формулалар билан ҳисобланади.

Ўзгармас ток потенциометрлари ГОСТ 9245 — 68 нинг ҳамма галабларини қониқтириши керак. Мазкур ГОСТ га асосан қуйидаги аниқлик синфлари мавжуд: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2.

Потенциометрда ток кучи ва қаршиликларни ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун ток кучи ва қаршилик махсус схема бўйича кучланишга айлантирилиши керак.

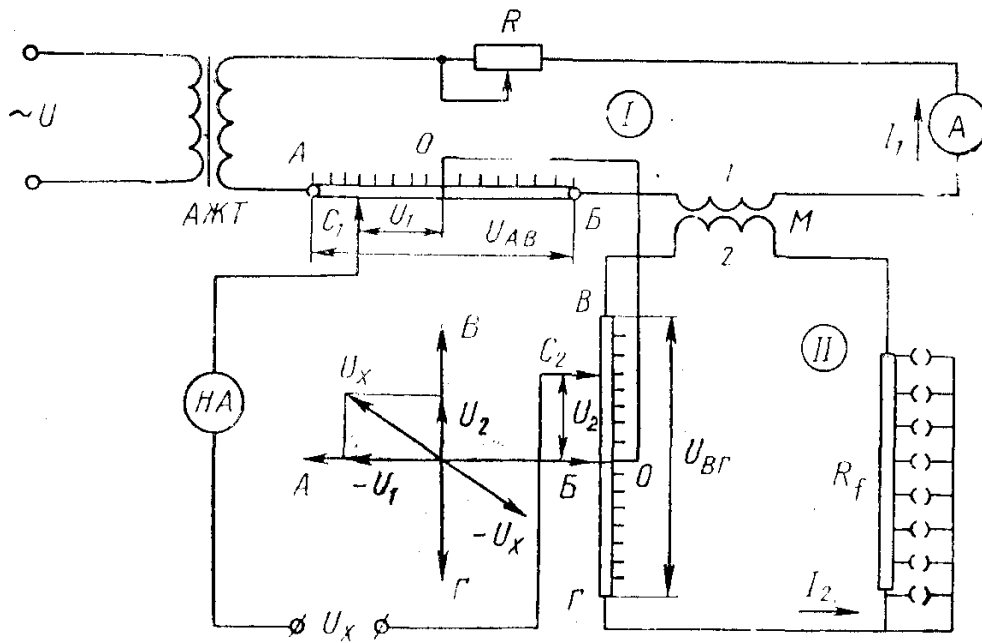
**Ўзгарувчан токни ўлчашнинг компенсация усули.** Ўзгарувчан ток занжирларидаги кичик ЭЮК, кучланиш, комплекс қаршилик ва бошқаларни аниқ ўлчашлар, худди ўзгармас ток занжирларидагигек, компенсация усули ёрдамида амалга оширилади. Ўзгарувчан ток потенциометрларининг ишлаши худди ўзгармас ток потенциометрлари каби бўлиб, ўлчанадиган номаълум кучланишни компенсация қаршилигида иш токи ҳосил қилган маълум кучланиш пасаюви билан мувозанатлашдан иборат. Аммо ўзгарувчан ток занжирларида мувозанатлик шarti, ўзгармас ток занжирларидагига қараганда анчагина мураккаброқ. Ўлчанадиган номаълум ўзгарувчан ток кучланишини маълум кучланиш билан мувозанатлаш учун қуйидаги тўртта шарт: 1) улар сон қийматлари (модуллари) нинг тенглиги; 2) улар фазаларининг қарама-қаршилиги; 3) частоталарининг тенглиги; 4) оний қийматларининг вақт бўйича ўзгариш эгри чизиқлари шаклининг бир хиллиги таъминланиши керак.

Ўзгарувчан ток потенциометрларининг ноль асбоблари сифатида саноат частота учун вибрацион гальванометрлар ва юқори частоталар учун электрон асбоблар ишлатилади.

Ўзгарувчан ток ЭЮК учун намуна ўлчовининг йўқлиги ўзгарувчан ток потенциометрларининг ўлчаш аниқлигини анчагина пасайтиради. Потенциометрларда иш токи аниқлик синфи 0,2 ёки 0,5 бўлган электродинамик амперметрлар билан ростланади. Шунга қарамай, ўлчаш объектдан қувват қабул қилмай ишлаши ва ўлчанадиган кучланишнинг фазасини аниқлаш имконияти ўзгарувчан ток потенциометрларидан фойдаланишга сабаб бўлди.

Ўлчанадиган кучланишни компенсация қилиш усулига қараб ўзгарувчан ток потенциометрлари қутб координатали ва тўғри бурчак-координатали хилларга бўлинади. Ҳозирги вақтда фақат тўғри бурчак-координатали потенциометрлар ишлаб чиқарилади. Мазкур потенциометрнинг принципиал схемаси 7.22-расмда кўрсатилган. Потенциометр иккита иш занжири I ва II дан иборат. Иш занжири I калибрланган сим  $AB$ , ҳаволи трансформатор (пўлат ўзаксиз)  $M$  нинг бирламчи чулғами  $1$ , амперметр  $A$ , реостат  $R$  ва ажратувчи трансформатор  $AT$  нинг иккиламчи чулғамидан иборат. Ушбу занжирнинг токи  $I_1$  сим  $AB$  да кучланиш пасаюви  $U_{AB}$  ни ҳосил қилади.

Иш занжири II калибрланган сим  $ВГ$ , ҳаволи трансформатор  $M$  нинг иккиламчи чулғами  $2$  ва резистор  $R$  дан иборат. Бу занжирнинг токи  $I_2$  биринчи занжир токи  $I_1$  дан, фаза



7.22- расм.

жиҳатдан, деярли  $90^\circ$  га кечикади. Бу қуйидагича тушунтирилади. Ҳаволи трансформатор  $M$  нинг чулғамидан  $I_1$  ток оқиб ўтиб, магнит оқимини ҳосил қилади. Магнит оқими бу ток билан бир хил фазада бўлади, чунки ҳаволи трансформаторда уярма токка ва гистерезисга қувват исроф бўлмайди. Бу оқим иккиламчи чулғамда ўзидан  $90^\circ$  га кечикувчи ЭЮК ҳосил қилади.

Агар бу занжирнинг реактив қаршилиги ҳаддан ташқари кичик қилиб олинса, у ҳолда ток  $I_2$  ЭЮК билан бир хил фазада бўлади ва  $I_1$  дан  $90^\circ$  га кечикади. Шунинг учун ток  $I_2$  сим  $B\Gamma$  да ҳосил қилган кучланиш пасаяуви  $U_{B\Gamma}$  ҳам кучланиш пасаяуви  $U_{AB}$  дан  $90^\circ$  га кечикади.

$C_1$  ва  $C_2$  сургичлар ёрдамида умумий нуқта  $O$  билан  $C_1$  ва  $C_2$  сургичлар орасидаги  $U_1$  ва  $U_2$  кучланишлар пасаяувининг қийматларини ўзгартира бориб, ўлчанадиган кучланиш  $U_x$  ни компенсациялашга эришиш мумкин. Бунда номаълум кучланишнинг абсолют қиймати қуйидагига тенг:

$$U_x = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}.$$

Ўлчанадиган кучланиш  $U_x$  нинг фазаси қуйидагича аниқланади:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_2}{U_1}.$$

$I_1$  ва  $I_2$  лар қиймат жиҳатдан ўзгармас бўлганлиги учун бу тоқлар ҳосил қилган кучланиш пасаяувлари  $U_{AB}$  ва  $U_{B\Gamma}$  лар ҳам ўзгармас бўлади. Шунинг учун  $R_{AB}$  ва  $R_{B\Gamma}$  ларнинг

шкаласини кучланиш бирлигида даражалаб, ўлчанадиган кучланишни компенсация қилувчи кучланишлар  $U_1$  ва  $U_2$  ларни осонгина ҳисоблаш мумкин. Лекин, ҳаволи трансформаторнинг иккиламчи чулғамида индукцияланган ЭЮК нинг қиймати  $I_1$  нинг частотаси  $f$  га боғлиқ. Шунинг учун ўзгармас ток  $I_1$  да  $I_2$  нинг ўзгармаслиги учун иккинчи занжирга қаршилик  $R_f$  уланган.

Ўлчаш натижаларига тармоқ таъсирини йўқ қилиш учун потенциометр электр тармоғига ажратувчи трансформатор  $AT$  орқали уланади. 7.22-расмдаги иккала иш занжирлари фазода  $90^\circ$  га силжитиб жойлаштирилган. Бу иш  $I_1$  ва  $I_2$  ҳамда кучланишлар пасажуви  $U_{AB}$  ва  $U_{BG}$  лар орасидаги  $90^\circ$  ли фаза силжиши яққол кўриниши учун қилинган.

### 7.8. НОЭЛЕКТР КАТТАЛИКЛАРНИ ЭЛЕКТР УСУЛИДА ЎЛЧАШ

Илмий тадқиқотларда, технологик жараёнларда, янги машина ва аппаратларни яратиш ва уларни созлаш ҳамда ишлашиш жараёнида кўпгина ноэлектр катталикларни электр усулида ўлчашга тўғри келади. Ноэлектрик катталиклар бўлмиш механик, иссиқлик ва бошқа катталикларни ўлчаш учун хизмат қилувчи электр асбоблари ва усуллари бир қанча афзалликларга эга. Улар ноэлектрик катталикларнинг қийматинигина эмас, балки уларнинг сифатини ҳам аниқлаш, ўлчаш ва белгилаш имконини беради.

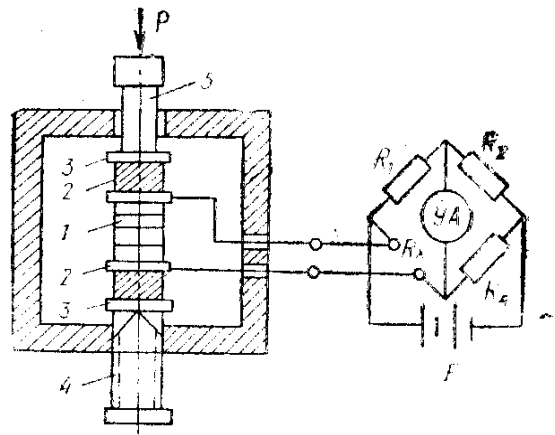
Электр ўлчаш усуллари ва асбобларининг афзалликларига асбоб сезгирлигини катта оралиқда осонгина ўзгартиш; жуда тез ҳамда жуда секин ўтувчи жараёнларни ўлчаш ва ёзиб олиш мумкинлиги; олисда туриб ўлчаш ва ўлчаш натижаларини олис масофага узатиш мумкинлиги; ноэлектр асбоблар билан ўлчаш мумкин бўлмаган жойлардаги катталикларни ўлчаш ва кузатиш мумкинлиги; ўлчаш натижаларини марказлаштириш ва ўлчаш объектига қайтадан автоматик равишда таъсир этиш имконияти ва бошқаларни киритиш мумкин.

Ҳозирги вақтда ноэлектр катталикларни ўлчаш ахборот-ўлчаш техникасининг каттагина соҳасини ташкил этади, бу катталикларни ўлчаш учун керак бўладиган асбобларни ишлаб чиқариш эса асбобсозлик саноатининг йирик тармоғига айланган.

Ноэлектр катталикларни ўлчайдиган электр асбоблар электр катталикларни ўлчайдиган асбоблардан фарқ қилади. Уларнинг таркибида ноэлектр катталиклар (температура, босим, силжиш, тезлик, тезланиш, сатҳ, сарф ва бошқалар) ни электр катталиклар (ток, кучланиш, қувват) га ёки электр параметрлари (қаршилик, индуктивлик, сигим, магнит қаршилиги ва бошқалар) га айлантириб берувчи бир ёки бир нечта ўлчаш ўзгартиргичлари бўлади. Ўлчаш ўзгартиргичини, одатда, *датчик* деб аталади.



7.23- расм.



7.24- расм.

7.23- расмда ноэлектр катталикни электр усулида ўлчашнинг оддий структура схемаси кўрсатилган. Ўлчанадиган ноэлектр катталик  $x$  ўлчаш ўзгартиргичи (ЎЎ) нинг киришига берилади. Ўлчаш ўзгартиргичининг чиқишидаги электр катталик  $y$  электр ўлчаш асбоби (ЭЎА) ёрдамида бевосита ёки билвосита усулларда ўлчанади. Электр ўлчаш асбобининг шкаласи ўлчанадиган ноэлектр катталик бирлигида даражаланади, бу эса ўлчашни тезлатади ва ўлчаш хатолигини камайтиради.

Ишлашига қараб ҳамма ўлчаш ўзгартиргичларини параметрли ёки генераторли турларга ажратиш мумкин.

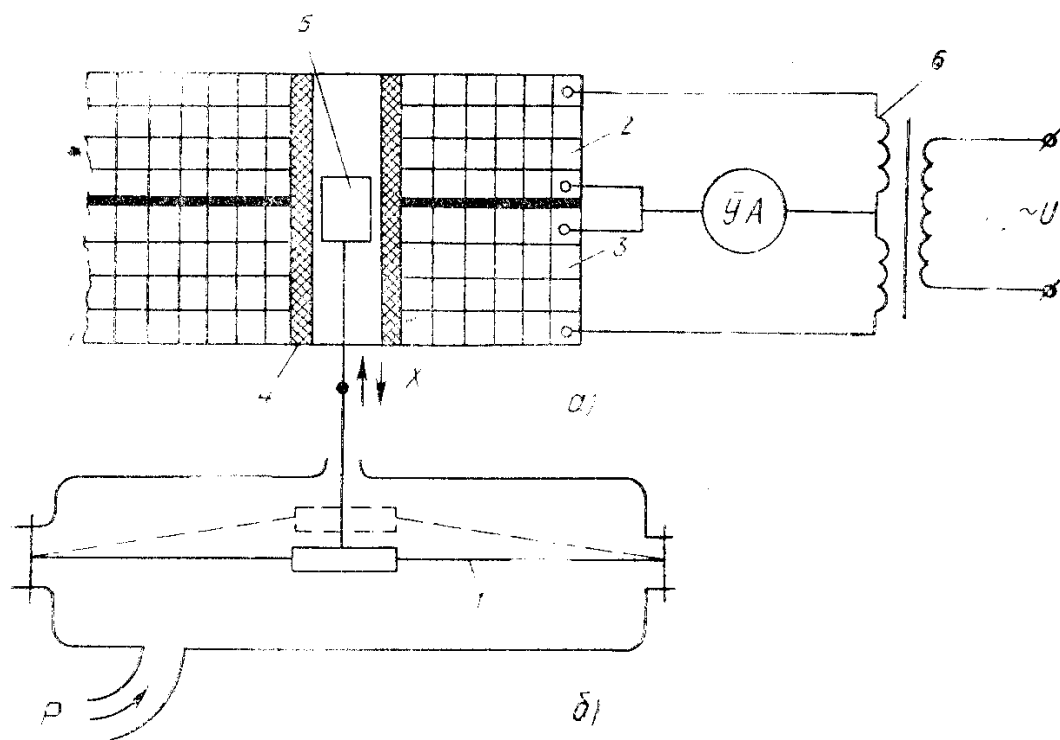
Қуйида куч, сатҳ, силжиш, тезлик, температура каби ноэлектр катталикларни ўлчаш учун хизмат қилувчи схемаларни келтирамиз.

**Кучни ўлчаш** учун кўмир шайбали датчик ва теплодатчиклардан фойдаланилади. Ҳар иккала датчикнинг ҳам ишлаш принципи куч таъсиридан ўз қаршилиқларини ўзгартиришга асосланган.

7.24- расмда кўмир шайбали датчик ёрдамида кучни ўлчаш учун хизмат қилувчи қурилманинг принципиал схемаси кўрсатилган. Кўмир шайбали датчик 10 — 15 та кўмир шайбалар 1, жез шайба 2 ва изоляцияловчи слюдали шайба 3 дан иборат. Булар винт 4 ва стержень 5 билан сиқиб қўйилади. Жез шайбага ташқарига чиқарилган симлар уланган. Ўлчаш схемаси сифатида ўзгармас ток кўприги хизмат қилади.

Ташқаридан куч  $P$  таъсир этмаганда кўприк мувозанатда бўлади. Стержень 5 га  $P$  куч қўйилганда кўмир шайбалар қисилиб, қаршилиқларни ўзгартиради. Натижада кўприк мувозанат ҳолатдан чиқиб, унинг диагоналида ток ҳосил бўлади ва ўлчаш асбоби УА нинг стрелкаси бурилади. Ўлчаш асбобининг шкаласи ўлчанадиган куч бирлигида даражаланади.

**Босимни ўлчаш** учун суюқликли, мембранали, сифонли, пружинали ва бошқа датчиклар ишлатилади. Ушбу датчикларда босим ёки босимлар фарқи кичик механик бурчакли



7.25- расм.

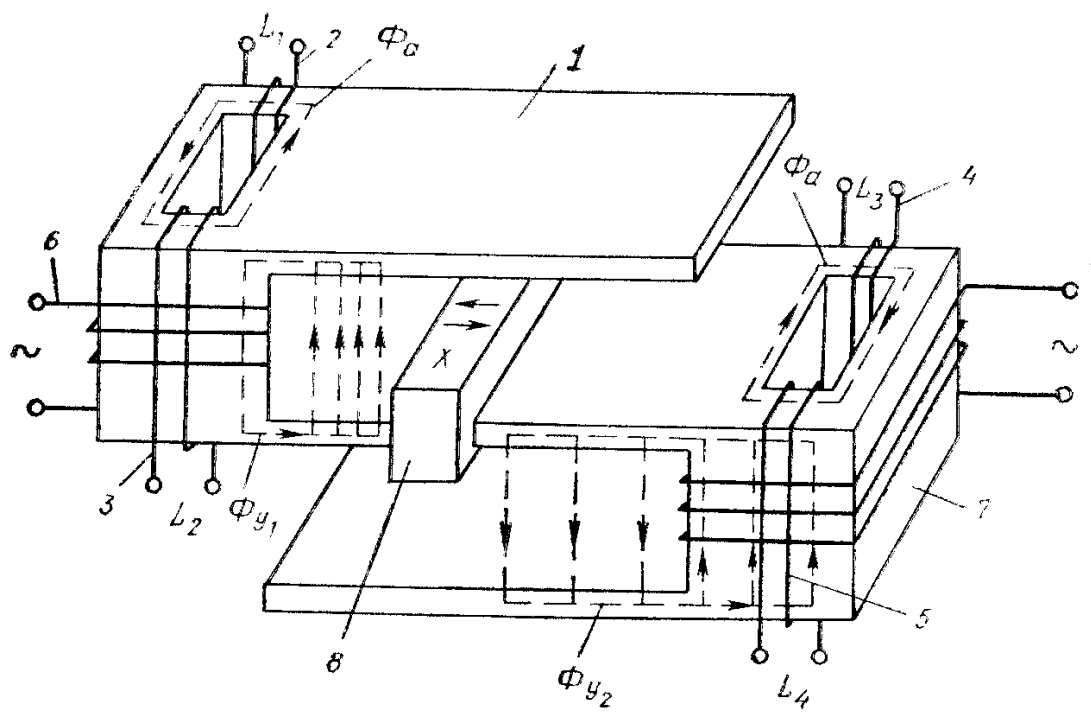
ёки чизиқли силжишга айлантирилади. Механик силжишни тўғридан-тўғри ёки механик силжиш датчиклари ёрдамида ўлчаш мумкин.

7.25- расмда босимни мембранали босим датчиги ва индуктив датчик ёрдамида ўлчаш учун хизмат қилувчи қурилманинг принципиал схемаси кўрсатилган.

7.25- расм, *а* да жамланган параметрли индуктив датчик берилган. Бу датчик қўзғалувчан ўзак *б* ва индуктивлиги бир хил бўлган ғалтак *2* ва *3* дан иборат. Ғалтак чулғами магнитланувчанлик хоссасига эга бўлмаган найча *4* устига ўралган ва трансформатор *б* нинг иккиламчи чулғами учига дифференциал схема бўйича уланган. Индуктив ғалтаклар билан трансформатор иккиламчи чулғамининг ўрта нуқталари орасига ўлчаш асбоби *УА* уланган.

7.25- расм, *б* да босим датчиги кўрсатилган. Ўлчанаётган босим *p* мембрана *1* га таъсир этиб, уни юқорига ёки пастга олади. Натижада мембранага уланган ўзак силжийди. Агар босим бўлмаса, мембрана ўрта ҳолатда бўлади, шунинг учун қўзғалувчан ўзак индуктив ғалтак чулғамининг ўртасида турлади. Бу вақтда ғалтакнинг индуктивлиги ва индуктив қаршилиги бир-биридан фарқ қилмайди, натижада электр ўлчаш асбоби *УА* дан ўтувчи ток нолга тенг бўлади. Агар босим таъсир этса, мембрана ва унга маҳкамланган ўзак юқорида силжийди (ра мда пунктир чизиқ билан кўрсатилган). Натижада ғалтак *2* нинг индуктивлиги бирор қийматга ошади, шу





7.26- расм.

вақтда ғалтак 3 нинг индуктивлиги эса ўшанча қийматга камаяди. Натижада ўлчаш асбоби  $\bar{U}A$  дан механик силжиш қийматига, яъни ўлчанаётган босим қийматига мос ток оқиб ўтади. Асбобнинг шкаласи миллиметр ёки босим бирлигида даражаланади. Мазкур қурилма ёрдамида босимлар фарқини ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун мамбрананинг юқори қисмига  $P_1$  босим, пастки қисмига эса  $P_2$  берилади.

Силжишни ўлчаш учун силжиш датчикларидан фойдаланилади. Бунда турли физик катталиклар, чунончи, босим, температура, газ ёки суюқлик сарфи, зичлик ва бошқалар механик силжишга айлантирилади ва силжиш датчиклари ёрдамида ўлчанади. Силжиш датчиклари реостатли датчик, сифимли датчик, индуктив датчик, трансформаторли датчик ва бошқа турларга бўлинади.

Ушбу дарсликда индуктив силжиш датчикларининг кўриб чиқамиз. Индуктив датчик жамланган ва тақсимланган параметрли бўлиши мумкин. 7.25-расм, *a* да кичик (0,5 — 20 мм гача) механик силжишларни ўлчаш учун хизмат қилувчи жамланган параметрли индуктив силжиш датчигининг конструкцияси кўрсатилган. Катта (0,2 — 100 см ва бундан ҳам ортиқ) механик силжишларни ўлчаш учун тақсимланган параметрли индуктив датчикдан фойдаланилади. 7.26-расмда тақсимланган параметрли индуктив датчик конструкциясининг схемаси берилган.

Чизиқли индуктив датчик *S* шаклидаги узайтирилган магнит ўтказгич *I* дан иборат. Магнит ўтказгичнинг асосида биттадан тешик бор, асосларидаги индуктивлик ғалтаклари 2, 3, 4 ва 5 ларни ҳосил қилишда симлар шу тешиклардан ўткази-

лади, индуктивлиги бир хил  $L_1, L_2, L_3, L_4$  бўлган бу ғалтаклардан ташқари, магнит ўтказгичга уйғотиш чулғамлари 6 ва 7 ҳам ўратган. Магнит ўтказгичнинг ўртанча ўзагида ҳаракатланувчи мис ёки алюминий экран 8 бор. Бу экран механик силжиши ўлчанадиган объектга маҳкам бириктирилади. Уйғотиш чулғамлари ўзаро кетма-кет туташтирилиб, кейин ўзгарувчан ток манбаига уланади. Уйғотиш чулғамларидан ўтаётган ток таъсирида параллел стерженлар орқали туташувчи магнит оқимлари  $\Phi_{y_1}$  ва  $\Phi_{y_2}$  ҳосил бўлади, уларнинг миқдори экраннинг ҳолатига боғлиқ.

Индуктив ғалтакларнинг тўртгаласи ҳам кўприк схемасида уланади. Кўприкнинг бир диагоналига ўзгарувчан кучланиш манбаи уланганда иккинчи (чиқиш) диагоналида экраннинг силжишига пропорционал равишда кучланиш ҳосил бўлади. Эcran магнит ўтказгичнинг ўртасида турганида ғалтак индуктивликлари ўзаро тенглашади, яъни  $L_1 = L_2 = L_3 = L_4$  (кўприк мувозанатга бўлади) ва кўприкнинг чиқиш диагоналидаги кучланиши нолга тенг бўлади. Эcran ўрта ҳолатдан ўнгга ёки чапга қанча силжиса, бир асосдаги магнит оқими  $\Phi_a$  шунча ошиб, иккинчиседа шунча камаяди. Бинобарин,  $L_1$  ва  $L_2$  индуктивликлар қанчага ошса,  $L_3$  ва  $L_4$  индуктивликлар шунчага камаяди. Натижада кўприк диагоналида чиқиш кучланиши  $U_r$  ҳосил бўлади:

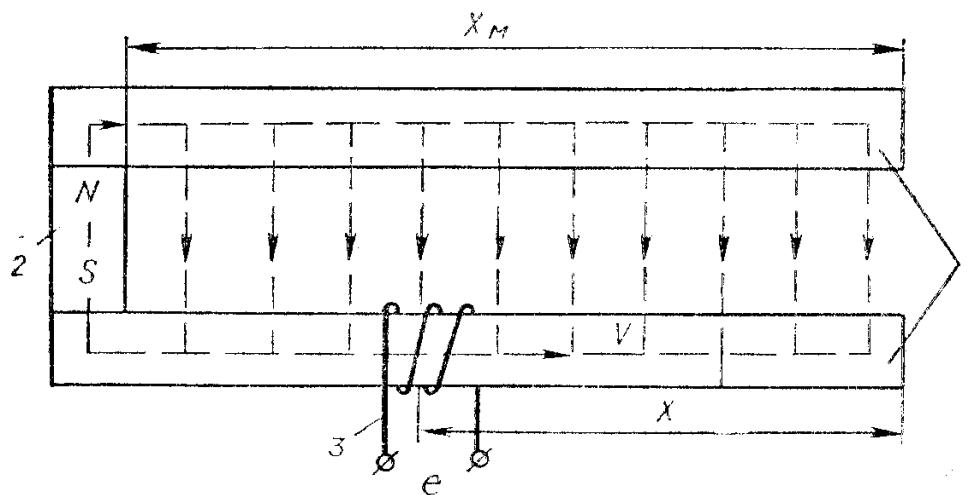
$$U_r = U_k \frac{L_1 - L_3}{L_1 + L_3} = U_k \frac{L_2 - L_4}{L_2 + L_4},$$

бу ерда  $U_k$  — кўприк диагоналига уланган ўзгарувчан ток манбаининг кучланиши.

Шундай қилиб, кўприкнинг чиқиш диагоналига милливольтметрни улаб, эcran маҳкамланган объектнинг механик силжишини ўлчаш мумкин.

**Тезликни ўлчаш** учун тахогенератор ва тезлик датчикларидан фойдаланилади. *Тахогенератор* айланмиш тезлигини ўлчаш учун хизмат қилади. Қуйида қизиқли тезликни ўлчаш учун хизмат қилувчи қизиқли тезлик датчикларининг конструкцияси келтирилади.

Тезлик датчилари ишлаш принципіга қараб бир неча турга бўлинади: индукцион тезлик датчиги; магнит-модуляцион тезлик датчиги; Ҳолл элементли тезлик датчиги ва бошқалар. Бу датчиклар қўзғалувчан қисмининг турига қараб, қўзғалувчан чулғамли, қўзғалувчан магнитли, қўзғалувчан ўзакли ва қўзғалувчан экранли бўлиши мумкин. Сандат корхоналарида иш жараёнини автоматлаштириш вақтида иш механизми ҳаракатланувчи қисмларининг силжиш тезликларини ўлчаш ва қайд қилишда, металл кесувчи ва ёғочга ишлов берувчи дастгоҳларнинг тезлигини текширишда, дастгоҳда металлари кавшарлаш тезликларини ёзиб бориш ва бошқа ҳаракат тезликларини ўлчашда тезлик датчикларидан фойдаланилади.



7.27-расм.

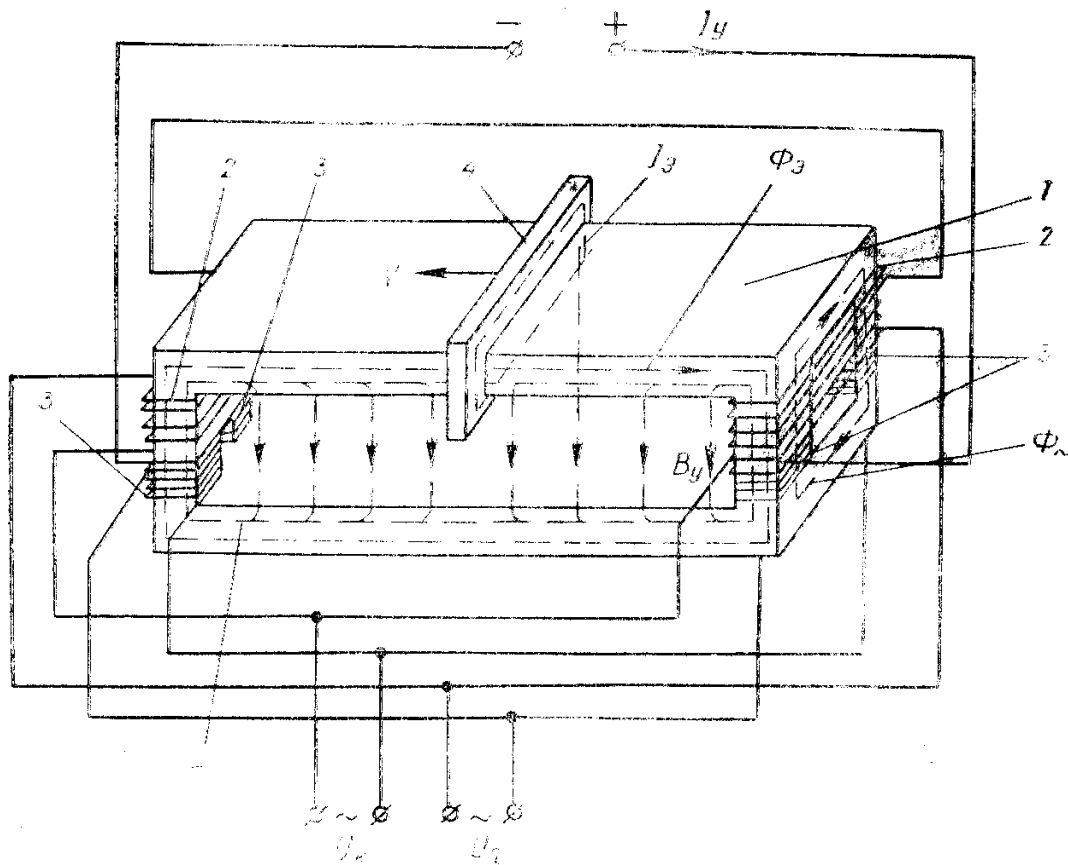
Қўзғалувчан чулғамли индукцион тезлик датчиги 7.27-расмда кўрсатилган. Датчик *11* шаклдаги қўзғалмас магнит ўтказгичдан иборат. Ўзгармас (доимий) магнит *2* магнит ўтказгичнинг асоси бўлиб хизмат қилади. Унинг узайтирилган ихтиёрий битта стерженига қўзғалувчан ўлчаш чулғами *3* ўралган. Ўзгармас магнит иккита параллел стержень орасида деярли бир хил магнит индукциясини ҳосил қилади. Қўзғалувчан ўлчаш чулғами стержень бўйича қандайдир *V* тезлик билан силжиса, унинг ўрамлари стерженлар орасидаги магнит куч чизиқларини кесиб ўтиши натижасида чулғамда ЭЮК ҳосил бўлади. ЭЮК нинг қиймати ўлчаш чулғамининг силжиш тезлигига пропорционалдир:

$$e = S_V \cdot V.$$

Датчикнинг сезgirлиги  $S_V$  қўзғалувчан ўлчаш чулғамининг ўрамлар сонига, стерженлар орасидаги магнит индукцияга ва солиштирама магнит ўтказувчанликка пропорционалдир.

Қўзғалувчан ўлчаш чулғамли индукцион тезлик датчиги ёрдамида 0,05 — 50 мм/с оралиқдаги чизиқли тезликларни ўлчаш мумкин. Агар датчикнинг ўлчаш чулғамига ўзиёзар асбоб уланса, асбоб объект тезлигини қоғозга ёзиб боради. Ушбу датчик жуда сезgir ҳисобланади. Лекин унинг камчилиги ҳам бор (қўзғалувчан ўлчаш чулғами учларининг осилиб туриши). Шунинг учун қўзғалувчан ўлчаш чулғамининг ҳаракат оралигини ошириш унинг осилиб турган учларининг тез узилишига қисман сабабчи бўлади. Бундай датчик ўлчаш чулғамининг ҳаракат оралиги 20 — 30 см дан ошмайди.


**Магнит-модуляцион чизиқли тезлик датчиги** 7.28-расмда кўрсатилган. Датчик узайтирилган □ шаклидаги магнит ўтказгич *1* дан иборат бўлиб, икки ён томонига уйғотувчи чулғам *2* лар ўралган. Магнит ўтказгичнинг икки ён томони бир хилда тешилган бўлиб, ҳар бирига иккитадан индуктивлик



7.2b. расм

галтаги 3 ўралган. Балтакларнинг индуктивликлари ( $L_1, L_2, L_3, L_4$ ) узаро кўприк схемасида уланган. Магнит ўтказгичнинг бир стерженига қўзғалувчан экран (қисқа туташтирилган чулгам) 4 ўрнатилган. Бу экран тезлиги текшириладиган объектка маҳкамланган бўлади. Индукцион чизиқли тезлик датчиги мазкур датчигнинг асоси бўлиб хизмат қилади. Магнит-модуляцион тезлик датчигининг тезликка пропорционал булган чиқиш экран токи қайтадан магнит индукциясига айлантирилади. Тезликка пропорционал магнит индукцияси магнит ўтказгичнинг чеккаларидаги магнит қаршиллигини ўзгартиргивлиги туфайли бу датчик магнит-модуляциловчи чизиқли тезлик датчиги деб юритилади. Датчик қўйидагича ишлайди. Уйғотиш чулгами 2 ўзгармас ток манбаига уланганда магнит ўтказгичнинг параллел стерженлари орасида деярли бир хил магнит индукцияси ҳосил бўлади.

Кўприк схемасининг бир диагонали ўзгарувчан ток манбаига уланганда иккинчи, яъни чиқиш диагоналида ўзгарувчан чиқиш кучланиши  $U_r$  ҳосил бўлади. Экран қўзғалмасдан турганда чиқиш кучланиши нолга тенг бўлади, чунки бу вақтда галтакнинг индуктивликлари бир хилдир ( $L_1 = L_2 = L_3 = L_4$ ). Экран чизиқли тезлик  $V$  билан силжитилса, унда тезликка пропорционал ЭЮК ҳосил бўлади. Бу ЭЮК экранда экраннинг силжиш тезлигига пропорционал ток  $I_3$  ҳосил қилади.

Ток  $I_3$ , ўз навбатида, магнит оқими ( $\Phi_3$ ) ни ҳосил қилади. Бу магнит оқими  шаклидаги магнит ўтказгич бўйича тутаниб, унинг бир томонидаги асосий уйғотиш магнит оқими  $\Phi_y$  га қўшилади ( $\Phi_y + \Phi_3$ ) ва иккинчи томонидаги уйғотиш магнит оқимидан айирилади ( $\Phi_y - \Phi_3$ ). Натижада датчикнинг бир томонидаги асоснинг магнит қаршилиги тезликка пропорционал равишда кўпаяди, иккинчи томонида эса камаяди. Шунга яраша, бир асосда ғалтак индуктивлиги камайиб, иккинчисида кўпаяди.

Шундай қилиб, ғалтак индуктивлиги ( $L_1, L_2, L_3, L_4$ ) нинг текширилувчи чизиқли тезликка боғлиқ равишда ўзгариши кўприкнинг чиқиш диагоналида ўзгарувчан чиқиш кучланишининг тезликка пропорционал равишда ўзгаришига сабаб бўлади:

$$U_r = U_k \frac{L_1 - L_3}{L_1 + L_3} = U_k \frac{L_2 - L_4}{L_2 + L_4},$$


бу ерда  $U_k$  — кўприкка берилган ўзгарувчан ток манбаининг кучланиши.


Магнит-модуляцион тезлик датчиги қуйидаги афзалликларга эга:

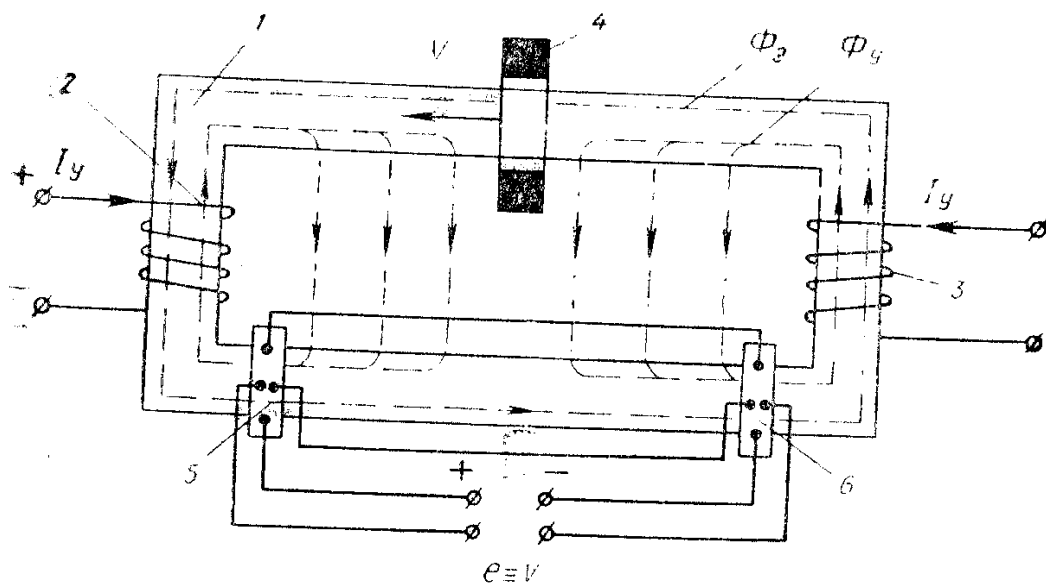
1. Датчикнинг чиқиш сигнали синусоидал ўзгарувчан ток кўринишида бўлганлигидан уни кучайтириш ва масофага узатиш анча қулай.

2. Датчикнинг қўзғалувчан қисми, яъни экрани осилган симлардан холи, шу туфайли датчикнинг ҳаракат оралиғини янада ошириш мумкин.

Магнит-модуляцион датчик ёрдамида 0,1 — 100 мм/с оралиқдаги чизиқли тезликни ўлчаш мумкин. Бунинг учун датчикнинг чиқиш диагонаliga лампали милливольтметр ёки ўзиёзар асбоб уланса бас.

Холл элементли тезлик датчиги 7.29-расмда кўрсатилган. Холл элементли чизиқли тезлик датчиги узайтирилган  шаклидаги қўзғалмас магнит ўтказгич 1 дан иборат бўлиб, асосларига уйғотиш чулғамлари 2 ва 3 ўралган. Магнит ўтказгичнинг бир стерженига экран 4 кийгизилган, стерженнинг икки чеккасига эса Холл элементлари 5 ва 6 жойлаштирилган. Холл элементларининг ўзаро кетма-кет ва қарама-қарши уланган кириш клеммаси ўзгармас ток манбаига, чиқиш клеммаси эса ўзиёзар асбобга уланади.

Уйғотиш чулғамлари ўзгармас ток манбаига уланганда икки стержень орасида деярли бир хил магнит индукцияси ҳосил бўлади. Экран тезлиги текшириляётган объект тезлиги билан силжитилса, экранда унинг силжиш тезлигига пропорционал равишда экран токи  $I_3$  вужудга келади.  $I_3$  ўз навбатида, магнит оқими  $\Phi_3$  ни ҳосил қилади. Бу оқим  шаклидаги магнит ўтказгич бўйича туташади ва экран тезлигига боғлиқ равишда асоснинг бир томонидаги асосий уйғотиш



7.29-расм.

оқимига қўшилади ( $\Phi_y + \Phi_0$ ) ва иккинчи томонидаги уйғотиш оқимидан айирилади ( $\Phi_y - \Phi_0$ ). Натижада Холл элементларининг бирида ЭЮК кўпайиб, иккинчисида камаяди. Демак, Холл элементларининг чиқиш клеммасида экраннинг силжиш тезлигига пропорционал равишда ЭЮК лар фарқи ҳосил бўлади:

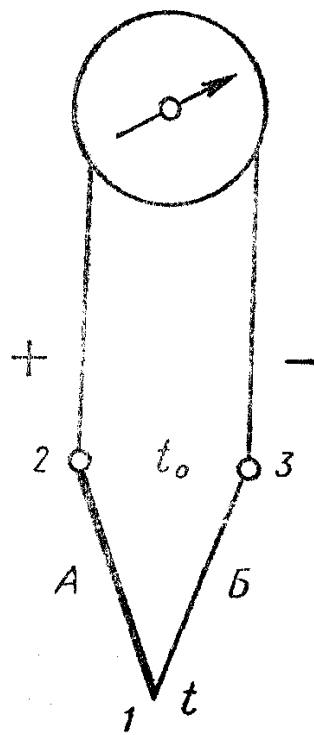
$$E = E_1 - E \equiv 2\Phi_0 \equiv V.$$

Холл элементли датчик магнит-модуляцион датчикнинг ҳамма афзалликларига эга бўлиб, унинг чиқиш сигнали ҳам ўзгармас, ҳам ўзгарувчан ток шаклида бўлиши мумкин.

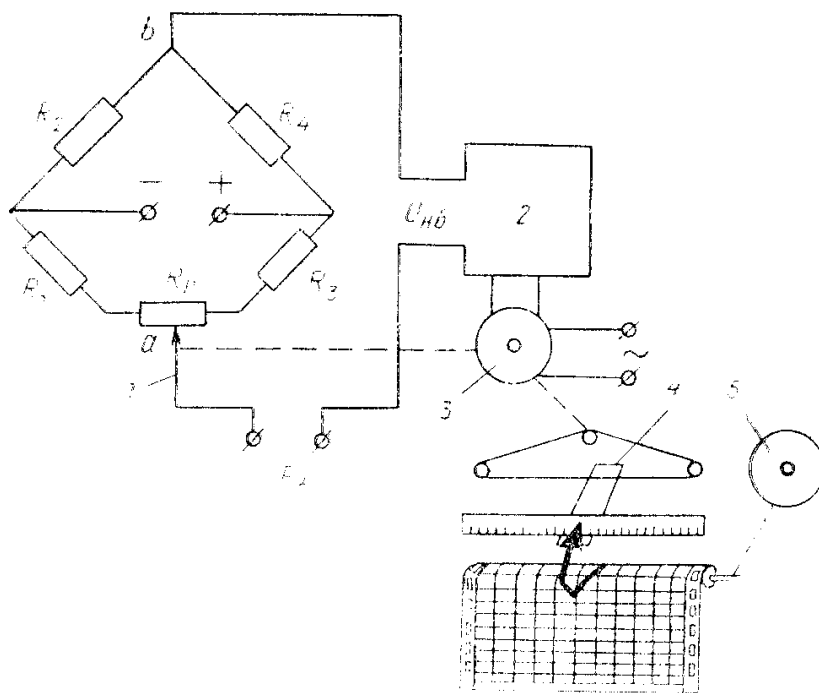
Температурани ўлчаш учун терморпара ва термоқаршилиқлардан фойдаланилади. Температура энг муҳим технологик параметрдир. Терморпара ва термоқаршилиқлар температуранинггина ўлчаш учун эмас, балки бошқа физик катталиклар (газ таркиби, босим, зичлик ва сарфлар) ни билвосита ўлчаш учун ҳам ишлатилади.

Терморпара икки хил металлдан тайёрланган ўтказгичлар А ва Б дан ясалган. Ўтказгичларнинг бир учи 1 бир-бирига кавшарланади, иккинчи учи 2 ва 3 эса электр ўлчаш асбобига уланади (7.30-расм).

Ўтказгичнинг кавшарланган ва асбобга уланадиган учларининг температуралари



7.30-расм.



7.31-расм.

ҳар хил бўлса, термопара ва ўлчаш асбобидан иборат занжирда ЭЮК ҳосил бўлади. Ўтказгичларнинг асбобга уланган учларида температура доимо бир хил бўлса, ЭЮК ҳамда асбобнинг кўрсатиши термопаранинг кавшарланган уchlари температурасига боғлиқ бўлади. Термопара ЭЮК ининг қиймати ўтказгичларнинг кавшарланган нуқта температурасига ва термопара ўтказгичларининг материалига боғлиқ бўлиб, ўтказгичларнинг узунлиги ва диаметрига, температуранинг ўтказгичларда тақсимланишига боғлиқ эмас. Шунинг учун термопара баъзан жуда ингичка (миллиметрнинг бир неча узунлича) ва жуда узун (юз метрларча) қилинади.

Термопара тайёрлаш учун жуда кўп материаллар ишлатилади. Шулардан мис билан константан ( $300^{\circ}\text{C}$  гача), мис билан копель ( $600^{\circ}\text{C}$  гача), хромель билан копель ( $800^{\circ}\text{C}$  гача), хромель билан алюмель ( $1300^{\circ}\text{C}$  гача) ва платина билан платинорадий ( $1600^{\circ}\text{C}$  гача) дан ясалган термопаралар жуда кўп қўлланилади.

Термопарада ҳосил бўлган ЭЮК қиймати жуда кичик бўлиб, ҳар градусга бир неча (материалига қараб) микровольт тўғри келади. Лекин бу қиймат ўлчаш учун етарли ҳисобланади. Мазкур ЭЮК ни ўлчаш учун 7.30-расмда кўрсатилган магнитоэлектрик юқори сезгир милливольтметр ёки 7.31-расмда кўрсатилган автоматик электрон потенциометрдан фойдаланилади.

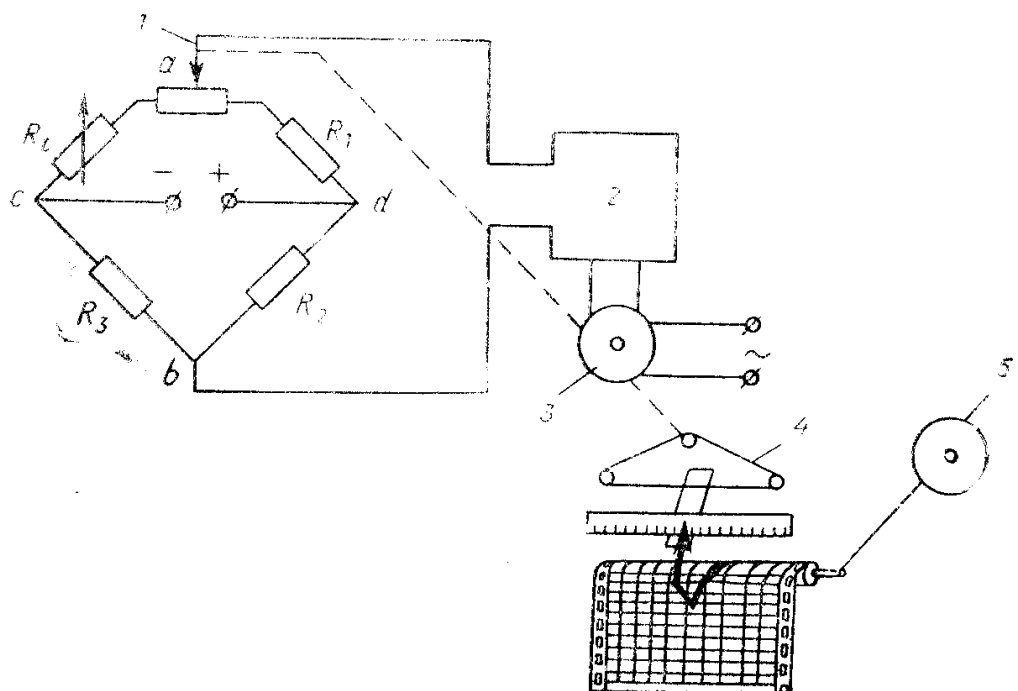
Потенциометр ёрдамида ўлчанаётган термопара ЭЮК қиймати  $E_t$  билан  $a$  ва  $b$  нуқталар орасидаги потенциаллар фарқи солиштирилади. Реохорд дастаси 1 ни реверсив двигатель 3 ёрдамида суриб, нуқта  $a$  нинг ҳолати  $E_t$  ва  $U_{ab}$  орасидаги

фарқ ( $E_t - U_{аб}$ ) нолга тенглашгунча ўзгартирилади. Агар бу фарқ (у номувозанат кучланиши —  $U_{нб}$  ҳам дейилади) нолга тенг бўлмаса, у кучайтиргич 2 ёрдамида ўзгарувчан токка айлантирилиб, микровольтдан бир неча вольтгача кучайтирилгандан сўнг реверсив двигатель 3 нинг бошқариш чулғамига берилади. Двигатель ишга тушиб, реохорд дастасини  $U_{нб}$  нолга тенглашгунча суради. Двигателнинг айланиш тезлиги ўлчанаётган термпара ЭЮК нинг қиймати  $E_t$  га боғлиқ. Реохорд дастаси билан биргаликда унга маҳқамланган карета 4, стрелка ва перо ҳам сурилади. Перонинг сурилиши синхрон двигатель 5 ёрдамида ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилувчи диаграммага ўлчанаётган қийматни ёзиб олиш имконини беради. Демак, ўлчанаётган температуранинг стрелка кўрсатиши бўйича шкаладан ёки диаграмма лентасидан олиш мумкин.

**Термоқаршилиқ** ўтказгич (ёки ярим ўтказгич) электр қаршилигининг температурага боғлиқлигига асосланган. Термоқаршилиқ, одатда, мис ва платинадан ясалган бўлиб, термпара каби термоэлектр юритувчи куч (ЭЮК) ишлаб чиқармайди, балки температура ўзгарганда ўз қаршилигини ўзгартиради. Металл қаршилиқларда температура билан электр қаршилиқ ўртасида муаносиб боғланиш бор. Термоқаршилиқ температураси ўлчанадиган муҳитга жойлаштирилади ва термоқаршилиқ қаршилигининг ўзгариши автоматик кўприк схемаси ёрдамида ўлчанади.

Электр қаршилигига айлантириш мумкин бўлган ҳар қандай катталиқни ўлчаш учун хизмат қилувчи мувозанатли автоматик электрон кўприк схемаси 7.32-расмда кўрсатилган.

Автоматик потенциометрлардан каби, ўлчаш кўприкларидан ҳам кузатиш системаси бор. Мазкур система ўлчаш система-



7.32- расм.



сидаги кўприкни узлуксиз мувозанатлаш учун хизмат қилади. Кўприк иккита ( $ab$  — ўлчаш ва  $cd$  — манба) диагоналдан ва тўртта елкадан иборат. Иккита елканинг қаршилиги  $R_2$  ва  $R_3$  ўзгармас, қолган иккитасиники эса ўзгарувчан

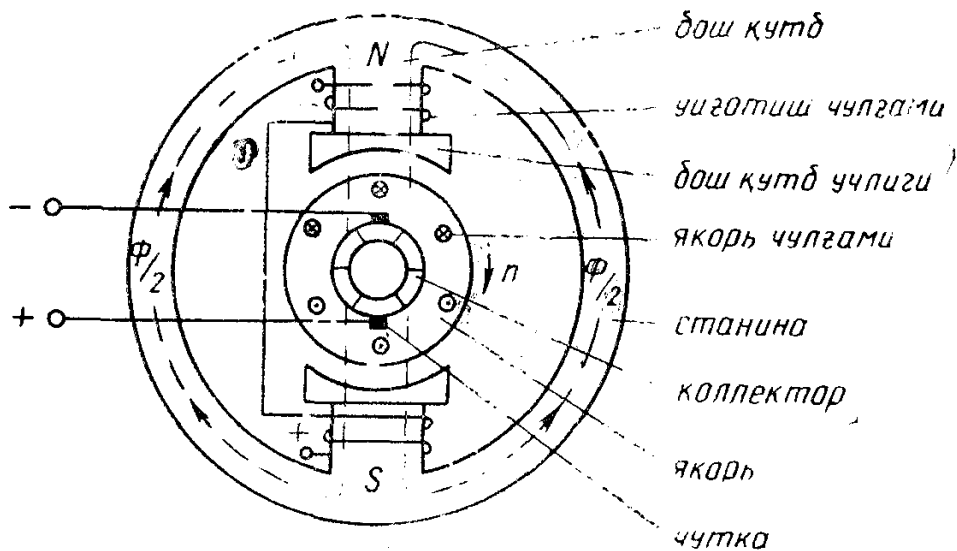
Температуранинг ўзгариши билан термоқаршилиқ қаршилиги  $R_1$  ўзгариши кўприкни мувозанат ҳолатидан чиқаради. Бунда кўприкнинг ўлчаш диагоналида сигнал, яъни номувозанат кучланиши пайдо бўлади. Бу сигнал кучланиш ва қувват кучайтиргичи 2 ва реверсив двигатель 3 нинг бошқариш чулғамидан ўтиб, двигателни ишга туширади ва у реохорд 1 дастасини кўприк мувозанатга келгунча суради. Бу вақтда карета 4 ҳам сурилгани учун ўлчанаётган температуранинг тўғридан-тўғри шкаладан ёки диаграмма лентасидан олиш мумкин.

## 8-БОБ ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИ

### УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Ўзгармас ток машиналари ўзгарувчан ток машиналаридан олдин (дастлаб ўзгармас ток двигатели, сўнгра ўзгармас ток генератори) яратилган. Ўзгармас ток машиналари қайтувчанлик хусусиятига эга бўлиб, двигатель ва генератор режимларида ишлай олади. Уларнинг тузилиши ҳам бир хил. Генератор режимда бирламчи двигателнинг (асосан, асинхрон двигателнинг, гоҳида ички ёнув двигателининг) механик энергияси электр энергияга, двигатель режимда эса электр энергияси қайта механик энергияга айлантириб бериллади.

1838 йили академик Б. С. Якоби ўзгармас ток двигателни амалда ишлатиб кўрсатди. Ўзгарувчан ток техникаси тараққий эга бориши билан ўзгармас ток машиналарини ишлаб чиқариш ўзгарувчан ток машиналарига нисбатан камая борди. Бунга сабаб ўзгармас ток машиналари конструкциясининг нисбатан мураккаблиги (айниқса коллектор ва чўтканинг мавжудлиги) ва қимматлиги бўлди. Шунга қарамасдан, ўзгармас токни электр энергиясидан фойдаланишнинг маълум соҳаларида ўзгарувчан ток билан алмаштириб бўлмаслиги ҳамда у бирмунча афзалликларга эга бўлгани учун шу кунда ҳам ишлатиб келинмоқда. Масалан, электролиз қурилмаларида, аккумуляторларни зарядлашда, автоматикада, тезликни кенг доирада бир текис бошқариш ҳамда катта айланувчан момент талаб этилган жойларда, электр транспортида ва ҳоказоларда ўзгармас токдан фойдаланилади. Саноатда ўзгармас ток генераторлари ва двигателларини кўплаб ишлаб чиқариш йўлга қўйилган. Шунингдек, ўзгарувчан токни ярим ўтказгичли тўғрилагичлар ёрдамида ўзгармас токка айлантириш схемалари ҳам кенг қўлланилмоқда.



8.1- расм.

### 8.1. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИНING ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

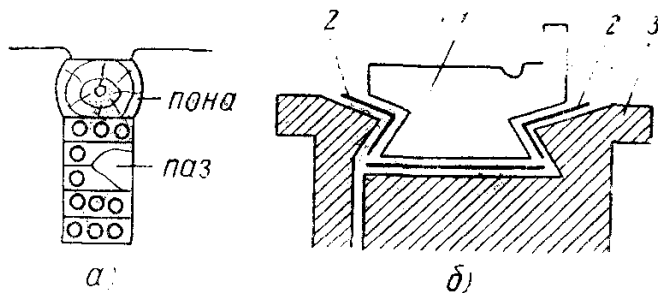
Ўзгармас ток машинаси, асосан, қўзғалмас қисм — *станина*, қўзғалувчан қисм — *якордан* иборат. Станина йирик машиналар учун пўлатдан, кичик машиналар учун чўяндан қуйиб ясалади ва унга қутбларнинг ўзаклари ўрнатилади (8.1- расм).

Бош қутблар станинанинг ички сиртига ўрнатиш бўлиб, унга *уйғотиш чулғамлари* ўралган. Бош қутб машинанинг асосий магнит майдонини ҳосил қилади. Магнит майдонининг текис тарқалиши учун бош қутбга учлик ўрнатиш.

Якорь цилиндрсимон ўзак бўлиб, ўққа ўрнатилади. Якорь қалинлиги 0,35 — 0,5 мм ли электротехник пўлат пластинкалар тўпламидан тайёрланади. Уярма тоқларга бўладиган қувват исрофини камайтириш мақсадида пластинкалар бир-биридан изоляция қилинади. Айланувчан якорнинг чулғамларида ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилиниб, коллектор ва чўткалар ёрдамида генератордан ўзгармас тоқ олинади.

Якорь чулғами изоляцияланган мис симдан иборат бўлиб, у алоҳида-алоҳида секция қилиниб ясалгандан сўнг якорнинг ўзагидаги пазлар орасига жойлаштирилади.

Чулғам якорнинг ўзгидан яхшилаб изоляция қилинади ва махсус ёғоч поналар ёрдамида пазларда маҳкамланади (8.2- расм, а). Чулғамнинг учлари колл-ктор пластинкаларига бириктирилади.



8.2- расм.

Коллектор цилиндр шаклида бўлиб, мисдан ясалган алоҳида-алоҳида пластинкалардан иборатдир. Унинг тузилиши 8.2-расм, б да кўрсатилган. Пластинкалар бир-биридан ва корпусдан миканит манжега воситасида изоляцияланади. Корпусдаги тутқичга ўрнатилган чўткалар ёрдамида коллектордан ток олинади. Чўткалар кўмир, графит, мис ёки бронзадан ясалади.

Машинанинг якори бирламчи двигатель ёрдамида ўзгармас тезлик билан айлантирилганда (генератор режими) унинг чулғам ўрамларини бош магнит куч чизиқлари кесиб ўтиши натижасида, электромагнит индукцияси қонунига биноан, ЭЮК индукцияланади, яъни

$$E = c \cdot n \cdot \Phi, \quad (8.1)$$

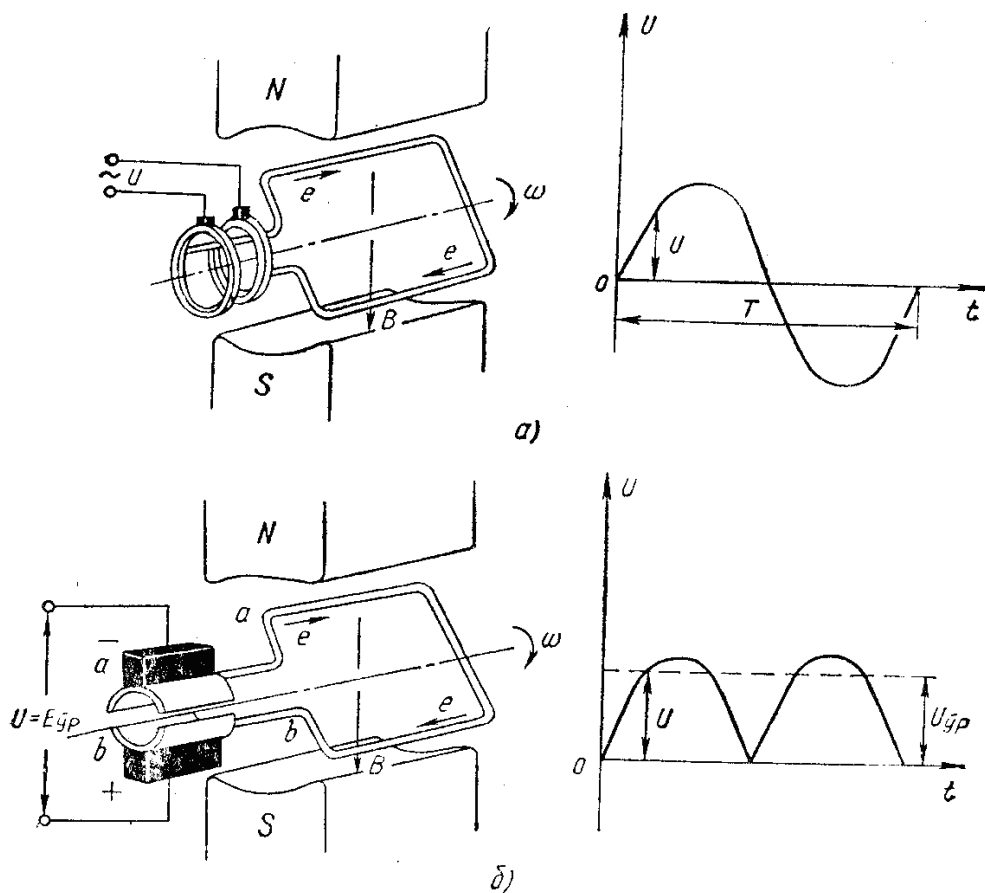
бу ерда  $c$  — ўзгармас коэффициент;  $n$  — якорнинг айланиш тезлиги, айл/мин;  $\Phi$  — бош қутбларнинг магнит оқими, Вб.

Индукцияланган ЭЮК нинг йўналишини „ўнг қўл“ қондасига кўра аниқлаш мумкин. Якорда ЭЮК индукцияланиш ҳодисаси ўзгармас ток машинасининг двигатель режимида ҳам содир бўлади. Бироқ бунда генераторда индукцияланган ЭЮК токни генераторга уланган ташқи занжирда ҳосил қилади. Двигателда эса бу ЭЮК унга берилган кучланишга тескари йўналгандир.

## 8.2. ЎЗГАРМАС ТОК ҲОСИЛ ҚИЛИШДА КОЛЛЕКТОРНИНГ АҲАМИЯТИ

Ўзгармас ток ҳосил бўлиш жараёнини тушуниш учун аввал 8.3-расм, а га, сўнгра 8.3-расм, б га мурожаат қилайлик. 8.3-расм, а да рамка шаклидаги ўтказгич магнит майдонида айланганда унда қандай электр ҳодисалари рўй беришини кўриб чиқайлик. Рамканинг а ва б ўтказгичлари (яъни стерженлари) иккита ҳалқага бириктирилган бўлиб, а ўтказгич  $N$  қутбнинг, б ўтказгич  $S$  қутбнинг таъсирида турибди. Рамканинг айланиши мобайнида а ўтказгич  $S$  қутбнинг, б ўтказгич эса  $N$  қутбнинг таъсирига ўтади. Демак, ўтказгич қайси қутб таъсирида бўлса, у бириктирилган рамка ва чўтка ҳам шу қутб таъсирида бўлар экан. Расмдан кўришиб турибдики, рамка айланганда унда ҳосил бўлган ЭЮК синусоидал ўзгарувчандир. Ҳар бир рамка ўз ҳалқаси билан электр боғланганлиги учун ундаги потенциаллар айирмаси, яъни кучланиш ҳам синусоидал қонун бўйича ўзгаради. Бу кучланишнинг ўзгариши 8.3-расм, а нинг ўнг томонида кўрсатилган. Шунинг учун бундай ҳолда ташқи занжирдан ўзгарувчан ток ўтади. Демак, бундай схема бўйича ишладиган машина ўзгарувчан ток генераторидир.

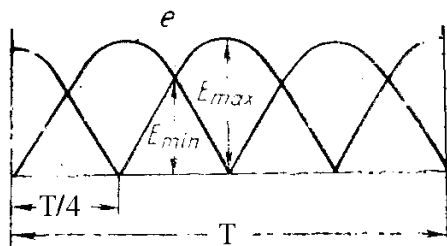
Энди юқоридаги схемани бироз ўзгартириб, рамканинг бошланиш ва охирини бир-биридан изоляция қилинган иккита ярим ҳалқага улаймиз (8.3-расм, б) ва машинанинг чўткала-



8.3- расм.

рида потенциаллар айирмасининг ўзгаришини кузатамиз. Рамканинг ярим айланиши давомида ҳар бир ўтказгичида ЭЮК, шунингдек тенг таъсир этувчи ЭЮК ҳам нолдан максимал қийматгача ортади ва яна нолгача камаяди.

Биринчи ярим айланиш давомида қўзғалмас 1-чўтка остида  $N$  қутб таъсиридаги  $a$  ўтказгич бириктирилган ярим ҳалқа (яъни якорь) сирпанса, 2-чўтка остида эса  $S$  қутб таъсиридаги  $b$  ўтказгич бириктирилган ярим ҳалқа сирпанади. Иккинчи ярим айланиш давомида эса  $a$  ўтказгич  $N$  қутбнинг таъсиридан чиқиб,  $S$  қутбнинг таъсирига кира бошлайди.  $b$  ўтказгич эса  $S$  қутбнинг таъсиридан чиқиб,  $N$  қутбнинг таъсирига кира бошлайди. Демак, 1-чўтка остида доимо  $N$  қутбнинг, 2-чўтка остида эса  $S$  қутбнинг таъсиридаги потенциаллар бўлар экан. Шунга қўра, ЭЮК нинг йўналиши ҳамда ташқи занжирдаги кучланишнинг йўналиши ўзгармайди. Бундай кучланишнинг ўзгариш характери 8.3- расм,  $b$  нинг ўнг томонида кўрсатилган. Бунда ташқи занжирдаги токнинг йўналиши ўзгармас бўлади. Аммо у қиймат жиҳатдан пульсланувчидир. Агар ярим ҳалқалар ва рамкалар сонини (яъни машинанинг коллектор пластинкалари ва якорь чулғамидаги ўрамлар сонини) икки барабар кўпайтирсак, якорнинг ҳалқаси бўйлаб бир-биридан  $90^\circ$  га сурилган, кетма-кет уланган иккита ўрам (ёки рамка) ҳосил бўлади. Бундай сурилиш натижасида ўрам-



8.4- расм.

даги ўрамлар сони ва коллектор пластинкаларининг сони ортганда кучланишнинг пульсланиши қисман камаяр экан. Демак, чулғамнинг ўрамлар сонини ва коллектор пластинкаларининг сонини кўпайтириш йўли билан кучланишнинг пульсланишини камайитириш ва унинг доимий характерга эга бўлишини таъминлаш мумкин.

Демак, ўзгармас ток генератори аслида ўзгарувчан ток машинаси бўлиб, ундаги ўзгарувчан ЭЮК кейинчалик коллектор ёрдамида тўғриланиб, ташқи занжирга ўзгармас ток берилар экан. Бунда коллектор механик тўғрилагич вазифасини бажаради.

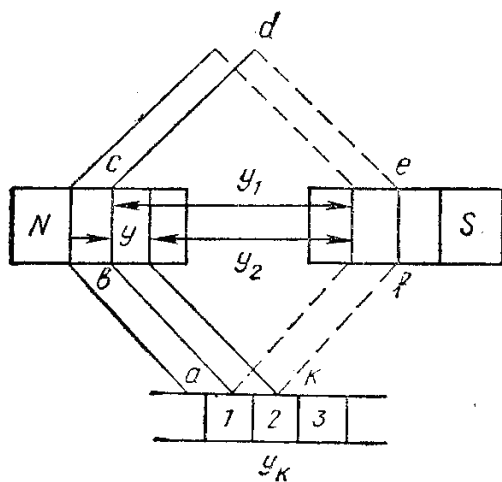
### 8.3. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИНING ЧУЛҒАМЛАРИ

Дастлабки ўзгармас ток машиналарининг якори ҳалқа шаклида бўлиб, унга ҳалқасимон чулғам жойлаштирилган эди. Ҳалқасимон якорлар бир қанча камчиликларга эга бўлгани учун (чулғамни ташкил қилган ўтказгич узунлигининг ярмидан кўпи ЭЮК ҳосил қилишда қатнашмай, якорь ташқарисидаги симларнинг ўзаро уланиши учун хизмат қилади) кейинчалик барабан туридаги якорлар билан алмаштирилди. Барабан туридаги якорларда чулғамни андазалар ёрдамида тайёрлаб, очиқ пазларга жойлаштириш мумкин. Чулғам бир қанча

ўтказгичлардан иборат бўлиб, улар бирлаштирилганда ёпиқ занжир ҳосил бўлади ва уларда ҳосил бўладиган ЭЮК лар қўшилади.

Уланишига қараб сиртмоқли ёки параллел, тўлқинсимон ёки кетма-кег чулғамлар бўлади.

Сиртмоқли чулғамда (8.5-расм) шимолий  $N$  қутб остида бўлган биринчи ўтказгичнинг охири жанубий  $S$  қутб остида бўлган иккинчи ўтказгичнинг охирига уланади. Ик-



8.5- расм.

кинчи ўтказгичнинг боши (жанубий қутб остида бўлган) шимолий қутб остида бўлган учинчи ўтказгичнинг бошига уланади. Шу тартибда уланган барча ўтказгичлар сиртмоқ ҳосил қилиб, жойлаштирилади.

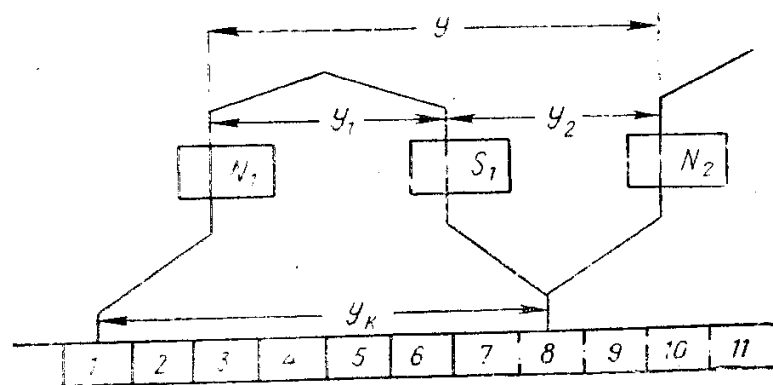
Якорь чулғамининг асосий элементи секциядир. Секция — чулғамининг схемаси "abcdefk" бўйлаб бир-бири билан кетма-кет келувчи иккита коллектор пластинкалари орасидаги чулғамнинг бир қисмидир. Ҳар бир секциянинг иккита актив томони бор бўлиб, якорь пазларининг ичига жойлаштирилгандир. Секциянинг актив томонлари якорнинг чеккасида ўзаро бирикади. Секция битта ёки бир нечта ўрамлардан иборат бўлиши мумкин. Демак, чулғам бир ёки икки қаватли бўлиши мумкин. Асосан, икки қаватли чулғам ишлагилади.

Секциянинг актив томони битта ўтказгичдан иборат бўлса, бундай чулғам стерженли чулғам дейилади. Агар секциянинг актив томони бир нечта ўтказгичдан иборат бўлса, бундай чулғам ғалтакли чулғам дейилади.

Чулғам секцияси чулғам одими билан характерланади. Чулғамнинг биринчи одими „ $u_1$ “ элементар пазлар сони билан ифодаланган бўлиб, ўша секциянинг биринчи ва иккинчи актив томонлари ўртасидаги оралиқ масофани ифодалайди. Чулғамнинг иккинчи одими „ $u_2$ “ элементар пазлар сони билан ифодаланган бўлиб, иккинчи актив секция билан биринчи актив секциядан кейин чулғам схемаси бўйлаб кетган секция ўртасидаги оралиқ масофадир. Якунловчи одим „ $u$ “ элементар пазлар сони билан ўлчаниб, чулғам схемаси бўйлаб кетма-кет келадиган икки секциянинг актив томонлари ўртасидаги оралиқ масофадир.

$$u = u_1 + u_2.$$

Тўлқинсимон чулғамда  $N_1$  шимолий қутб остида бўлган биринчи ўтказгичнинг охири жанубий қутб  $S_1$  остида бўлган иккинчи ўтказгичнинг охири билан бириктирилади (8.6-расм). Жанубий қутб  $S_1$  остида бўлган иккинчи ўтказгичнинг боши шимолий қутб остида бўлган учинчи ўтказгичнинг боши билан бириктирилади ва ҳоказо. Шундай усулда бирлаштирил-



8.6-расм.

ган барча ўтказгичлар якорь айланаси бўйлаб тўлқин шаклида жойлашади. Тўлқинсимон чулғамда яқунловчи одим  $u = u_1 + u_2$  га тенг.

Коллекторнинг бўйлама одими коллектор пластинкалари орасидаги масофани кўрсатиб,  $u_k$  билан белгиланади. Умуман,  $u_k = u$  бўлади.

#### 8.4. ЯКОРДА ИНДУКЦИЯЛАНГАН ЭЮК

Ўзгармас ток машинасининг якори айланганида унинг чулғам ўрамлари қутбларнинг магнит куч чизиқларини кесиб ўтиши натижасида электромагнит индукцияси қонунига кўра унда ЭЮК индукцияланади. Якорь чулғамида индукцияланган ЭЮК формуласини чиқариш учун 8.1-расмга мурожаат қилайлик. Расмда икки қутбли машинанинг магнит системаси кўрсатилган.

Агар бир қутбнинг магнит оқимини  $\Phi$ , қутблар жуфтнинг сонини  $p$ , якорнинг диаметрини  $d$  ва узунлигини  $l$  деб белгиласак, у ҳолда якорь юзасига тўғри келган ўртача магнит индукция

$$B_{\text{ўр}} = \frac{\Phi p}{\pi \cdot d \cdot l}.$$

Якорь  $n$  [айл/мин] тезлик билан айланаётганда якорь чулғамининг ҳар бир стерженида индукцияланган ЭЮК нинг ўртача қиймати:

$$E_{\text{ўр}} = B_{\text{ўр}} l v = \frac{\Phi p}{\pi d l} \cdot l \cdot \frac{\pi d n}{60} = p \Phi \frac{n}{60}.$$

Генераторнинг электр юритувчи кучи якорь чулғамининг битта параллел тармоғидаги тенг таъсир этувчи ЭЮК га тенг.

Агар якорь чулғамидаги умумий стерженлар сонини  $N$  деб, параллел тармоқлар сонини  $a$  орқали белгиласак, якорда индукцияланган ЭЮК:

$$E = E_{\text{ўр}} \frac{N}{a} = \frac{N}{a} \cdot p \Phi \frac{n}{60} = \frac{PN}{60a} \cdot n \cdot \Phi = c \cdot n \cdot \Phi.$$

ёки

$$E = c \cdot n \cdot \Phi,$$

бў ерда:  $c$  — ўзгармас коэффициент бўлиб, машинанинг конструкциясига боғлиқ катталикларни ўз ичига олади.

Демак,  $p$ ,  $N$ ,  $a$  ларнинг қиймати ўзгармасдир.  $\Phi$  нинг қийматини эса уйғоғиш чулғамидаги токни бошқариш йўли билан ўзгартириш мумкин. Бинобарин, машинанинг электр юритувчи кучи магнит оқим билан якорнинг айланиш тезлигига пропорционалдир.

## 8.5. ТОРМОЗЛОВЧИ ВА АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТЛАР

Ўзгармас ток машинасидаги генераторнинг тормозловчи моменти ва двигателнинг айлантирувчи моменти Ампер қонунига мосан жуда қулай топилади.

Якорь чулғами параллел тармоқдан ташкил топганлиги учун якорь токи улар орасида бўлинади. Демак, якорнинг ҳар бир ўтказгичидан  $I = \frac{I_a}{2a}$  ток ўтади.

Ўтказгичдаги ток билан магнит майдонининг ўзаро таъсиридан электромагнит куч ҳосил бўлади:

$$F = BIl = B \frac{I_a l}{2a}$$

Бу куч магнит индукцияси  $B$  га нисбатан ўтказгичнинг қутб остидаги ҳолатига қараб ўзгаради.

Агар биз битта қутб остидаги индукциянинг ўртача қийматини олсак:

$$F_{\text{ўр.}} = B_{\text{ўр.}} \cdot l \frac{I_a}{a}$$

Бу кучга тўғри келадиган момент:

$$M_{\text{ўр.}} = F_{\text{ўр.}} \cdot D,$$

бу ерда  $D$ —якорнинг диаметри.

Якорнинг бутун  $N$  симларида ҳосил бўлган момент, албатта, катта бўлади:

$$M = M_{\text{ўр.}} \cdot N = B_{\text{ўр.}} l D \frac{I_a}{2a} N.$$

Якорь битта қутбининг магнит оқими кесиб ўтаётган юза  $S = \frac{\pi D l}{2p}$  га тенгдир. Шу юзанинг ўртача индукцияга кўпайтмисин бир қутбнинг магнит оқимини беради:

$$\Phi = B_{\text{ўр.}} \frac{\pi D l}{2p}; \quad B_{\text{ўр.}} l D = \frac{2\Phi p}{\pi}$$

Бу қийматни момент формуласига қўйсак:

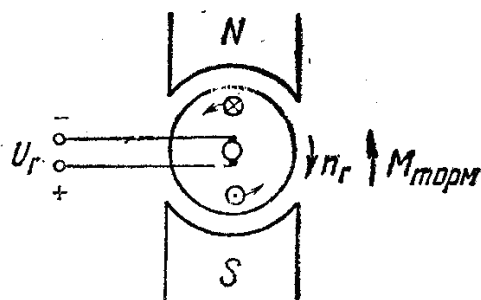
$$M = \frac{2\Phi p}{\pi} \frac{I_a}{2a} N = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{p}{2a} N \Phi I_a.$$

У ҳолда

$$M = k_M \cdot \Phi \cdot I_a,$$

бу ерда  $k_M$ —берилган машина учун ўзгармас қиймат.

Бу момент генераторда тормозлаш вазифасини бажарса, двигателда айлантириш вазифа-



8.7- расм.

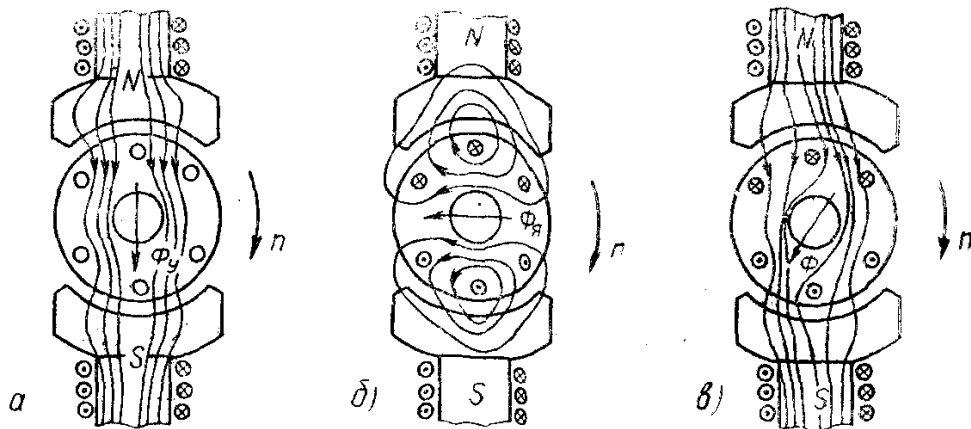


сини бажаради (8.7-расм). Генераторнинг якорини айлантирадиган бирламчи двигатель ана шу тормозловчи моментни енгизи керак.

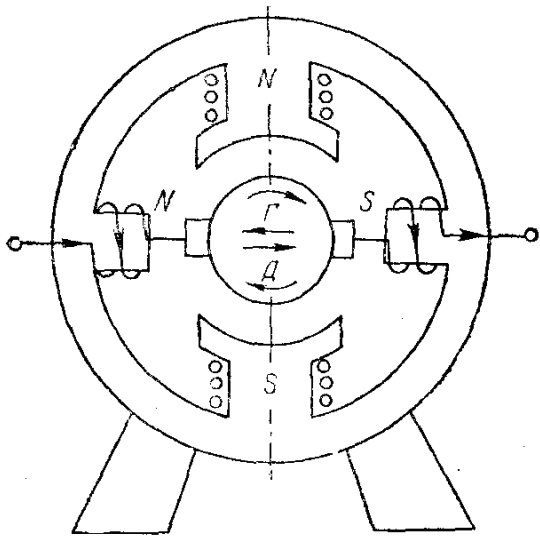
### 8.6. ЯКОРЬ РЕАКЦИЯСИ

Генератор салт ишлаганда бош қутб ҳосил қиладиган асосий магнит оқими  $\Phi$  мавжуд бўлади (8.8 расм, а). Унга нагрузка уланганда якорь ўтказгичларидан ток ўтиб, якорнинг магнит майдони машинанинг бош қутблари ҳосил қилган асосий магнит оқимига таъсир кўрсатади ва унинг йўналишини ўзгартиради (8.8-расм, б). Расмдан якорь токи ҳосил қилган магнит майдонининг йўналиши асосий магнит оқимининг йўналиши билан мос бўлган жойларда умумий магнит майдоннинг кучайганлигини, йўналиши карама-қарши бўлган жойларда эса кучсизланганлигини кўриш мумкин. Баъзи жойларда эса якорь токининг магнит майдони асосий магнит майдонга тик йўналган. Умуман, якорь магнит майдонининг асосий магнит майдонига таъсир этиб, унинг йўналишини ўзгартириш ҳодисаси *якорь реакцияси* дейилади. Якорь реакцияси натижасида машинанинг асосий магнит оқими деформацияланади (8.8-расм, в). Демак, қутбларнинг бир томонида магнит чизиқларининг зичлиги ортса, иккинчи томонида камаяди.

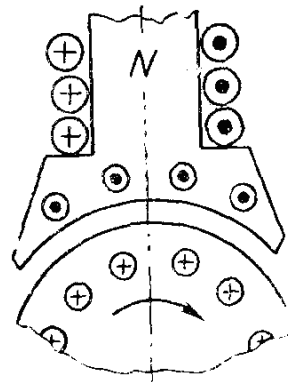
Якорнинг ўрамлари қутб остидаги магнит куч чизиқлари кўп жойдан (ёки якорь реакцияси натижасида магнит индукцияси кучайган ердан) ўтганда индукцияланган ЭЮК қиймати бирмунча кўпаяди. Бу ортиқча ЭЮК пластиналар орасида учқун ҳосил қилиб, коллектор бўйлаб олов пайдо бўлишига сабаб бўлади. Бу эса машинанинг нормал ишлашини бузади, нагрузка ортганда генераторнинг ЭЮК ини камайтириб, генераторнинг учларидаги кучланишнинг қўшимча пасайишига олиб келади. Якорь реакциясининг таъсири асосий қутблар орасидаги геометрик нейтрал чизиққа қўшимча қутблар ўрнатиш йўли билан камайтирилади (8.9-расм). Бу чулғам якорнинг чулғами билан кегма-кет уланади. Мазкур чулғам шундай



8.8- расм.



8.9- расм.



8.10- расм.

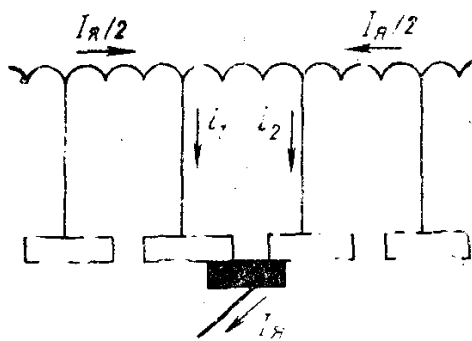
Ўраладики, бунда унинг магнит майдони якорнинг магнит майдонига қарама-қарши йўналади.

150 кВт дан юқори кувватли машиналарда якорнинг бутун айланаси бўйлаб якорь реакциясини камайтириш мақсадида бош қутб учликларига компенсацияловчи чулғам ўрнатилади (8.10- расм). Бу чулғам якорь чулғами ва қўшимча қутбнинг чулғами билан кетма-кет уланади. Компенсацияловчи чулғамнинг магнит майдони якорнинг магнит майдонига қарама-қарши бўлиб, бош қутб учлиги зонасида якорь реакциясини компенсациялаш учун хизмат қилади. Кичик қувватли машиналарда эса қўшимча қутб ўрнига чўткаларни геометрик нейтрал чизиғидан суриб қўйиш усули қўлланилади. Натижада чўткаларнинг якорь реакциясининг таъсиридан учқунланиши бирмунча камаяди.

### 8.7. ЯКОРЬ КОММУТАЦИЯСИ

Ўзгармас ток машинаси ишлаганда чўтка билан коллектор ўртасида учқун пайдо бўлади. Кучли учқун машинанинг нормал ишлашига халақит беради. Учқун чиқишига механик камчиликлар (коллектор юзасининг нотекислиги, чўтка босимининг бўшлиги, коллекторнинг ифлосланганлиги ва чўтка билан коллектор орасидаги уришнининг бузилишига олиб келадиган бошқа камчиликлар) сабаб бўлади. Натижада коллектор куйиб, емирилади. Учқун ҳосил бўлиши коллектор пластинкаларининг чўтка остидан ўтиш тезлигига боғлиқ.

Якорь айланганида коллектор пластинкалари чўткага навбатма-навбат тегиб ўтади. Жуда қисқа вақт ичида чўтка коллекторнинг бир пластинкасида иккинчи пластинкасига ўтиши натижасида секциядаги ток  $+\frac{I_a}{2}$  дан  $-\frac{I_a}{2}$  гача ўзгариши



8.11- расм.

керак (8.11-расм). Секциядаги токнинг жуда тез ўзгариши (0,001÷0,003 с) натижасида ўзиндукция ЭЮК ( $e_L$ ) пайдо бўлади. Якорнинг тезлиги орта борган сари бу қиймат кўпая бориб, чўтка билан коллекторнинг навбатдаги пластинкаси ва чиқиб кетаётган пластинкаси орасида учқун ҳосил бўлади.

Чўтка билан туташган якорь чулғами секцияларидаги ток йўналишининг ўзгариши билан боғлиқ бўлган ҳодисалар мажмуига *коммутация* дейилади. Секциянинг коммутацияланиш вақтига *коммутация даври* ( $T$ ) дейилади. Чўтка қанчалик кенг бўлиб, машина шунчалик секин айланса,  $T$  нинг қиймати орта боради:

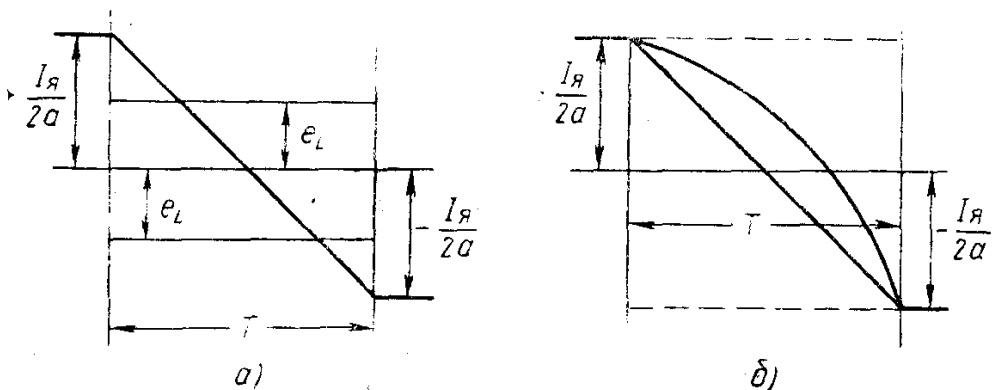
$$T = \frac{b_r}{v_R},$$

бу ерда  $b_r$  — чўтканинг эни;  $v_R$  — коллекторнинг айланма тезлиги.

Яхши коммутация фақат, коммутацияланувчи секциядаги токнинг ўзгариш жараёни, коллектор пластинкалари билан чўтка ўртасидаги ўткинчи қаршилик орқали аниқланиши мумкин. Бу қаршилик *коммутация қаршилиги* дейилади. Бу ҳодиса якорь бирмунча секин айланганда содир бўлади.

Ўзиндукция ЭЮК  $e_L$  ни компенсация қилиш учун қўшимча қутблар ҳосил қилган коммутацияловчи ЭЮК  $e_k$  дан фойдаланилади. Бу қутбнинг чулғами якорга кетма-кет уланади.

Соф коммутация  $e_L + e_k = 0$  бўлганда, яъни  $e_k$   $e_L$  ни тўла компенсация қилганда содир бўлади. Коммутацияланувчи секциядаги ток  $+\frac{I_я}{2}$  дан  $-\frac{I_я}{2}$  гача (8.12-расм, а) ўзгаргани учун коммутация чизиқли ҳисобланади. Агар коммутация даврида



8.12- расм.

$e_L > e_k$  бўлса, ўзиндукция ЭЮК  $e_L$  токнинг ўзгаришини секинлаштиради. Шунинг учун коммутация даври ортиб, у секинлашган коммутация ҳисобланади (8.12-расм, б).

Коммутациянинг яхши кечиши (учқуннинг кам бўлиши) учун:

1. Чўтка ва коллекторнинг ҳолатини доимо кузатиб туриш керак.

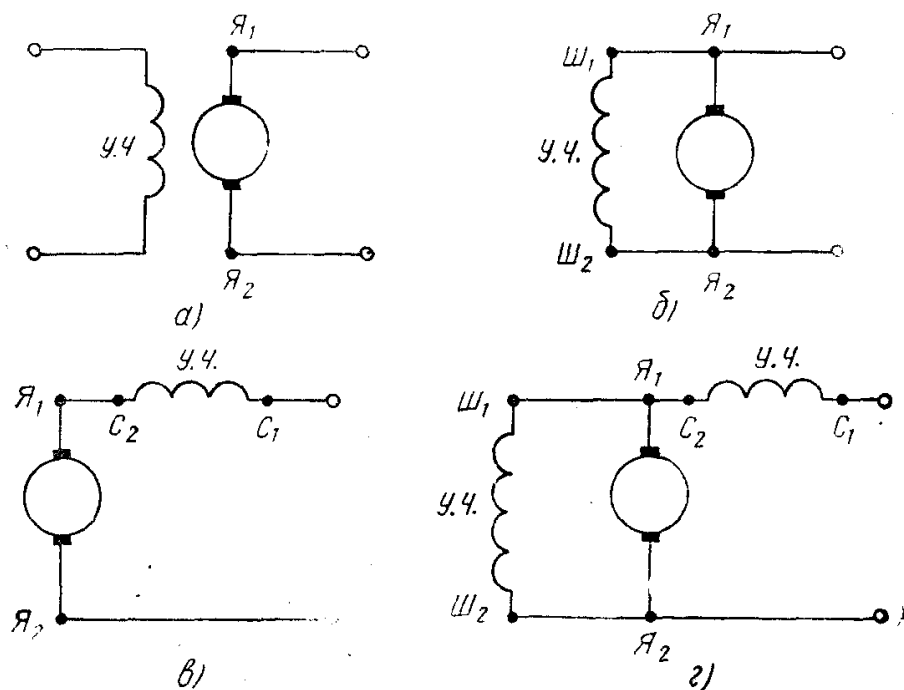
2. Қуввати 1 кВт дан юқори бўлган ўзгармас ток машиналарига қўшимча қутблар ўрнатиш керак.

3. Ана шундай ҳодисани кичик қувватли машиналарда ҳам ҳосил қилиш учун чўткани физик нейтрал ҳолатидан генераторларда якорнинг айланиш йўналиши бўйича, двигателда эса тескарисига буриш керак.

### 8.8. МАГНИТ МАЙДОНИНИ УЙҒОТИШ УСУЛИГА ҚУРА ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИНИ ТАСНИФЛАШ

Ўзгармас ток генераторларининг хусусиятлари уларнинг уйғотиш схемасига қараб, яъни ток бош қутбнинг уйғотиш чулғамларига қандай юборилишига қараб турлича бўлади.

Ўзгармас ток генераторлари магнит майдонини уйғотиш усулига қараб, мустақил уйғотишли ва ўз-ўзидан уйғотишли бўлади. Мустақил уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғамларига юбориладиган ток ташқи манба (аккумулятор батареяси ёки бошқа генератор) дан олинади (8.13-расм, а). Ўз-ўзидан уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғамларига юбориладиган ток бевосита генераторнинг ўзида (якоридан) олинади. Ўз-ўзидан уйғотишли генераторлар уч хил бўлади:



8.13-расм.

- а) параллел уйғотишли ёки шунг уйғотишли генераторлар;
- б) кетма-кет уйғотишли ёки серияс генераторлар;
- в) аралаш уйғотишли ёки компаунд генераторлар.

Параллел уйғотишли генераторларда уйғотиш чулғами якорь чулғамига параллел қилиб уланади (8.13-расм, б). Кетма-кет уйғотишли генераторларда эса уйғотиш чулғами якорь чулғамига кетма-кет уланади (8.13-расм, в). Аралаш уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғами иккита бўлади. Улардан бири якорь чулғамига параллел, иккинчиси эса ташқи якорь шохобчасига кетма-кет қилиб уланади (8.13-расм, г). Агар ушбу генераторнинг параллел чулғамидан ўтувчи өзгина ток ҳисобга олинмаса, кетма-кет уйғотиш чулғамини ҳам якорь чулғамига кетма-кет уланган, деб ҳисобласа бўлади.

### 8.9. ЎЗГАРМАС ТОҚ ГЕНЕРАТОРЛАРИНИНГ ЎЗ-ЎЗИДАН УЙҒОТИЛИШИ

{Ўзгармас ток генераторларининг ўз-ўзидан уйғотиш занжирида ишлатиладиган қуввати жуда кичик (якорда истеъмод қилинадиган қувватнинг  $3 \div 5\%$  қисмини ташкил қилади). Уйғотиш занжирини таъминлаш учун алоҳида мустақил манба ишлатиш жуда воқулай. Шунинг учун амалда уйғотиш чулғамини якордан олинган ток билан таъминлайдиган ўз-ўзидан уйғотиш генераторлари кўпроқ ишлатилади.

Параллел уйғотишли генераторда уйғотиш чулғами ростлаш қаршилиги орқали якорга параллел қилиб уланади. Параллел уйғотишли генераторнинг схемаси 8.14-расмда кўрсатилган. Бундай генераторнинг якори қисмаларидаги кучланиш

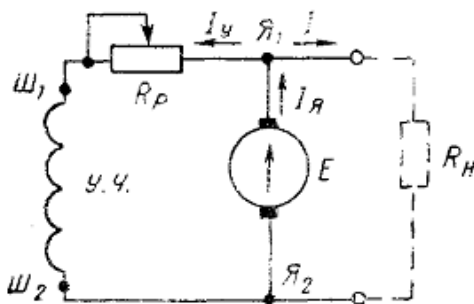
$$U_y = E - I_y R_y = U, \quad (8.3)$$

бу ерда  $I_y R_y$  — якорь қаршилигидаги кучланишнинг пасайиши.

8.14-расмда кўрсатилганидек, якорь ҳам ташқи электр шохобчасини, ҳам уйғотиш занжирини ток билан таъминлайди, яъни

$$I_y = I + I_v. \quad (8.4)$$

Генератор нормал ишлаганида унинг уйғотиш чулғамидан ўтадиган токнинг миқдори:



$$I_y = \frac{U_y}{R_y + R_p} = \frac{U_y}{R_y + R_s}, \quad (8.5)$$

бу ерда  $U_y$  — уйғотиш кучланиши (у якорь қисмаларидаги кучланишга тенг);  $R_y$  — уйғотиш чулғамининг қаршилиги;  $R_p$  — ростлаш реостатининг қаршилиги.

Нагрузка бўлмаганида, яъни  $I = 0$  да

$$I_y = I_v.$$

8.14- расм.

Уйғотиш токи якорнинг номинал токига нисбатан жуда оз бўлганлиги учун якорь кучланишининг пасайишини эътиборга олмаса ҳам бўлади, яъни  $U_{я} \approx E = cn\Phi$  бўлади. Бунда

$$\Phi = \frac{I_y \omega_y}{R_m}. \quad (8.6)$$

Якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида якорь қисмаларидаги кучланиш уйғотиш токигагина боғлиқ бўлади, яъни

$$U_{я} = E = f(I_y). \quad (*)$$

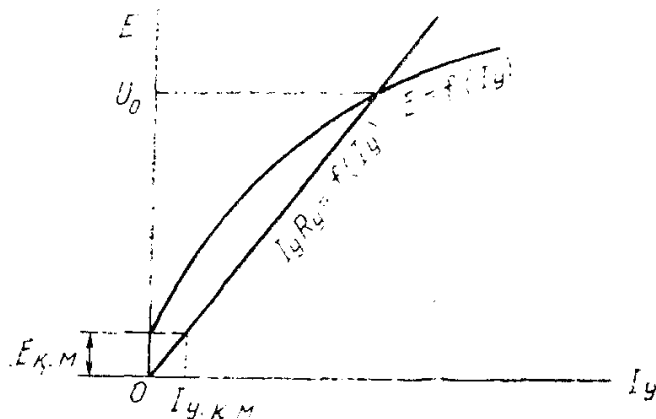
(8.7) ифодага мувофиқ уйғотиш токини ҳосил қилиш учун якорь қисмаларида кучланиш бўлиши керак. (\*) ифодага кўра якорь қисмаларида кучланиш ҳосил қилиш учун уйғотиш токи бўлиши керак.

Дастлаб якорь бирламчи двигатель воситасида айлантирила бошлаганда уйғотиш токи ва уйғотиш токини ҳосил қилувчи якорь қисмаларида ҳеч қандай кучланиш бўлмайди. Шундай бўлса, машинада кучланиш ва ток қандай ҳосил бўлади? Бундай генераторда ЭЮК пайдо бўлиши ўз-ўзидан уйғотиш принципага асосланган.

Генератор ишлаши ёки ўз-ўзидан уйғониши учун унинг магнит системаси (қутблар ва станина) да қолдиқ магнетизм  $\Phi_{к.м}$  бўлиши шарт. Машинада бундай қолдиқ магнетизм дастлаб заводнинг ўзида ташқи ток манбаи ёрламида вужудга келтирилади. Қолдиқ магнетизм  $\Phi_{к.м}$  якорь чулғамларида бироз бўлса ҳам ЭЮК  $E_{к.м}$  ни индукциялайди (8.15-расм). Шу ЭЮК уйғотиш чулғамларида  $I_{у.к.м}$  токини ҳосил қилади.

$$I_{у.к.м} = \frac{E_{к.м}}{R_{я} + R_y + R_p} = \frac{E_{к.м}}{r_y + R_p}, \quad (8.7)$$

бунда якорнинг қаршилиги эътиборга олинмайди, чунки у уйғотиш чулғамининг қаршилигига қараганда анча кичик бўлади.  $I_{у.к.м}$  уйғотиш токи магнит майдонини ҳосил қилади. Ушбу магнит майдони қолдиқ магнетизмнинг магнит майдони томонга йўналган. Агар улар бир томонга йўналмаса, генератор ўз-ўзидан уйғонмайди ва ишлай олмайди. Бунда генератор якорини тескари томонга айлантириш ёки уйғотиш занжиридаги токнинг йўналишини ўзгартиришга тўғри келади. Бунинг учун уйғотиш занжирининг якорь



8.15- расм.

чулғамларига уланган учларини алмаштириш керак.

Уйғотиш токини ҳосил қилувчи магнит майдони қолдиқ магнетизмнинг магнит майдони томон йўналган бўлса, жами магнит майдони ва индукцияланувчи ЭЮК оша боради. ЭЮК орта борган сари уйғотиш токи ҳам кучая боради. Бу жараён уйғотиш занжиридаги кучланиш индукцияланувчи ЭЮК ни мувозанатлагунга қадар давом этади (8.15-расмдаги *a* нукта). Аммо, магнит тўйиниши туфайли кучланишнинг ўсиш жараёни чекланган бўлади.

### 8.10. ПАРАЛЛЕЛ УЙҒОТИШЛИ УЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Электр машиналарининг хоссаларини уларнинг характеристикалари ёрдамида осон тушуниш мумкин. Бу характеристикалар машинага оид барча катталиклар ўзгармай туриб, фақат икки асосий параметр ўзгарганда улар орасидаги боғланишни ифода этувчи эгри чизиқдан иборат. Амалда генератор учун якорнинг айланишлар частотаси ўзгармас, якорь учидаги кучланиш, якорь токи ва уйғотиш токи эса ўзгарувчан катталиклар ҳисобланади. Параллел уйғотишли ўзгармас ток генераторини текширганда унинг учта асосий характеристикаси олинади.

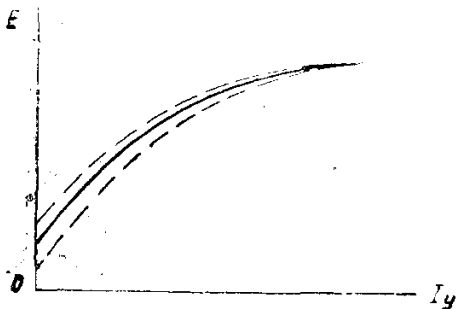
1. Салт ишлаш характеристикаси. Ушбу характеристика якорь қисмаларидаги кучланишнинг (якорнинг ташқи занжири очиқ бўлганда) уйғотиш токига қандай боғлиқ бўлишини кўрсатади. Бунда  $I_a = 0$  ва  $n = \text{const}$  бўлади. Салт ишлаш характеристикасининг аналитик ифодаси

$$U = f(I_y); \quad I_a = 0; \quad n = \text{const}.$$

$I_a = 0$  бўлганда  $U = E$  бўлади, бинобарин  $E = f(I_y)$  бўлади.  $n = \text{const}$  бўлганлиги учун  $E = cn\Phi$  формуласини  $E = K\Phi$  кўринишида,  $E = f(I_y)$  аналитик ифодани

$$\Phi = f(I_y \omega_y) \quad \text{ёки} \quad B = f(H)$$

кўринишида ёзиш мумкин. Бу эса магнитланиш характеристикасининг аналитик ифодасидир. Параллел уйғотишли ўзгармас ток генераторининг салт ишлаш характеристикаси 8.16-расмда кўрсатилган.



8.16-расм.

Шундай қилиб, салт ишлаш характеристикасининг эгри чизиғи машина магнит занжири айрим элементларининг магнит хоссалари билан белгиланади. Уйғотиш токи кўпайганида ЭЮК ортади. ЭЮК максимал қийматга эришганидан сўнг уйғотиш токи аста-секин камайтира борилса, уйғотиш токининг аввалги қийматларига тўғри кел-

ганда ҳосил бўладиган ЭЮК аввалгидан ортиқроқ бўлади. Машина қутб ва корпусларидаги қолдиқ магнетизм шунга сабаб бўлади.

Одатда, назарий салт ишлаш характеристикаси ишлатилади. Бу характеристика ҳақиқий характеристиканинг юқори ва пастки тармоқлари ўртасидан ўтган эгри чизиқдир (8.16-расмда узлуксиз чизиқ билан кўрсатилган).

Салт ишлаш характеристикаси уч қисмдан иборат. Биринчи қисм характеристиканинг тўғри чизиқли бошланғич қисмидир. Бу қисмда машина ҳали магнит жиҳатдан тўйинмаган бўлиб, магнит индукцияси анча кам бўлади. Иккинчи қисм характеристиканинг эгри чизиқли қисми бўлиб, „тирсак“ деб аталади. Бу қисмда машина магнит тўйиниш арафасида бўлади. Учинчи қисм характеристиканинг ётиқ ва тўғри чизиқли қисмлари бўлиб, бунда машина тўйинган, яъни уйғотиш токининг ортиши янги магнит куч чизиқларини ҳосил қилмайди.

Номинал кучланишнинг иш қисми, албатта, характеристиканинг эгри чизиқли (тирсак) қисмида бўлиши керак, чунки бу ҳолда кучланишини ростлаш қулайроқ.

**Ташқи характеристика.** Уйғотиш занжирининг қаршилиги ва айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида генератор якори қисмаларидаги кучланишнинг нағрузка токи билан қандай боғланганлигини кўрсатувчи эгри чизиқ ташқи характеристика бўлади:

$$U = f(I_a), \quad R_y = \text{const}, \quad n = \text{const}.$$

Параллел уйғотишли генераторнинг ташқи характеристикасини олишда уйғотиш занжирининг қаршилиги  $R_y = \text{const}$  бўлади. Нағрузка токи  $I$  ортганда якордаги ток  $I_a$  ҳам ортади. Бу эса якордаги кучланиш пасайиши ( $I_a R_a$ ) ҳамда якорь реакцияси туфайли якорь қисмаларидаги кучланишнинг пасайишига сабаб бўлади. Демак, уйғотиш токи

$$I_y = \frac{U}{R_y} \quad (8.8)$$

камаёди. Бу эса магнит оқими

$$\Phi = \frac{I_y \omega_y}{R_m} \quad (8.9)$$

нинг ҳамда индукцияланувчи ЭЮК

$$E = c\Phi n$$

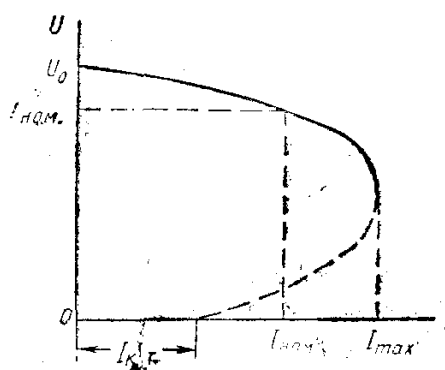
ни якорь қисмаларидаги кучланиш

$$U = E - I_a R_a$$

нинг камайишига сабаб бўлади.

Шундай қилиб, параллел уйғотишли генератор кучланишининг пасайишига таъсир кўрсатувчи сабаблар қуйидагилардан иборат:





8.17- расм.

1. Кучланиш  $I_{я}R_{я}$  нинг якорь қаршилигида пасайиши.

2. Якорь реакцияси.

3. Уйғотиш токининг камайиши.

Параллел уйғотишли генераторда нисбий кучланишнинг пасаяви:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%. \quad (8.10)$$

Ўртача қувватли қўшимча қутб-ли машиналарда  $\Delta U\% = 8 \div 15$  бўлади.

Характеристикадан кўринишича, параллел уйғотишли генераторни фақат аниқ бир чегарагача ( $I_{тах}$  гача) юклаш мумкин. Ушбу ток *критик ток* деб аталади (8.17-расм,  $d$  нуқта). Токни бу даражагача кучайтириш мумкин эмаслигининг сабаби шуки, ток орта борса, кучланиш пасайишининг нагрузка токи  $I$  ни камайтириш таъсири ташқи қаршилик  $R$  таъсирига қараганда кўпроқ бўлади; ташқи қаршиликнинг камайиши нагрузка токи  $I$  ни кучайтиради:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0 - \Delta U}{R}. \quad (8.11)$$

Ташқи қаршилик нолга тенг бўлганида  $I$  токи қисқа туташув токи  $I_{к.т.}$  бўлади. Характеристикадан кўринишича, қисқа туташув токи унча кўп эмас. Бу токни қолдиқ магнетизм оқими индуктивлаган ЭЮК ҳосил қилади.

**Ростлаш характеристикаси** генератор қисмаларидаги кучланиш ва якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида уйғотиш токининг нагрузка токи билан қандай боғланганлигини кўрсатувчи эри чизиқдир:

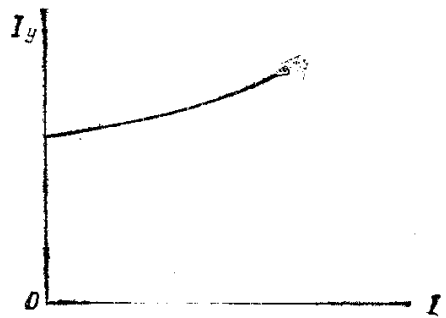
$$U_r = \text{const} \text{ ва } n = \text{const} \text{ бўлганда } I_y = f(I_a).$$

Электр энергияси истеъмолчилари (электр двигателлар, лампалар ва б.) нинг яхши ишлаши учун манбадан олинган кучланиш нагрузка ўзгаришига боғлиқ бўлмай номинал қийматга тенг бўлиши керак.

Шунтли генераторларда нагрузка ўзгариши билан кучланишни миқдор жиҳатдан бир хил сақлаш имконияти бор. Бунинг учун уйғотиш занжиридаги ростлаш реостати (8.14-расм) ёрдамида уйғотиш токи  $I_y$ , шунингдек, магнит оқими  $\Phi$  ва ЭЮК  $E$  ўзгартирилиб, кучланишни  $U = \text{const}$  тарзда ушлаб турилади. Барча генераторлар кучланиш ростлагичи билан жиҳозланади.

Демак, ростлаш характеристикаси (8.18-расм) турли нагрузкаларда генераторнинг қисмаларидаги кучланишни бир хил (ўзгармас) қилиб ушлаб туриш учун уйғотиш токини қанча ўзгартириш кераклигини кўрсатади.

Ўзгармас ток генератори са-  
ноат қурилмаларининг (электролиз  
ва гальваник қурилмалар) паст  
кучланишли ўзгармас ток истеъмол  
қиладиган манбалари ҳисобланади.  
Ундан синхрон генераторнинг уй-  
ғоткичи сифатида ҳам фойдалани-  
лади. Айниқса, махсус ўзгармас  
ток генераторлари (спайвандлаш-  
да, поездларни ёритиш учун иш-  
лагилладиган генераторлар, ўзгар-  
мас ток кучайтиргичлари, акку-  
муляторларни зарядлаш учун генераторлар) кенг тарқалган.



8.18- расм.

### 8.11. КЕТМА-КЕТ УЙҒОТИШЛИ ГЕНЕРАТОР

Кетма-кет уйғотишли генераторда магнит оқими ҳосил қи-  
лиш учун нагрузка токидан фойдаланиш мумкин, бунинг учун  
генераторнинг уйғотиш чулғами якорь билан ўзаро кетма-кет  
уланади (8.19- расм). Бундай генераторда якорь токи билан  
уйғотиш токи қиймат жиҳатдан нагрузка токига тенг бўлади,  
яъни:

$$I_{я} = I_{у} = I.$$

Демак, генераторни фақат нагрузка бўлган ҳолдагина уй-  
ғотиш мумкин. Шунинг учун бундай генераторларнинг салт  
ишлаш характеристикасини олиб бўлмайди. Генераторда наг-  
рузка бўлмаганда  $I_{у} = I = 0$  бўлади, генератор қисмаларидаги  
кучланиш фақат қолдиқ магнетизм ҳисобига ҳосил бўлади.  
Агар генераторнинг салт ишлаш характеристикасини олиш  
талаб этилса, унинг уйғотиш чулғамига ташқаридан (алоҳида  
манбадан) ток юборилади.

Генератор қисмаларидаги кучланиш якорда индукцияланган  
ЭЮК дан якорь ва уйғотиш чулғамларидан кучланишнинг па-  
сайиши миқдорича кичик бўлади:

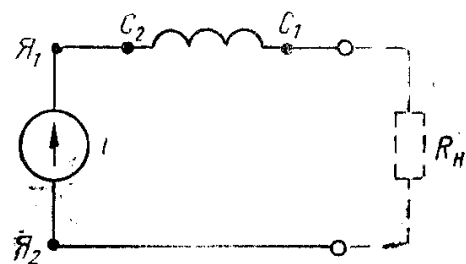
$$U = E - I_{я}(R_{я} + R_{у}) \quad (8.12)$$

бунда

$$E = c\Phi n;$$

$$\Phi = \frac{I_{у}\omega_{у}}{K_{м}}.$$

Кучланишнинг нагрузкага қа-  
раб ўзгариши ферромагнит ма-  
териалларнинг магнитланиш қо-  
нунига яқин бўлади, чунки маг-  
нит оқими  $\Phi$  нинг уйғотиш  
токи  $I_{у}$  га қараб ўзгариши маг-  
нитланиш характеристикаси  $B =$   
 $= f(H)$  дан иборат.



8.19- расм.

Нагрузка токи ортиши билан магнит оқими кўпаяди, кучланиш ортади. Аммо ток катта бўлса, тўйиниш ҳодисаси тўғрисида магнит оқими деярли кўпаймайди. Якорь ва уйғотиш чулғамларида кучланишнинг пасайиши ортади, шунингдек, якорь реакцияси ҳам кучаяди. Натижада машина қисмаларидаги кучланиш пасая бошлайди.

Электр энергиясининг олагдаги истеъмолчилари учун бундай характеристика тўғри келмайди, чунки улар кучланишнинг ўзгармас бўлишини талаб этади. Шунинг учун ўзгармас ток олишда бундай генератор ишлатилмайди. У фақат махсус схемаларда вольт қўшувчи машиналар тарзида қўлланилади.

Кетма-кет уйғотишли генераторлар учун ростлаш характеристики олинмайди.

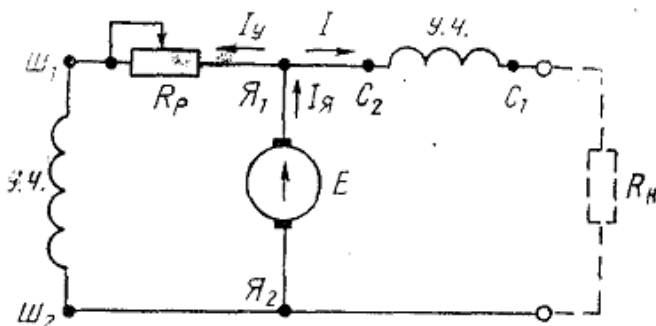
### 8.12. АРАЛАШ УЙҒОТИШЛИ ГЕНЕРАТОР

Аралаш уйғотишли генераторда иккита уйғотувчи чулғам бўлиб, уларнинг асосий чулғам деб аталгани якорга параллел, ёрдамчи чулғам деб аталган иккинчиси эса ташқи занжирга кетма-кет уланади (8.20-расм). Чулғамлар мослаб уланганда кетма-кет уланган ёрдамчи чулғам асосий чулғамнинг магнит майдонини кучайтиради, яъни уларнинг магнит майдонлари ўзаро қўшилади ( $\Phi = \Phi_{ш} + \Phi_c$ ). Чулғамлар қарама-қарши уланганда кетма-кет уланган ёрдамчи чулғам асосий чулғамнинг магнит майдонини сусайтиради, яъни уларнинг магнит майдонлари бир-биридан айирилади ( $\Phi = \Phi_{ш} - \Phi_c$ ). Одатдаги шароитда ўзгармас ток олиш учун чулғамлар мослаб уланади. Чулғамларни қарама-қарши улаш жуда кам ишлатилади, масалан, электр пайвандлаш машиналарида қўлланилади.

Энди аралаш уйғотишли генераторнинг асосий характеристикаларини қараб чиқамиз.

**Салт ишлаш характеристики.** Нагрузка бўлмаганда кетма-кет уланган чулғамдан ток ўтмайди ва у параллел уйғотишли машинадан фарқ қилмайди. Бинобарин, мазкур ҳол учун бу машиналарнинг салт ишлаш характеристикалари параллел уйғотишли машиналар характеристикаларининг айнан ўзидир.

**Ташқи характеристика** параллел уйғотиш занжирининг



8.20-расм.

қаршилиги ва якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида генератор қисмаларидаги кучланишнинг нагрузка токига қандай боғланишини кўрсатувчи эгри чизиқдир:

$$U = f(I); \quad R_{\text{нар. у}} = \text{const}; \quad n = \text{const}.$$

Нагрузка токини кўпайтирганда якорь токи ортади, бунда якорь занжиридаги кучланиш кўпроқ пасаяди, у

$$I_{я}R_{я} + IR_{у\text{кк}}$$

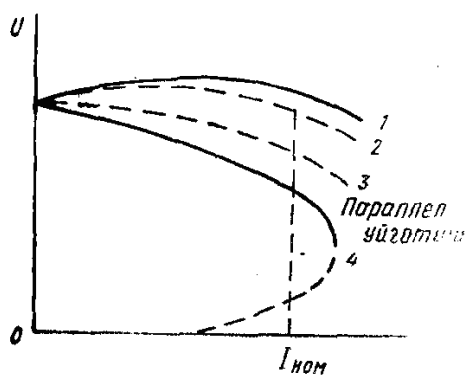
га тенг бўлади. Шунингдек, ЭЮК ни камайтирувчи якорь реакциясининг магнитсизланиш таъсири кўпаяди. Бу эса генератор қисмаларидаги кучланишни камайтиради:

$$U = E - I_{я}R_{я} - IR_{у}.$$

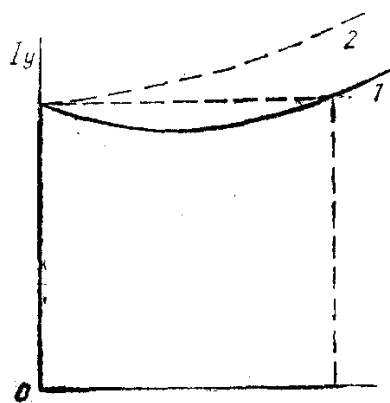
Аммо шу билан бирга тенг таъсир этувчи магнит оқими кўпаяди, чунки кетма-кет уйғотиш чулғамидан ўтган нагрузка токи кўшимча магнит юритувчи куч ҳосил қилади. Бу эса генератор қисмаларидаги кучланишни кўтаради. Кетма-кет уланган чулғамнинг ўрамлар сонига қараб кучланиш кўпроқ ёки озроқ кўтарилади (8.21-расм). Одатда, ўрамлар сони кучланиш деярли ўзгармайдиган қилиб ҳисобланади (8.21-расм, 2-эгри чизиқ). Бу шарт кетма-кет уйғотиш чулғами ҳосил қилган кўшимча магнит юритувчи куч якорь занжиридаги кучланишнинг пасайиши ва якорь реакциясининг магнитсизлаш таъсирини компенсация қилганида бажарилади.

Машинанинг магнит тўйиниши туфайли бундай компенсация тўла бўлмайди. Аммо нагрузка ўзгарганда аралаш уйғотишли генератор қисмаларидаги кучланишнинг ўзгариши (1 ва 2-эгри чизиқ) параллел уйғотишли генератордагидан (3-эгри чизиқ) анча оз бўлади. Уйғотиш чулғамлари қарама-қарши уланганда нагрузка ўзгариши билан генератор қисмаларидаги кучланиш жуда тез пасаяди, чунки кетма-кет чулғамдан ўтган ток магнит майдонини кучсизлантиради (8.21-расм, 4-эгри чизиқ). Генератор тез-тез қисқа туташув шароитига дуч келганда шундай характеристика зарурдир.

**Ростлаш характеристикаси.** Генератор қисмаларидаги кучланишни ўзгармайдиган қилиб сақлаш учун параллел уйғотишли генератордаги ЭЮК ни ўзгартиш лозим. Бу параллел уйғотиш чулғамидаги токни ўзгартиш йўли билан бажарилади. Кучланиш ўзгармай туриши учун уйғотиш токини қандай ўзгартиш лозимлигини кўрсатувчи эгри чизиқ ростлаш характеристикаси деб аталади:



8.21-расм.



8.22-расм.

$$U = \text{const}; \quad n = \text{const}; \quad I_y = f(I).$$

Нагрузка ўзгарганда параллел уйғотишли генератордагига қараганда аралаш уйғотишли генераторда кучланиш камроқ пасайганлиги учун аралаш уйғотишли генераторларда уйғотиш токи камроқ ўзгартирилади (8.22-расм).

### 8.13. УЗГАРМАС ТОҚ ДВИГАТЕЛЛАРИ

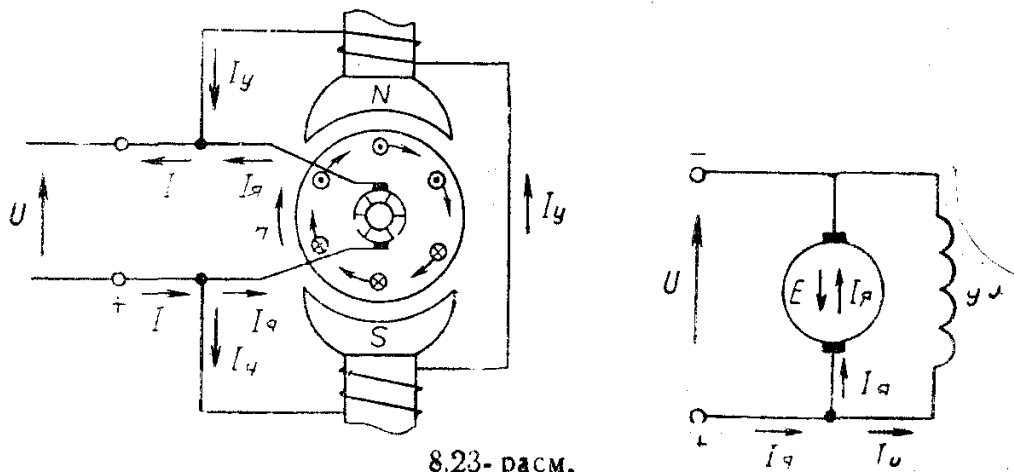
Ўзгармас ток электр машиналари бошқа электр машиналари каби қайтувчанлик хусусиятига эга бўлиб, ҳам генератор, ҳам двигатель режимларида ишлай олади. Шунинг учун двигательнинг тузилиши ўзгармас ток генераторининг тузилишидан фарқ қилмайди. Генераторга ўхшаб двигателлар ҳам уйғотиш чулғамининг якорга уланиш схемаси бўйича фарқланади. Ўзгармас ток двигателлари айланиш тезлигининг кенг доирада бошқарилиши ва махсус механик характеристикаларни олиш мумкинлиги туфайли кенг қўлланади. Булар прокат станларида, транспортда, кемаларда эшкак винглари ҳаракатга келтириш учун ишлатиладиган ўзгармас ток двигателларидир.

Ягона П серияли ўзгармас ток двигателларининг қуввати 0,2 дан 6800 кВт гача бўлиб, айланиш тезлиги 24 дан 3000 айл/мин гача бўлган диапазонни ташкил этади.

**Двигатель режими.** Ўзгармас ток машинаси двигатель режимида ишлаши учун уйғотиш токини шундай камайтириш керакки, натижада якорда индукцияланаётган ЭЮК тармоқ кучланишидан кам бўлсин. Тармоқ кучланиши ортиқ бўлгани учун якордаги токнинг йўналиши тескарисига ўзгаради. Берилган кучланиш таъсирида уйғотиш чулғамидан ток ўта бошлайди, аммо унинг йўналиши ўзгармайди (8.23-расм).

Якорь чулғамларидан ўтаётган ток  $I_a$  билан уйғотиш чулғамининг магнит оқими  $\Phi$  нинг ўзаро таъсирдан электромагнит куч  $F$  ҳосил бўлади, унинг йўналиши чап қўл қоидасига кўра аниқланади. Мазкур куч айланттирувчи моментни юзага келтиради:

$$M = k\Phi I_a.$$



8.23-расм.

Натижада якорь айлана бошлайди. Электромагнит момент  $M$  валнинг қаршилик momenti  $M_k$  ни енгади ва электр машина двигатель режимда ишлай бошлайди.

Якорь айланганда чулғамдаги ўрамлар магнит куч чизиқларини кесиб ўтади ва уларда ЭЮК  $E = c\Phi n$  индукцияланади. Унг қўл қондасидан фойдаланиб, ҳар бир ўрамда индукцияланган бу ЭЮК нинг ундан ўтаётган токка тескари йўналганлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Демак, якорь чулғамида индукцияланган ЭЮК унга берилган ташқи кучланишга қарама-қарши йўналган. Шунинг учун бу ЭЮК тескари ЭЮК ( $E_T$ ) номини олган.

Кучланиш  $U$  ва  $E_T$  нинг қарама-қарши йўналганлигини ҳисобга олиб, якорь занжиридаги ток учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$I_a = \frac{U - E_T}{R_a} = \frac{U - c\Phi n}{R_a}$$

ёки

$$U = E + I_a R_a.$$

Двигатель қисмаларига берилган кучланиш  $U$  тескари ЭЮК ни ва кучланишнинг якорь чулғамининг қаршилиги  $R_a$  даги пасаювини компенсация қилади. Двигатель нормал ишлаганда  $I_a R_a$  нинг қиймати нисбатан кичик ва тескари ЭЮК тармоқ кучланиши  $U$  нинг 90—95% ни ташкил этади.

Параллел уйғотишли двигательнинг тармоқдан истеъмол қилаётган токи якорь ва уйғотиш чулғамларидан ўтаётган токларнинг йиғиндисига тенг, яъни  $I = I_a + I_y$ .

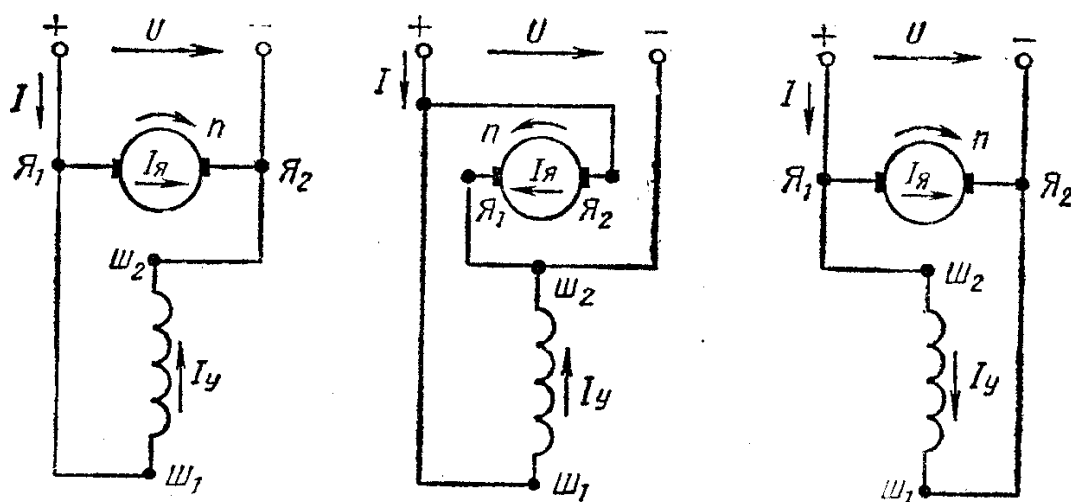
Двигателни ишга тушириш. Ўзгармас ток двигателининг якорид ги ток

$$I_a = \frac{U - E_T}{R_a} = \frac{U - c\Phi n}{R_a}$$

формула билан ифодаланган эди. Агар двигателни кучланиши  $U$  бўлган тармоққа уласак, ишга туширишнинг бошланғич лаҳзасида якорь ўзининг тинч ҳолатдаги инерциясини сақлаши ( $n=0$ ) туфайли  $E_T=0$  бўлиб, двигательнинг токи якорнинг қаршилиги билан чекланади, яъни  $I_{н.т} = I_{к.т} = \frac{U}{R_a}$ .

Бу ток якорнинг қисқа туташини токи  $I_{к.т}$  ҳам дейилади. У (18 ÷ 20)  $I_{н.ном}$  га тенг. Якорь чулғамини бундай ўта катта токдан сақлаш мақсадида якорь чулғамига кетма-кет қилиб ишга тушириш реостати  $R_{н.т}$  уланади (8.24-расм). У ҳолда ишга туширишнинг бошланғич лаҳзасида якордаги ток  $I_a = U / (R_a + R_{н.т})$ .

Ишга тушириш вақти қисқа бўлиши учун ишга тушириш токнинг жоиз қиймати  $I_{н.т} = (1,5 ÷ 2) I_{н.ном}$  бўлиши керак. Шу билан бир вақтда, ишга тушириш momenti  $M_{н.т}$  ҳам номинал момент  $M_{ном}$  дан  $1,5 ÷ 2$  марта катта бўлади. Двигателнинг айланмиш тезлиги орта борган сари тескари ЭЮК  $E_T$  нинг ҳам



8.24- расм.

қиймати орта бориб, якордаги ток ва айлантурувчи момент камая боради. Айлантурувчи моментни бир меъёрда ушлаб туриш учун ишга тушириш реостатининг қаршилиги бир текис камайтира борилади ва двигатель номинал тезликка эришганда ( $R_{и.т} = 0$  да) якорь занжиридан узиб қўйилади. Демак, двигательни ҳар гал тармоқдан ажратганда ишга тушириш реостатини қайта бошланғич ҳолатга келтириб қўйиш керак.

**Двигателнинг ўз-ўзидан ростланиш принципи.** Двигателнинг ўз-ўзидан ростланиш принципини тушунтириш учун якорь занжиридаги ток формуласига мурожаат қиламиз:

$$I_a = \frac{U - E_T}{R_a} = \frac{U - c\Phi n}{R_a}$$

Агар қаршилик momenti  $M_k$  ортса, двигательнинг айланиш тезлиги  $n$  ва тескари ЭЮК  $E_T = c\Phi n$  камаяди. Натижада якорь токи  $I_a$  ва у билан биргаликда айлантурувчи момент  $M = k\Phi I_a$  янги қаршилик momenti билан тенглашгунча ортади. Аксинча, қаршилик momenti  $M_k$  камайса, двигательнинг тезлиги ва у билан биргаликда тескари ЭЮК  $E_T$  ортади, натижада якорь токи  $I_a$  ва айлантурувчи момент  $M$  янги қаршилик momenti  $M_k$  билан тенглашгунга қадар камаяди. Демак, ўзгармас ток двигатели нагрузка ўзгарганда ташқи таъсирсиз ўз-ўзидан ростланиш хусусиятига эга экан. Бу жараённи қуйидагича ифодалаш ҳам мумкин:

$$\rightarrow M_k \uparrow \rightarrow n \downarrow \rightarrow E_T \downarrow \rightarrow I_a \uparrow \rightarrow M \uparrow \quad \leftarrow$$

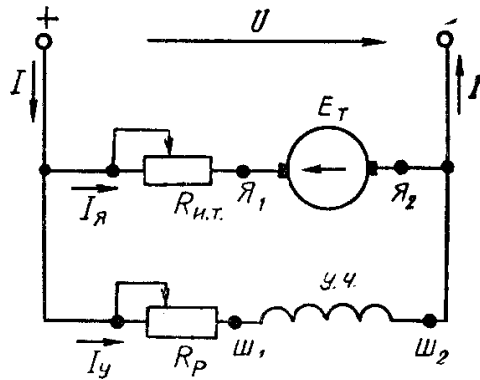
ёки

$$\rightarrow M_k \downarrow \rightarrow n \uparrow \rightarrow E_T \uparrow \rightarrow I_a \downarrow \rightarrow M \downarrow \quad \leftarrow$$

**Двигателни реверслаш.** Ўзгармас ток двигателининг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун якорь ёки уйғотиш занжиридаги токнинг йўналишини тескарисига ўзгарти-

риш керак. Бунинг учун якори-  
нинг  $Я_1$  ва  $Я_2$  ёки уйғотиш зан-  
жирининг  $Ш_1$  ва  $Ш_2$  учлари-  
ни двигателни ишга тушириш  
схемасига биноан ўзаро ўрнини  
алмаштириш керак.

8.25-расм, а да ўзгармас ток  
двигателнинг чулғамларини  
улашнинг принципиал схемаси  
(реверслагунга қадар). 8.25-  
расм, б ва в ларда эса двига-  
телнинг айланиш йўналишини  
ўзгартиришнинг схемалари кўр-  
сатилган.



8.25- расм.

**Двигателнинг айланиш тез-**

лиги. Двигателнинг якорь токи формуласи  $I_я = \frac{U - E_T}{R_я} =$

$\frac{U - c\Phi n}{R_я}$  дан унинг айланиш тезлигини ифодаловчи фор-  
мула

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi} \quad (8.14)$$

ни олиш мумкин. (8.14) формуладан кўринадикки, двигател-  
нинг айланиш тезлиги кучланишга тўғри, магнит оқимига тес-  
кари пропорционал. Агар тармоқ кучланишини двигателнинг  
ини жараёнида ўзгармас деб ҳисобласак, унинг айланиш тез-  
лигини фақат магнит оқими орқали бошқариш мумкин бўла-  
ди. Магнит оқими билан уйғотиш токи  $I_y$  нинг  $\Phi = I_y \omega_y / R_m$   
боғланишини ҳисобга олсак, двигателнинг айланиш тезлиги  
уйғотиш занжирининг параметрларига боғлиқ бўлади. Одатда,  
двигатель учун  $W_y$  ва  $R_m$  лар ўзгармас бўлгани учун унинг  
айланиш тезлиги уйғотиш токигагина боғлиқ бўлади.

#### 8.14. ПАРАЛЛЕЛ УЙҒОТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

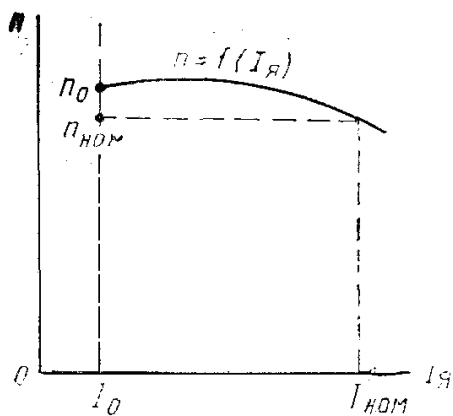
Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателнинг хусуси-  
ятларини батафсил билиш учун унинг характеристикалари  
билан танишиб чиқамиз.

Салт ишлаш характеристикаси двигатель қисмаларидаги  
кучланиш ўзгармас ва унинг ўқидаги фойдали қувват  $P_2 = 0$   
бўлганда якорь айланиш тезлигининг уйғотиш токига боғлиқ-  
лигини ифодалайди. Буни қуйидагича ифодалаш мумкин:  $U =$   
 $\text{const}$ ,  $P_2 = 0$  бўлганда  $n = f(I_y)$

Двигателнинг айланиш тезлиги ва магнит оқими формула-  
лирига мурожаат қиламиз:

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi}; \quad \Phi = \frac{I_y \omega_y}{R_m}$$





8.26- расм.

Ушбу ифодалардан кўриниб турибдики, двигателнинг айланиш тезлиги магнит оқими  $\Phi$  га, у эса ўз навбатида, уйғотиш токи  $I_y$  га боғлиқ. Уйғотиш токининг дастлабки қийматларида машинанинг магнит системаси тўйинмаган бўлиб, магнит оқими уйғотиш токига тўғри пропорционалдир.

Агар уйғотиш токи кучли бўлса, машинанинг магнит системаси тўйинган бўлади ва уйғотиш токининг бундан кейинги

ортиши магнит оқимини янада камайтиради. Магнит тўйиниши туфайли  $n = f(I_y)$  кучли уйғотиш тоқларида абсцисса ўқига деярли параллел ҳолда бўлади.  $n = f(I_y)$  гиперболик характерга эга. Двигателнинг салт ишлаш характеристикаси 8.26-расмда кўрсатилган.

Характеристикадан кўриниб турибдики, двигателнинг тезлигини кенг доирада бошқариш мумкин. Бу режимда уйғотиш занжирининг ишончлилигига алоҳида эътибор бериш керак. Чунки двигатель ишлаётганда уйғотиш занжирида узилиш содир бўлса,  $I_y = 0$  ва у билан боғлиқ магнит оқими  $\Phi$  ва тескари ЭЮК  $E_r$  ҳам нолга тенглашиб, двигатель учун хавfli бўлган ўта катта айлантирувчи момент юзага келади.

**Ташқи (юкланиш) характеристикаси** уйғотиш токи (аниқроғи  $R_p = \text{const}$ ) ва кучланиш ўзгармас бўлганда, двигатель айланиш тезлигининг якорь токига боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чизиқдир. Бинобарин,  $I_y = \text{const}$  ( $R_p = \text{const}$ ),  $U = U_{\text{ном}} = \text{const}$  бўлганда  $n = f(I_a)$ .

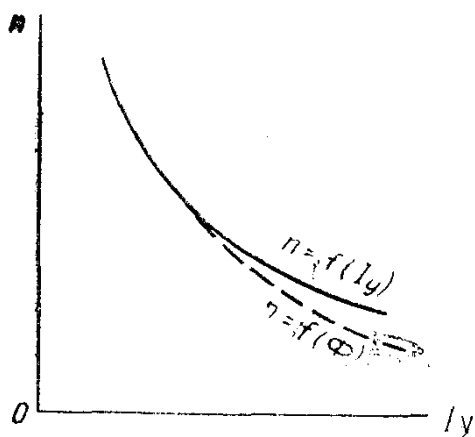
Юкланиш ўзгарганда якорнинг айланиш тезлиги қандай ўзгаришини кўриш учун двигателнинг айланиш тезлигини ифодаловчи формулага мурожаат қиламиз:

$$n = \frac{U - I_a R_a}{c\Phi}$$

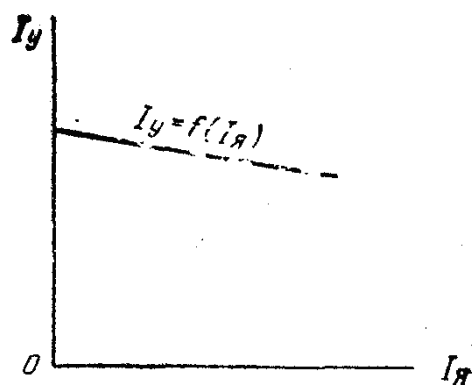
Ушбу ифодадан кўринадики, юкланиш ортиши билан якордаги кучланишнинг пасаюви ( $I_a R_a$ ) ортади. Бу эса якорнинг айланиш тезлигини камайтиради, шунингдек якорь реакциясининг ортишига сабаб бўлади. Натижада тенг таъсир этувчи магнит оқими бироз камайиб, двигателнинг тезлиги ортади. 8.27-расмда двигателнинг ташқи характеристикаси кўрсатилган.

Якордаги кучланишнинг пасаюви якорь реакциясининг магнитсизлаш таъсиридан кучли бўлгани учун двигателнинг айланиш тезлиги бироз камаяди. Айланиш тезлигининг ўзгариши қуйидагича аниқланади:

$$\Delta n \% = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} \cdot 100$$



8.27- расм.



8.28- расм.

бу ерда  $n_{\text{ном}}$ —двигателнинг номинал нагрузка билан айланиш тезлиги;  $n_0$ —двигателнинг салт ишлашдаги айланиш тезлиги.

Параллел уйғотишли двигателларда  $\Delta n = (2 \div 5)\%$  ни ташкил этади. Нагрузка ўзгарганда айланиш тезлигининг озгина қийматга ўзгариши, параллел уйғотишли двигателнинг ўзига хос хусусияти бўлиб, унинг характеристикаси „қаттиқ“ ҳисобланади.

Ростлаш характеристикаси двигателнинг айланиш тезлиги на тармоқ кучланиши ўзгармас бўлганда уйғотиш токининг якорь токига боғлиқлигидир, яъни  $n = \text{const}$ ,  $U = \text{const}$  бўлганда  $I_y = f(I_a)$ .

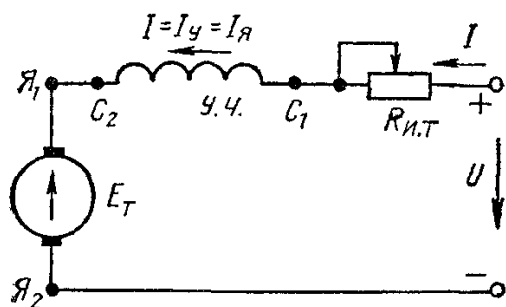
Ушбу характеристика (8.28- расм) двигателнинг салт ишлашидан то номинал нагрузкагача бўлган оралиқда унинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлишини таъминлаш учун уйғотиш токини қай даражада ўзгартириш кераклигини кўрсатади. Ҳақиқатан ҳам, нагрузка ортганда двигателнинг айланиш тезлиги камаяди, аммо  $n = \text{const}$  шартини бажариш учун магнит оқими  $\Phi$  ни, яъни уни ҳосил қилувчи уйғотиш токи  $I_y$  ни бироз камайтириш керак бўлади.

### 8.15. КЕТМА-КЕТ УЙҒОТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

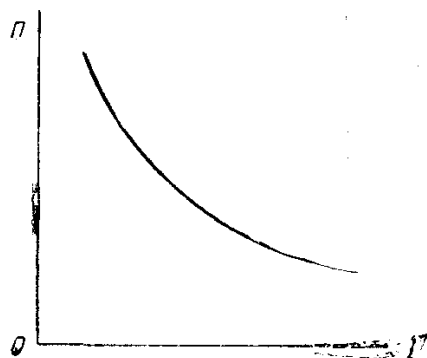
Кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателида уйғотиш магнит оқими билан якорь чулғами ўзаро кетма-кет улангани учун  $I_a = I_y$  бўлади. Барча ток уйғотиш чулғамидан ўтганлиги учун унинг кесими катта ва ўрамлари сони оз бўлади.

Двигател салт ишлаганда ёки нагрузка кам бўлганда магнит тармоқдан истеъмол қиладиган токи  $I_y$  ва у ҳосил қиладиган магнит оқими  $\Phi$  кичик бўлади:

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_a(R_a + R_y)}{c\Phi}$$



8.29- расм.



8.30- расм.

Бунда двигателнинг айланиш тезлиги номиналдагидан 3 — 4 марта ортиқ бўлади. Шунинг учун бундай двигателни юксиз ишлатиш ва ўзгарувчан нагрузкага улаш мумкин эмас.

Кетма-кет уйғотишли двигателнинг электр тармоғига улаш схемаси 8.29- расмда кўрсатилган.

Уйғотиш токи нагрузка токига тенг  $I_y = I_a$  бўлгани учун мазкур двигателнинг салт ишлаш ва ростлаш характеристикаларини олиб бўлмайди. Фақат  $U = \text{const}$  бўлганда ташқи характеристикаси  $n = f(I_y)$  ни олиш мумкин. Бу боғланиш қуйидаги формула билан ифодаланади:

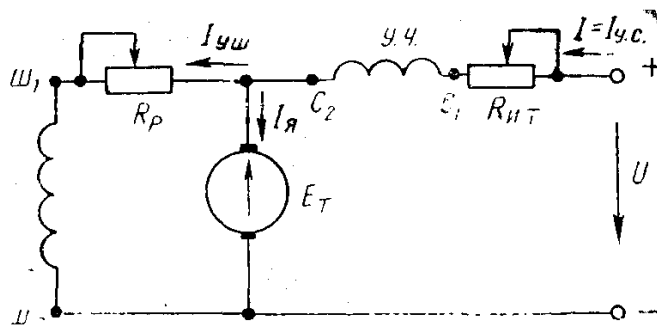
$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_y)}{c\Phi}; \quad \Phi = f(I_y) = f(I).$$

Демак, нагрузка токи ортиши билан магнит оқими  $\Phi$  ортади, тезлик эса камаяди. Бу боғланиш машинанинг магнит системаси тўйинмаган ҳолатда параллел уйғотишли двигателни кига ўхшаш бўлиб, гиперболоикдир. Двигателнинг ташқи характеристикаси 8.30- расмда кўрсатилган. Катта нагрузкада машинанинг магнит системаси тўйинган бўлиб, магнит оқими  $\Phi$  нинг ва айланиш тезлиги  $n$  нинг ўзгариши кам бўлганидан характеристика абсциссалар ўқиға деярли параллелдир.

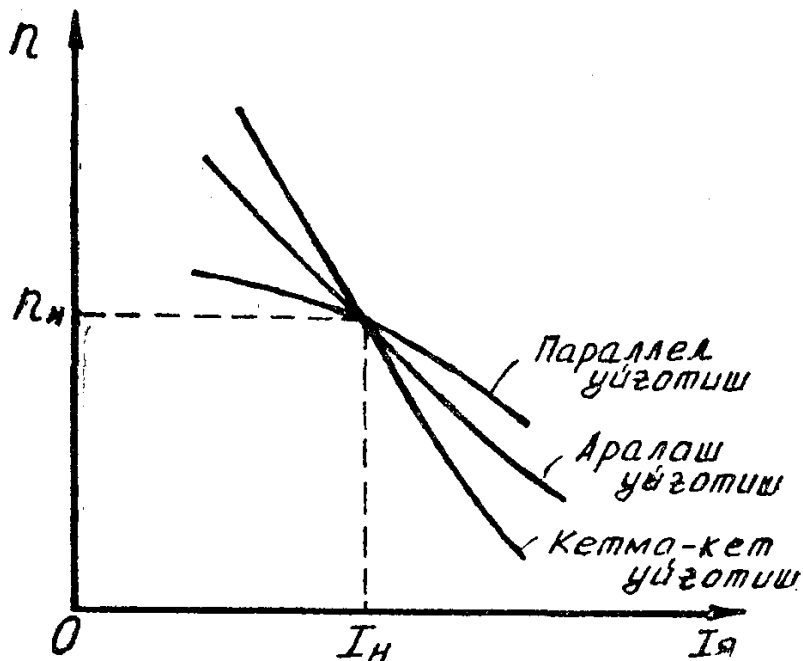
Кетма-кет уйғотишли двигателлар характеристикасининг „юмшоқ“лиги билан ажралиб туради. Бу двигателлар кўпроқ электр транспортида ва кранларда ишлатилади.

#### 8.16. АРАЛАШ УЙҒОТИШЛИ УЗГАРМАС ТОҚ ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Бундай двигателларда иккита уйғотиш чулғами бўлиб, улардан бири якорга кетма-кет уланса, иккинчиси параллел уланади. Мазкур двигателнинг принципиал схемаси 8.31- расмда кўрсатилган. Кетма-кет чулғам параллел чулғам билан мос қилиб уланади, шундагина уларнинг магнит оқимлари қўшилади. Бу ҳолда двигатель параллел ва кетма-кет уйғотишли двигателларнинг „ўртача“ хусусиятларига эга бўлади. Уйғотиш чулғамлари қарама-қарши уланганда двигатель ўзгармас



8.31- расм.



8.32- расм.

ликка эришиши мумкин. Бундаги характеристика „қаттиқ“ собланади.

Салт ишлаш характеристикаси. Нагрузка токи  $I_{я} = 0$  бўлганда, кетма-кет уйғотиш чулғамидан ўтадиган озгина токни ҳисобга олмаса ҳам бўлади.  $U$  ҳолда двигатель параллел уйғотишли двигательнинг салт ишлаш характеристикасидан фарқ қилмайди.

Ташқи (юкланиш) характеристикаси кучланиш параллел уйғотиш занжиридаги ток  $I_{y.ш}$  (аниқроғи, шу занжиридаги ростлаш реостатининг қаршилиги  $R_p$ ) ўзгармас бўлганда двигатель айланиш тезлигининг якорь токига боғлиқлигини ифодаловчи эгри чизиқдир, яъни  $I_{y.ш} = \text{const}$ ,  $U = \text{const}$  бўлганда  $n = f(I_{я})$ . Бунда:

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_{я}(R_{я} + R_c)}{c(\Phi_{ш} + \Phi_c)} \quad (8.15)$$

$$\Phi_{ш} = \frac{I_{y.ш} \omega_{ш}}{R_{ш}}; \quad \Phi_c = \frac{I_{y.c} \omega_c}{R_{ш}}$$

бу ерда  $\Phi_{ш}$  ва  $\Phi_c$  — тегишлича параллел (шунтли) ва кетма-кет (сериесли) чулғамнинг ҳосил қилган магнит оқими.

Нагрузка ортганда якорь токи ва кетма-кет уйғотиш чулғамининг токи ( $I_{кк.} = I_{у.с}$  ва у билан биргаликда  $\Phi_c$  ҳам) ортиб, двигателнинг айланиш тезлиги камаяди. Двигателнинг ташқи характеристикаси 832-расмда кўрсатилган.

**Ростлаш характеристикаси.** Ушбу характеристика двигателнинг айланиш тезлигини ростлаш керак бўлган жойлардагина ишлатилади. Шунинг учун мазкур двигателнинг ростлаш характеристикаси олинмайди.

Аралаш уйғотишли двигателлар электр поездларда, компрессорларда, насосларда, йўниш дастгоҳларида, прокат станларида, умуман катта момент ва тезланиш керак бўлган жойларда ишлатилади.

### 8.17. УЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ НОМИНАЛ КАТТАЛИКЛАРИ ВА ФИК

Бундай двигателнинг номинал катталикларига қуйидагилар киради:

- $P_{ном}$  — номинал қувват, кВт;
- $U_{ном}$  — номинал кучланиш, В;
- $I_{ном}$  — номинал ток, А;
- $n_{ном}$  — номинал айланиш тезлиги, айл/мин.

Номинал қувват  $P_{ном}$  двигателни ишлаб чиқарган завод томонидан нормал шароитлар учун белгиланади. Двигателнинг ҳақиқий қуввати унинг валидаги қаршилик моменти билан аниқланади.

Двигателнинг қувваги  $P$  (кВт), айлантирувчи моменти ( $H \cdot м$ ) ва айланиш тезлиги (айл/мин) ўзаро қуйидагича боғланган:

$$P_m = \frac{M \cdot n}{9550} \quad (8.16)$$

Двигатель ишлаганда қуйидаги қувват исрофлари бўлади: якорь чулғамидаги қувват исрофи ( $\Delta P_{я} = I_{я}^2 R_{я}$ ; уйғотиш занширидаги қувват исрофи ( $\Delta P_{у} = I_{у}^2 R_{у}$ ); магнит майдони ҳосил қилишдаги (пўлатдаги) қувват исрофи ( $\Delta P_{п}$ ); механик қувват исрофи ( $\Delta P_{мех}$ )

Двигатель истеъмол қиладиган электр қуввати унинг механик фойдали қуввати  $P$  дан қувват исрофлари  $\sum \Delta P$  қийматича катта, яъни

$$P_э = P_m + \sum \Delta P = P + \Delta P_{я} + \Delta P_{у} + \Delta P_{п} + \Delta P_{мех}.$$

У ҳолда двигателнинг фойдали иши коэффициенти қуйидагича ифодланади:

$$\eta = \frac{P_m}{P_э} \cdot 100\% = \frac{P_m}{P + \sum \Delta P} \cdot 100\%.$$

Умуман, ўзгармас ток машинасининг қуввати орган сари унинг фойдали иш коэффициенти ҳам ортади. Ўта кичик қувватли машиналарнинг ФИК 30 — 40% бўлса, катта қувватлиларники 83÷96 атрофидадир.

## 9- б о б. АСИНХРОН МАШИНАЛАР

*Асинхрон машина* ўзгарувчан ток машинаси бўлиб, унинг ишлаш принципи айланувчан магнит майдони ҳодисасига асослангандир. Асинхрон машиналар ҳам генератор, ҳам двигател сифатида ишлатилиши мумкин.

Асинхрон двигателнинг тузилиши оддий, ишлатиш қулай, энергетик ва механик характеристикалари яхши бўлгани учун одатда ишлатилаётган электр двигателларининг 80 фоизидан ортигини асинхрон двигателлар ташкил этади. Бундай катта талабни қондириш учун машинасозлик заводларида ҳар йили ишлаб чиқарилаётган асинхрон двигателларнинг қуввати ваттнинг бир неча улушларидан, бир неча минг киловаттгача, иш қучланиши эса 127 В дан 10 кВ гача бўлади.

Асинхрон двигателлар, бир, икки ва уч фазали қилиб ясалди. Уч фазали асинхрон двигателлар металл кесиш, ёғочни қийтя ишлаш дастгоҳларини, кўтарма кранлар, лифтлар, эскилаторлар, вентиляторлар, насослар ва бошқа механизмларни ҳаракатга келтиришда ишлатилади.

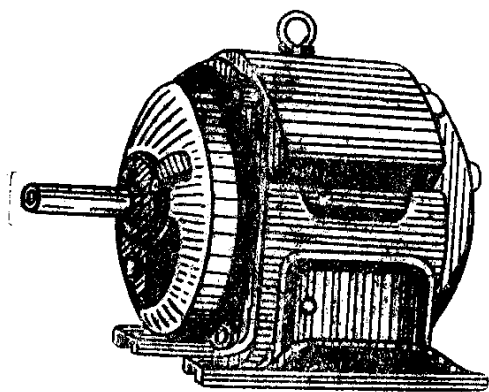
Бир фазали асинхрон двигателларнинг қуввати, одатда 0,5 кВг дан ошмайди. Ундан автоматик бошқариш системаларида, турли асбобларнинг электр юритмаларида, уй-рўзгор машиналарида фойдаланилади. Кичик қувватли асинхрон машиналарнинг айлланиш тезликларини ўлчашда генератор (тахометр) сифатида ҳам ишлатилади.

Асинхрон машиналар частота ўзгартиргич, қучланиш ўзгартиргич ва фаза ўзгартиргич сифатида ҳам кенг қўлланади.

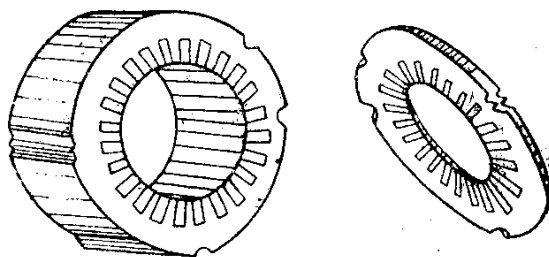
### 9.1. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ТУЗИЛИШИ

Барча электр машиналари каби асинхрон двигателлар ҳам икки асосий қисм; қўзғалмас қисм статор ва қўзғалувчан (айланувчи) қисм: ротордан иборат.

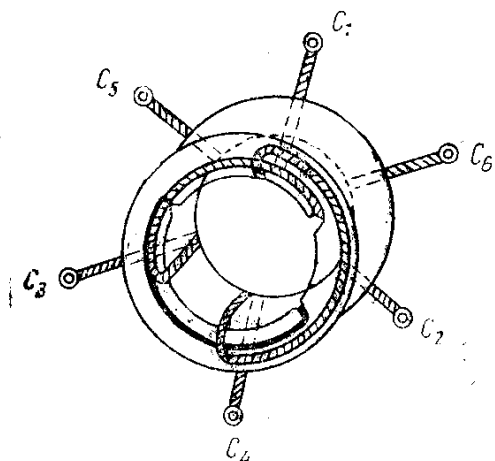
*Статор* станина, пўлат ўзак ва статорнинг пазларига жойлаштирилган уч фазали чулғамлардан иборат. Станина чўяндан ёки алюминийдан цилиндрсимон шаклда ясалган бўлиб, унинг ичига статорнинг пўлат ўзаги маҳкамланади. Шунингдек, станина машинани ташқи механик таъсирлардан сақлаш учун ҳам хизмат қилади. Станинада статор чулғамларини электр энергия манбаига улаш учун шу чулғамларнинг учлари чиқарилган „клеммалар қутчаси“ бёр. Асинхрон двигател ишлайётганида уни яхшироқ совитиш мақсадида станина қорғали қилиб ясалади. Чўяндан қуйилган станинали электр



9.1- расм.



9.2- расм.

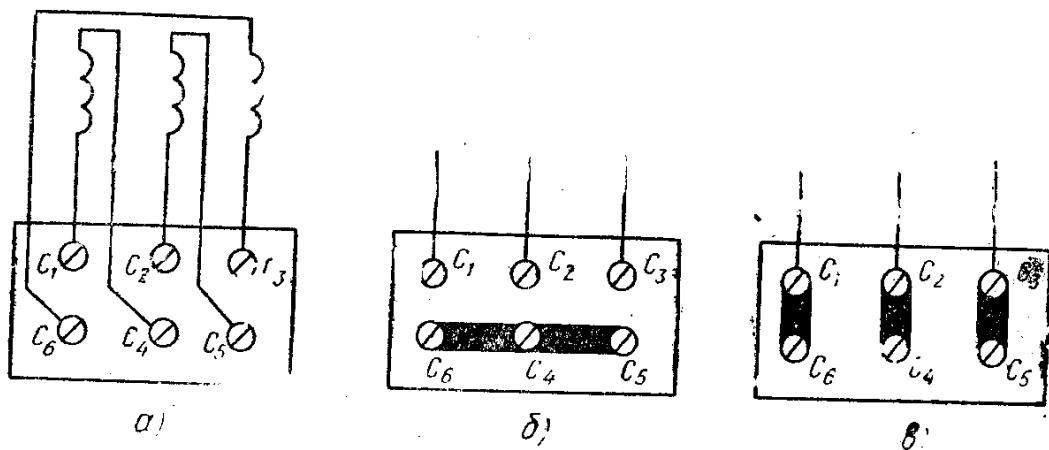


9.3- расм.

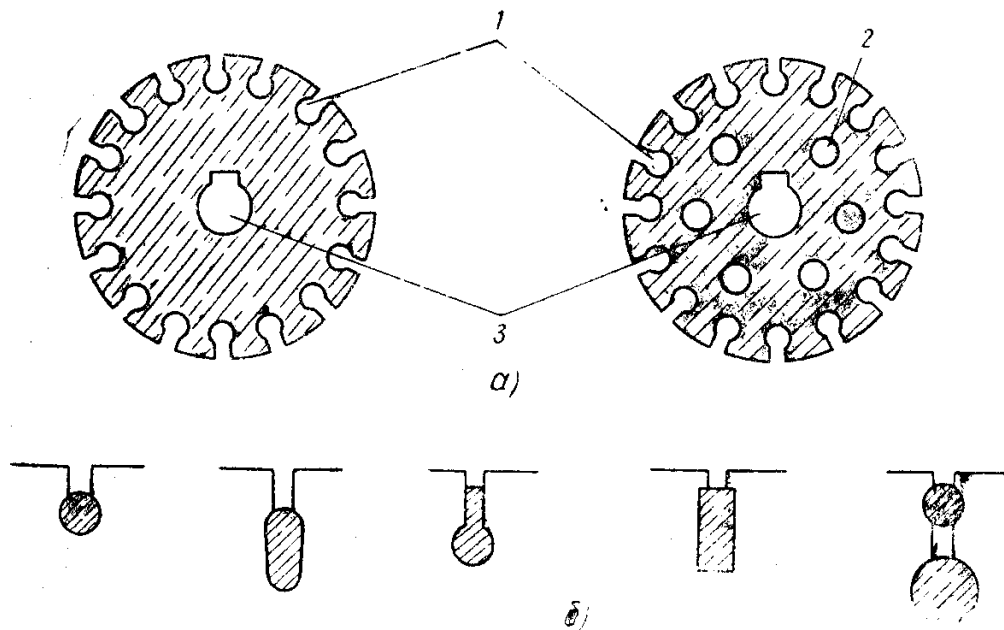
машиналар кўтариш учун мўлжалланган винтли илгакка эга бўлади (9.1- расм).

Статорнинг цилиндрсимон пўлат ўзаги қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм ли, ўзаро махсус ток билан (трансформатор ўзаги каби) изоляцияланган электротехник пўлат пластиналар тўпламидан иборат. Статор пўлат ўзагининг ички сиртида статор узунлиги бўйича четган пазларга статор чулғамлари жойлаштирилган (9.2- расм).

Статор чулғами изоляцияланган мис симлардан ясалган бўлиб, статор пазларига  $2\pi/3$  бурчак остида жойлаштирилади (9.3- расм). Чулғамларнинг бош ва охири учлари юқорида айтилгандек, „клеммалар қутчасига“ чиқарилган бўлади. 9.4- расм, а — в да чулғамларнинг уланиши кўрсатилган. Чулғам учларининг очиқ қолдирилиши уни тармоқ кучланишининг қийматига қараб „юлдуз“ ёки „учбурчак“ схемада улашга имкон беради.



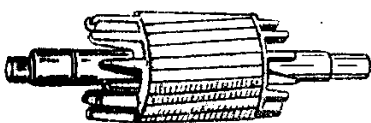
9.4- расм.



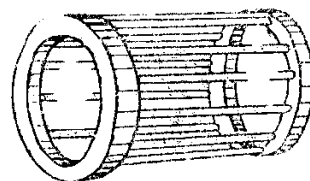
9.5- расм.

Ротор двигателнинг айланиш ўқиға маҳкамланган бўлиб, унинг пўлат ўзаги ҳам статорники каби қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм ли электротехник пўлат пластиналар тўпламидан иборат. Пўлат ўзак пластиналарининг устки юзасида пазлар ўйилган бўлиб (9.5- расм, а ва б), уларнинг конфигурацияси турлича бўлиши мумкин. Пўлат ўзак двигателнинг ўқиға маҳкамланади. Пўлат ўзак пластинкаларидаги пазлар ротор ариқчаларини ташкил этиб, унга ротор чулғамлари жойлаштирилади. Асинхрон двигателлар ротор чулғамларининг тузилишига қараб иккига бўлинади, двигателнинг номига эса шу чулғам номи қўшиб айтилади.

Агар пўлат ўзак ариқчаларига алюминийдан ясалган стерженлар жойлаштирилиб, уларнинг учлари алюминий ҳалқалар билан бириктирилса, бундай ротор чулғамлари қисқа туташтирилган ротор дейилади (9.6- расм). Бундай двигатель эса қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигатель деб номланади. Иссиқ шароитларда ишлатиладиган двигателларнинг совитилишини яхшилаш мақсадида ротор ўқиға шамоллатиш парракчалари ўрнатилади. Қуввати 100 кВт гача бўлган қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларнинг ротор (чулғамлари) стерженлари алюминийдан қўйиб таёрланади. Ротор стерженлари (чулғамлари) ўзаксиз ҳолда „олмаҳон филдираги“ (9.7- расм) кўринишига эга.

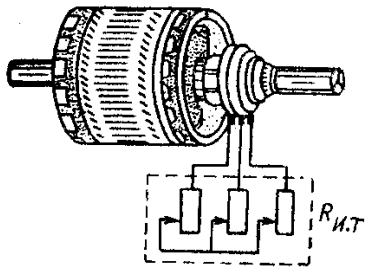


9.6- расм.



9.7- расм.





9.8- расм.

Агар роторнинг пўлат ўзаги ариқчаларига, статор чулғамлари каби, мисдан ясалган уч фазали чулғам жойлаштирилса, бундай ротор фаза чулғамли ротор, бундай двигатель эса фаза роторли асинхрон двигатель деб аталади.

Ротор чулғами „юлдуз“ схемада улашиб, чулғамнинг бош учлари асинхрон двигательнинг ўқига маҳкамланган контакг ҳалқалар билан туташтирилади. Контакт ҳалқалар эса графит чўткалар

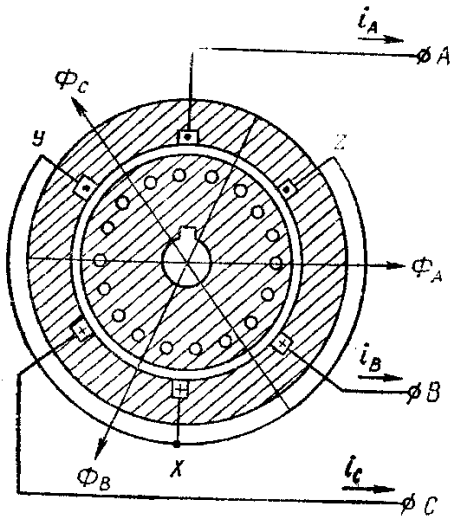
ёрдамида двигателдан ташқарига ўрнагилган уч фазали юргизиш реостати билан бириктирилади (9.8-расм). Юргизиш реостати  $R_{юр}$  двигатель ишлаганда ротор чулғамининг қаршилигини ва шу билан биргаликда ротор токини бошқариш учун хизмат қилади.

## 9.2. УЧ ФАЗАЛИ ТОК СИСТЕМАСИ ЁРДАМИДА АЙЛАНУВЧАН МАГНИТ МАЙДОННИНГ ҲОСИЛ БУЛИШИ

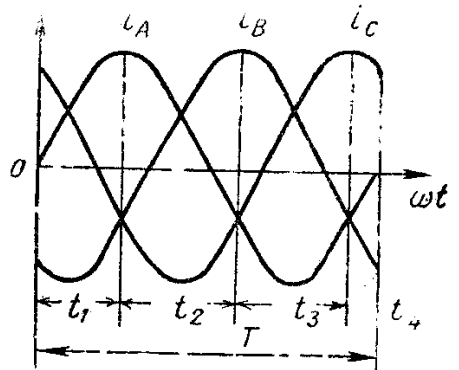
Айланувчан магнит майдоннинг ҳосил бўлишини статорнинг пазларига уч фазали чулғам жойлаштирилган асинхрон машинаси мисолида кўриб чиқамиз. 9.9-расмда асинхрон двигательининг уч фазали чулғами якка чулғам сифатида кўрсатилган.

Агар статор чулғами уч фазали кучланиш манбаига уланса, чулғам орқали уч фазали ток ўта бошлайди (9.10-расм):

$$\begin{aligned} i_A &= I_m \sin \omega t; \\ i_B &= I_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \\ i_C &= I_m \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right). \end{aligned} \quad (9.1)$$



9.9- расм.



9.10- расм.

Ҳар бир чулғамдан ўтаётган ток вақт бўйича синусоидал қонуни бўйича ўзгарувчи магнит юритувчи куч (МЮК)  $F_A$ ,  $F_B$  ва  $F_C$  ларни ҳосил қилади ( $F = I_w$ ). Уч фазали ток ҳосил қилган умумий МЮК нинг йўналишини ва қийматини аниқлаш учун фаза чулғамларидан ўтаётган токларнинг вақт бўйича ўзгариш графигига (9.10-расм) мурожаат қиламиз. Графикдан кўришиб турибдики,  $t = t_1$  лаҳзада  $A$  фазасидаги ток  $i_A = I_m$  қолган фазаларда эса  $i_B = -\frac{I_m}{2}$ ,  $i_C = -\frac{I_m}{2}$  бўлади. Ушбу фаза токларни ҳосил қилган МЮК ларнинг қийматлари:  $F_A = F_m$ ,  $F_B = F_C = -\frac{F_m}{2}$ .

Фаза чулғамларида ҳосил бўлган МЮК нинг йўналиши ўнг қўл қондаси бўйича аниқланади. 9.11-расм, *a* да магнит майдонининг  $t = t_1$  вақтдаги йўналиши кўрсатилган. Уч фазали ток ҳосил қилган умумий МЮК нинг қиймати ҳар бир фаза токлари ҳосил қилган МЮК ларнинг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

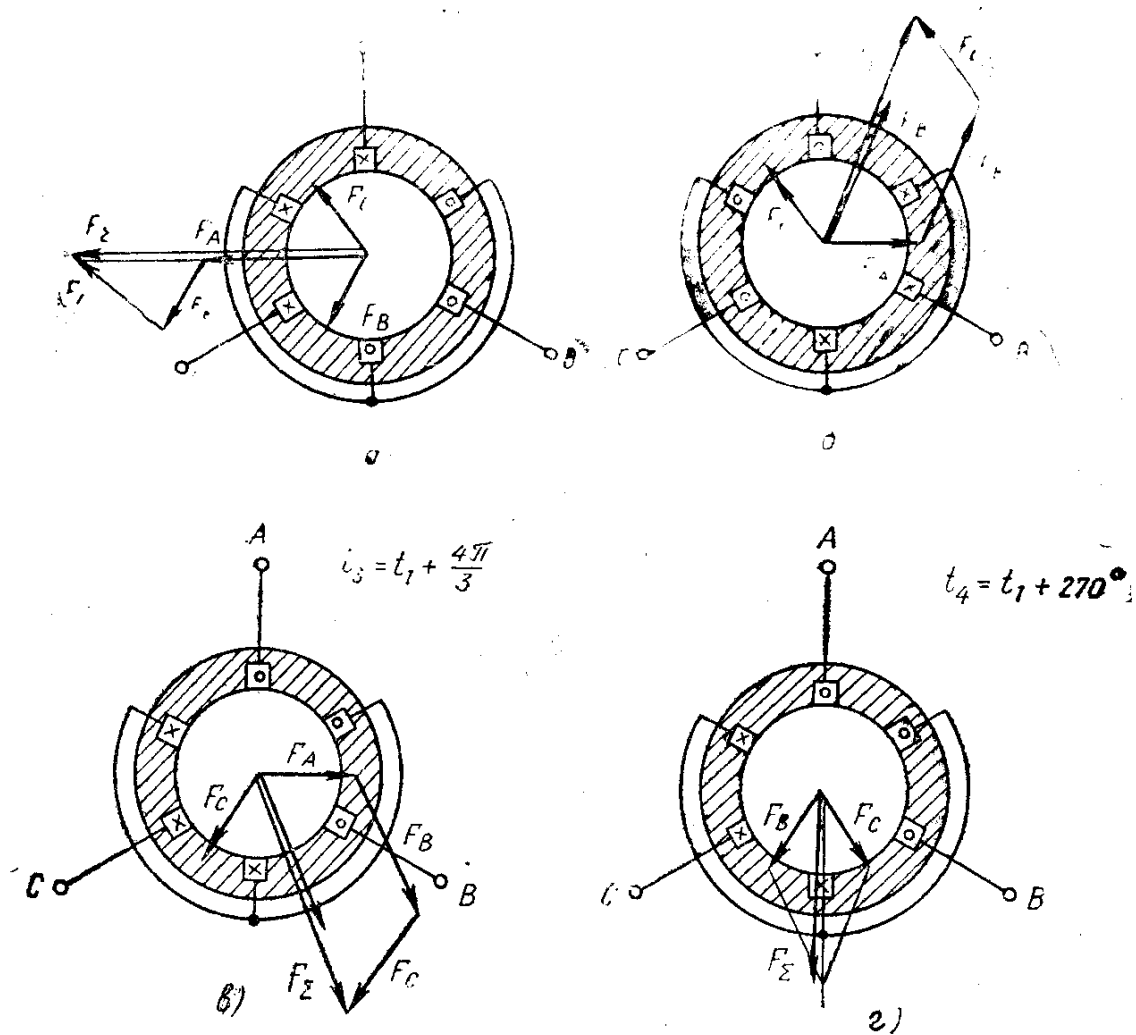
$$\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = \frac{3}{2} \bar{F}_m.$$

Вақт  $1/3$  қиймати ўзгаргандан кейин, яъни  $t_2 = t_1 + \frac{2\pi}{3}$  да (9.10-расм) фаза чулғамлари орқали ўтаётган токларнинг қиймати ва йўналиши ўзгариб,  $i_A = i_C = -\frac{I_m}{2}$  ва  $i_B = I_m$  бўлади. Шу вақтдаги умумий магнит майдони оқимининг йўналиши ва қиймати 9.11-расм, *b* да кўрсатилгандек аниқланади. Бунда  $\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = \frac{3}{2} \bar{F}_m$  бўлиб, унинг йўналиши  $B-U$  чулғам ўқиға перпендикуляр эканлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

9.11-расм, *b* да  $t_3 = t_1 + \frac{4\pi}{3}$  лаҳзадаги магнит майдони оқимларининг чулғам атрофида тарқалиши ва умумий магнит майдони оқимининг йўналиши кўрсатилган, бу ҳолда ҳам

$$\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = \frac{3}{2} \bar{F}_m$$

қийматга эга бўлиб, унинг йўналиши  $C-Z$  чулғам ўқиға перпендикулярдир. Юқорида келтирилганлардан шуни хулоса қилиб айтиш мумкинки, умумий МЮК вектори доимо ўзгармас қийматга эга бўлгани ҳолда ўзгармас бурчак тезлик билан айланар экан. Вақтнинг  $1/3$  га ўзгариши натижасида МЮК вектори  $120^\circ$  га бурилади, яъни МЮК вектори бир давр мобайнида бир марта тўлиқ айланади. Умумий магнит юритувчи кучнинг йўналиши эса ҳар доим токи максимал қийматга эга бўлган фазанинг магнит юритувчи кучи йўналиши билан мос тушади.



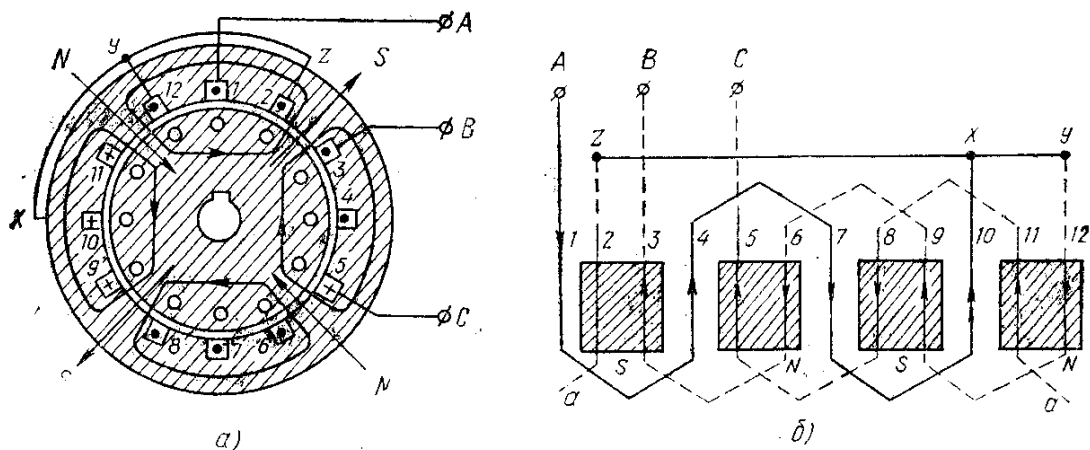
9.11- расм.

Шундай қилиб, айланувчан магнит майдонини ҳосил қилиш учун, биринчидан, чулғамлар фазада ўзаро маълум бир бурчакка силжиган, иккинчидан эса шу чулғамлар орқали ўтаётган тоқлар ҳам маълум бир фаза силжиш бурчагига эга бўлиши керак.

Юқорида келтирилган шартлардан бирортаси бажарилмаса, айланувчан магнит майдони ҳосил бўлмайди.

**Айланувчан магнит майдонининг тезлиги.** Маълумки, чулғамлардан уч фазали ток ўтганда бир жуфт қутбли ( $p = 1$ ) магнит майдони ҳосил бўлади. Бундай магнит майдони ўзгарувчан токнинг бир даври манбайнида бир марта тўлиқ айланади. Чулғамлар сонини шундай танлаш мумкинки, бунда жуфт қутблар сони икки, уч ( $p = 2, 3 \dots$ ) ва ҳоказо бўлиши мумкин.

9.12- расмда икки жуфт қутбли магнит майдони кўрсатилган. Бу ерда чулғамлар сони аввалгига нисбатан икки марта кўп бўлиб, махсус схема бўйича уланган. Агар статорнинг чулғамлари билан биргаликда сиртини ёйиб (9.12- расм, б),



9.12- расм.

чулғамларнинг уланиш схемасини ва чулғамлардаги тоқларнинг йўналишини кўрадиган бўлсак ( $t=t_1$  вақт учун), у ҳолда қўшни ҳар уч ўтказгичдаги (яъни 3, 4, 5; 6, 7, 8; 9, 10, 11; 12, 1, 2) тоқларнинг йўналиши мос тушади ва бу тоқлар ҳосил қилган магнит майдони тўрт қутбли (ёки икки жуфт қутбли) бўлади (9.10-расм). Бизнинг мисолда бир жуфт қутб статор айланасининг ярмини эгаллаганлиги учун ўзгарувчан тоқнинг бир даври мобайнида айланувчан магнит майдони статор айланасининг ярмига бурилади. Агар магнит майдони  $p$  жуфт қутблар сонига эга бўлса, айланувчан магнит майдони  $1/p$  бўлакка бурилади. У ҳолда айланувчан магнит майдонининг бурчак тезлиги  $\omega_1 = \frac{2\pi}{T_p}$ . Агар  $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$  эканлиги ҳисобга олинса,

$$\omega_1 = \frac{2\pi\omega}{2\pi p} = \frac{\omega}{p}.$$

Агар айланувчан магнит майдонининг бурчак тезлиги  $\omega_1$  ни айланиш тезлиги  $n_1$  билан, бурчак частота  $\omega$  ни эса ўзгарувчан ток частотаси  $f_1$  орқали ифодаласак, қуйидагига эга бўлишимиз:

$$\frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi f_1}{p},$$

Бундан

$$n_1 = \frac{60f}{p}.$$

Демак, магнит майдонининг айланиш тезлиги ўзгарувчан ток частотасига ва жуфт қутблар сонига боғлиқ экан. Айланувчан магнит майдонининг йўналишини ўзгартириш (реверс-лиш) учун фазалар кетма-кетлигининг тартиби ўзгартирилади, яъни статор чулғамларининг манбага уланидиган  $C_1, C_2, C_3$  беш учларидан исталган икқитасининг ўрни алмаштирилади.

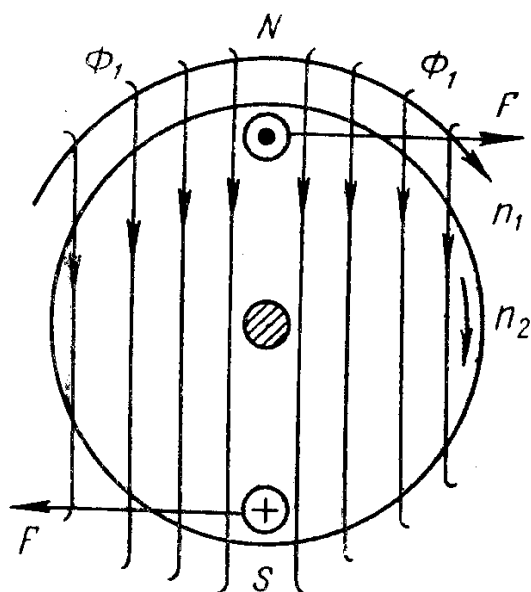
Саноат частотаси ( $f_1 = 50$  Гц) да айланувчан магнит майдонининг айланиш тезлиги  $n_1 = \frac{3000}{p}$  бўлади. Агар  $p = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  бўлса, айланувчан магнит майдонининг айланишлар тезлиги (сони) мос ҳолда 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 айл/мин ни ташкил этади.

Одатда, двигателнинг паспортда роторнинг номинал айланишлар сони ( $n_2 = n_{\text{ном}}$ ) кўрсатилган бўлади. Айланувчан магнит майдонининг синхрон тезлик қийматини билиш учун  $n_{\text{ном}}$  га энг яқин катта тезлик қиймати қабул қилинади. Масалан,  $n_{\text{ном}} = 2860$  айл/мин га,  $n_1 = 3000$  айл/мин,  $n_{\text{ном}} = 1460$  айл/мин га,  $n_1 = 1500$  айл/мин мос келади.

### 9.3. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Статорда  $n_1$  тезлик билан айланаётган айланувчан магнит майдонининг оқими  $\Phi_1$ , ротор чулғамларини кесиб ўтиб, электромагнит индукция қонунига асосан, ротор чулғамларида ЭЮК индукциялайди. ЭЮК, ўз навбатида, ротор токини ҳосил қилади.

9.13- расмда айланувчан магнит майдонининг ўқ чизигида жойлашган ротор чулғамидаги токнинг йўналиши кўрсатилган. Ротор токи, ўз навбатида, ротор чулғами атрофида  $\Phi_2$  магнит оқимини ҳосил қилади. Унинг йўналиши эса „парма“ қондаси бўйича аниқланади (9.14- расм, а). Ротор чулғамининг магнит оқими  $\Phi_2$  статорнинг магнит оқими  $\Phi_1$  га қўшилиб, двигателнинг умумий магнит майдони оқимини ҳосил қилади. Нагижада деформацияланган магнит майдонида жойлашган ротор чулғамларига 9.14- расм, б да кўрсатилгандек  $F$  жуфт куч таъсир эта бошлайди. Бу кучнинг йўналиши чап қўл қондасига кўра аниқланади. Шундай қилиб, шимолий  $N$  қутб

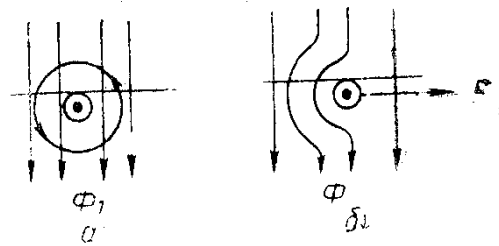


9.13- расм.

остида жойлашган барча ўтказгичларга таъсир этувчи кучнинг йўналиши, жанубий  $S$  қутб остида жойлашган ўтказгичларга таъсир этувчи куч йўналишига қарама-қарши бўлиб, жуфт куч юзага келади. Мазкур жуфт куч таъсирида ротор  $n_2$  тезликда, айланувчан магнит майдонининг айланиш йўналишида айлана бошлайди. Аммо роторнинг айланиш тезлиги  $n_2$  статорнинг айланувчан магнит майдонининг айланиш тезлигидан кичик бўлади.

Агар статор магнит майдонининг айланиш тезлиги ва роторнинг айланиш тезли-

ги ўзаро тенглашди ( $n_1 = n_2$ ) десак, у ҳолда айланувчан магнит майдонининг куч чизиқлари ротор чулғамларини кесиб ўтмайди ва натижада роторда ЭЮК индукцияланмайди. Бунда ротор токи  $i_2$  ва куч  $F$  нолга тенг бўлади. Бундай шароитда ротор инерцияси бўйича ҳаракатни давом эттириб, подшипникларидаги ва ҳаво билан ишқаланиш туфайли роторнинг тезлиги кичикриқ, яъни  $n_2 < n_1$  бўлади.



9.14- расм.

Айланувчан магнит майдони тезлигининг роторнинг айланиш тезлигига тенг бўлмаслиги туфайли ( $n_2 < n_1$ ) бундай электр машиналар *асинхрон* (тезликлари бир хил эмас) *машиналар* деб номланган.

**Роторнинг сирпаниши ва айланиш тезлиги.** Ротор айланиш тезлигининг статор магнит майдонининг айланиш тезлигидан орқанда қолиши *роторнинг сирпаниши* дейилади ва у лотинча  $S$  ҳарфи билан белгиланиб, қуйидагича ифодаланади:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% \quad (9.2)$$

(9.2) ифодадан двигатель роторининг айланиш тезлиги  $n_2 = n_1 (1 - S)$  ни аниқлаш мумкин. Тезликлар фарқига роторнинг сирпаниш тезлиги дейилиб, қуйидагича ифодаланади:

$$n_s = n_1 - n_2.$$

Двигателнинг ишлаш жараёнида сирпаниш қиймати 0 дан 1 гача ўзгаради, двигательни ишга тушириш пайтида роторнинг айланиш тезлиги  $n_2 = 0$  бўлгани учун  $S = 1$  бўлади. Двигателларнинг номинал сирпаниши  $S_{\text{ном}} = 0,03 - 0,06$  қийматни эки (3÷6)% ни ташкил этади. Агар двигательнинг номинал айланиш тезлиги берилган бўлса, сирпанишнинг қиймати бўйича айланувчан магнит майдонининг тезлигини топиш мумкин.

#### РОТОР ВА СТАТОР ЧУЛҒАМЛАРИДАГИ ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧ ВА ТОКЛАР

**Қўзғалмас ротор чулғамидаги ток частотаси.** Қўзғалмас ротор чулғамида индукцияланган ЭЮК нинг частотаси айланувчан магнит майдонининг айланишлар тезлиги билан аниқланади:

$$f_2 = \frac{n_1 p}{60} \quad (9.3)$$

Айланувчан магнит майдонининг айланишлар сони  $n_1 = \frac{60}{p} f_1$  эканлигини ҳисобга олсак,  $f_2 = f_1$  бўлади, яъни қўзғал-

мас ротор чулгамида индукцияланган ЭЮКнинг частотаси электр энергия манбаининг частотасига тенг бўлар экан. У ҳолда айланувчан магнит майдонининг статор ва ротор чулгамларида индукцияланган ЭЮК лари:

$$E_1 = 4,44\omega_1 f_1 K_{r_1} \Phi_m; \quad (9.4)$$

$$E_2 = 4,44\omega_2 f_2 K_{r_2} \Phi_m. \quad (9.5)$$

Агар  $f_2 = f_1$  эканлигини ҳисобга олсак, ротор чулгамидаги ЭЮК  $E_2 = 4,44\omega_2 f_1 K_{r_2} \Phi_m$  га тенг бўлади.

Тормозланган ротор ва статор ЭЮК ларининг нисбати асинхрон двигатель ЭЮК ларининг *трансформация коэффициент*и деб аталади:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1 K_{r_1}}{\omega_2 K_{r_2}} = K_{tr}. \quad (9.6)$$

Бу ерда  $K_{r_1}$  ва  $K_{r_2}$  — статор ва ротор чулгамлари коэффициенти ҳисобланади. (9.6) ифодадан  $E_1 = E_2 = K_{tr} E_2$  ни толамиз. Бу қиймат ротор ЭЮК нининг келтирилган қиймати дейилади.

Юқорида келтирилганларга асосланиб шуни айтиш мумкинки, агар асинхрон двигательнинг ротори айланмаса (ротор чулгами узилган бўлса), мазкур двигатель трансформатор режимида ишлайди.

Айланувчан роторнинг ЭЮК ва токи. Айланаётган роторнинг чулгамларида индукцияланаётган ЭЮК нининг частотаси  $f_{2s}$  роторнинг сирпаниш тезлиги  $n_s$  га боғлиқ бўлади, яъни:

$$f_{2s} = \frac{pn_s}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}. \quad (9.7)$$

(9.7) ифодага қуйидагича ўзгариш киритиб, айланувчан ротор ЭЮК частотасининг сирпанишга боғлиқлигини ҳосил қиламиз:

$$f_{2s} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_2} = f_1 s. \quad (9.8)$$

Демак, айланувчан ротор ЭЮК нининг частотаси ротор сирпанишига тўғри пропорционал экан.

Двигатель саноат частотаси ( $f_1 = 50$  Гц) ва номинал нагрузкада ишлаганда  $S_{ном} = (2 \div 6)\%$  эканлигини ҳисобга олсак,  $f_{2s} = (1 \div 3)$  Гц ни ташкил этади.

Двигателни ишга тушириш пайтида  $S = 1$  бўлганлиги учун  $f_{2s} = f_1$ , идеал салт ишлаш режимида, яъни  $S = 0$  да  $f_{2s} = 0$  бўлади.

(9.8) ифодани ҳисобга олсак, ротор ЭЮК нининг ифодаси қуйидагича бўлади:

$$E_{2s} = 4,44\omega_2 K_{r_2} f_{2s} \Phi_m = 4,44\omega_2 K_{r_2} f_1 \cdot S \Phi_m = E_2 \cdot S. \quad (9.9)$$

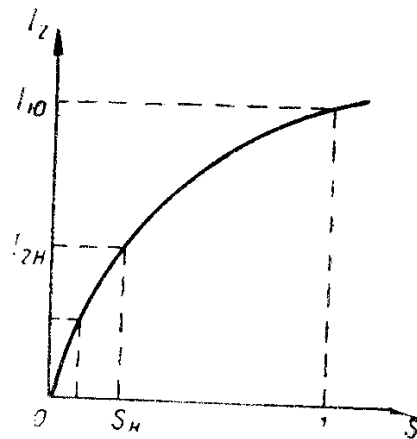
У ҳолда ротор токи қуйидагича аниқланади:

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{Z_2} = \frac{E_2 \cdot S}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}}, \quad (9.10)$$

бу ерда:  $X_{2s} = X_2 \cdot S$  — айланувчан ротор чулгамининг индуктив қаршилиги.

9.15-расмда ротор токининг сирпанишга боғлиқлик графиги келтирилган. Роторни ишга тушириш пайтида ( $S = 1$ ) унда максимал ЭЮК индукциялангани учун ротор чулғамидан катта ток оқиб ўта бошлайди. Бу эса ўз навбатида, статор чулғамидан ҳам катта ток оқиб ўтишига сабаб бўлади (трансформаторга ўхшаш). Бу ток асинхрон двигателни ишга тушириш токи  $I_{н.г}$  деб аталиб, қиймат жиҳатдан  $I_{н.г} = (5 \div 7) I_{ном}$  га тенг бўлади.

Ўрта ва катта қувватли асинхрон двигателларни бундай катта ишга тушириш токидан сақлаш учун улар ишга тушириш қурилмалари ёрдамида ишга туширилади.



9.15-расм.

#### 9.1. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЬ МАГНИТ ЮРИТУВЧИ КУЧИНИНГ ТЕНГЛАМАСИ

Асинхрон двигатель салт ишлаганда роторнинг МЮК волга тенг бўлади. Айланувчи магнит майдони эса статорнинг МЮК гуфайли ҳосил қилинади, яъни

$$\vec{F}_0 = m_1 \vec{I}_0 \omega_1, \quad (9.11)$$

бу ерда:  $m_1$  — статор фазаларининг сони;  $\omega_1$  — статор фаза оқимларининг ўрамув сони;  $I_0$  — салт ишлаш токи.

Агар асинхрон двигателнинг калсадаги нагруканинг қиймати орўса, ротор токи ҳам орўиб, статор МЮК ига қарама-қарши йёвалган ротор МЮК ҳосил бўлади. Натихада ротор МЮК ни компенсациялаш учун статор МЮК ҳам шу қиймагга ўзгаради. Шуундай қилиб, статор ва ротор МЮК ларининг геометрик йитиладиса ҳар доим ўзгармас бўлади, яъни

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_0$$

ёки

$$m_1 \omega_1 \vec{I}_1 k_1 + m_2 \omega_2 \vec{I}_2 k_2 = m_1 \omega_1 \vec{I}_0 k_1,$$

бундан

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 = \vec{I}_0, \quad (9.12)$$

бу ерда:  $\vec{I}_2 = \vec{I}_0 \frac{m_2 \omega_2 \cdot k_2}{m_1 \omega_1 \cdot k_1}$  — ротор токининг келтирилган қиймати.



Статор токи (9.12) дан

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 - \bar{I}_2. \quad (9.13)$$

Шундай қилиб, статор токи салт ишлаш токидан ва қаршилик (тормозлаш) моменти туфайли вужудга келадиган  $\bar{I}_2$  дан иборат экан. Асинхрон двигателларда салт ишлаш токи номинал токнинг 40 — 60% ини ташкил этишига сабаб ротор билан статор орасидаги ҳаво бўшлиғининг мавжудлигидир.

#### 9.5. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАСИ ВА ВЕКТОР ДИАГРАММАСИ

Трансформатордаги каби асинхрон двигателнинг ҳам иш режимини таҳлил қилишда унинг алмаштириш схемасидан фойдаланиш қулайдир. Умуман, асинхрон двигателнинг ҳам трансформатордаги каби статор ва ротор чулғамларини тегиш-лича бирламчи ва иккиламчи чулғам деб қараш мумкин. Бу чулғамлар орасидаги боғланиш трансформатордагидек магнит ҳодисасига асослангандир. Юкланган асинхрон двигателнинг алмаштириш схемасини қуриш учун айланаётган ротор электр занжирини унга эквивалент бўлган қўзғалмас ротор занжири билан алмаштириш керак.

Эквивалент ротор занжирининг параметрлари шундай танланиши керакки, двигателнинг манбадан олаётган қуввати, роторга узатилаётган электромагнит қувват ўзгармас бўлиши керак. Бунинг учун роторнинг эквивалент ва ҳақиқий занжиридаги ток  $I_2$  ва ЭЮК  $E_2$  орасидаги фаза силжиш бурчаги бир хил бўлиши керак. Шундай шароитдагина эквивалент ва ҳақиқий машина ротор ва статор чулғамларининг умумий магнитловчи кучи бир хил бўлади.

Эквивалент ротор занжирининг ЭЮК ва токи қуйидагича аниқланади:

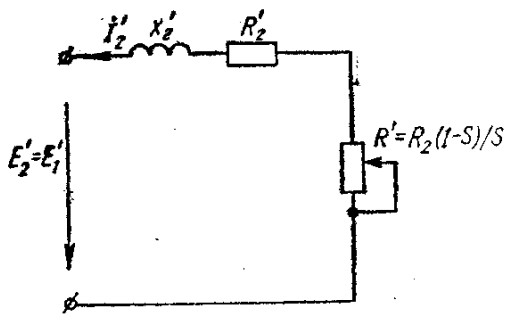
$$E_2' = E_2 \cdot S \text{ ва } I_2' = \frac{E_2'}{\sqrt{(R_2'/S)^2 + (X_2')^2}}.$$

9.16- расмда эквивалент қўзғалмас роторнинг алмаштириш схемаси кўрсатилган. Бу ерда роторнинг актив қаршилиги  $R_2'/S$  иккита ташкил этувчи сифатида берилган

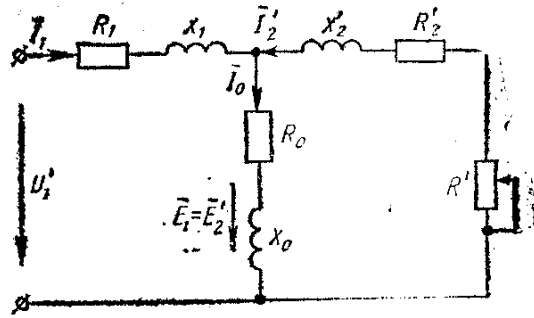
$$\frac{R_2'}{S} = R_2' + R_2' \cdot \frac{1-S}{S}$$

Худди трансформатордагидек, эквивалент ротор чулғамини  $X_2'$  ва  $R_2'$  қаршиликлардан ва  $R_2' \left( \frac{1-S}{S} \right)$  ташқи истеъмолчи қаршилигидан иборат деб қараш мумкин.

Булар асинхрон двигателнинг тўла алмаштириш схемасини тузишга имкон беради (9.17- расм).



9.16- расм.



9.17- расм.

Алмаштириш схемасидан  $R_2$  ва  $R_2'$  қаршиликлардаги қувват исрофи статор ва ротор чулғамларидagi электрик қувват исрофига тенг эканлиги келиб чиқади:

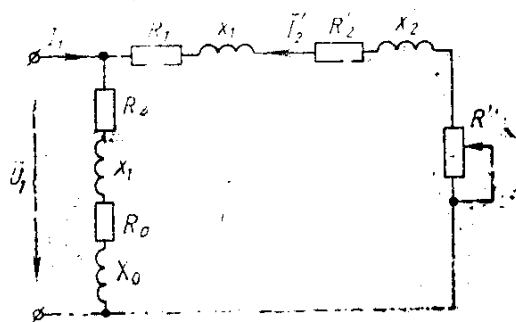
$$\Delta P_{1\sigma} = 3I_1^2 R_1 \quad \text{ва} \quad \Delta P_{2\sigma} = 3I_2'^2 R_2'$$

$R_0$  қаршиликдаги қувват исрофи статорнинг пўлат ўзагидаги магнит қувват исрофига тенг, яъни  $P_0 = 3I_0^2 R_0$ .

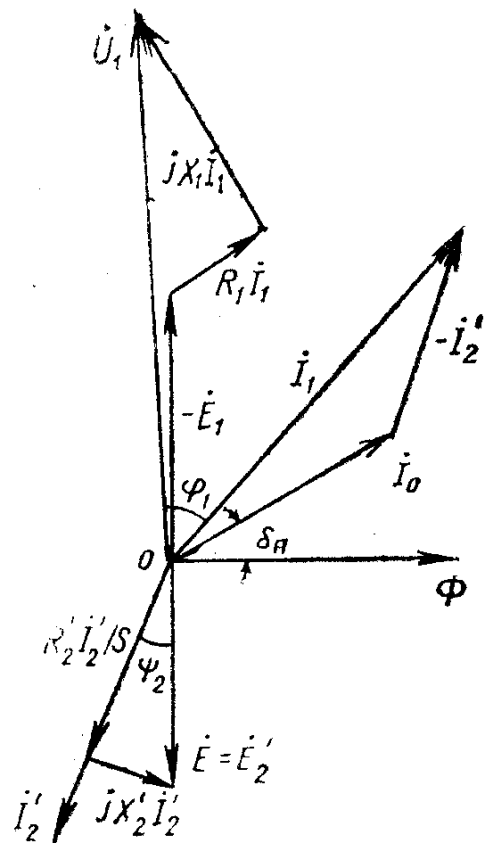
Асинхрон двигателнинг „Г“ шаклидаги алмаштириш схемаси 9.18-расмда кўрсатилган.

Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси магнит оқим  $\Phi$  векторини қуришдан бошланади (9.19-расм), чунки магнит оқими статор ва ротор учун умумийдир.

Статор ва ротор чулғамларида индукцияланган  $E_1$  ва  $E_2'$  ЭЮК лар магнит оқимидан  $\pi/2$  бурчакка орқада қолади. Умумий вектор диаграммасини қуришда қўзғалмас эквивалент роторнинг ЭЮК асос қилиб олинади, чунки унинг частотаси манба частотасига тенгдир. Маълумки, асинхрон двигателларда салт ишлашдаги ток статор чулғамидagi номинал токнинг 40—60% ини ташкил этади. Салт ишлаш токининг вектори магнит оқими векторидан  $\delta_{\text{н}}$  бурчакка, пўлат ўзагдаги ис-



9.18- расм.



9.19- расм.

рофлар туфайли, силжиган бўлади. Одатда,  $\delta_n = 3^\circ \div 5^\circ$  бўлади.

Асинхрон двигателни тормозловчи моментнинг ротордаги ток қийматига ва фазасига таъсири, ротор чулғами актив қаршилиги  $\frac{R_2}{S}$  нинг ўзгариши билан аниқланади. Шунинг учун қўзғалмас роторнинг чулғамидаги ток  $I_2'$  ЭЮК  $E_2'$  дан  $\varphi = \arctg \frac{X_2'}{R_2'}$  бурчакка кечикади. Бу бурчак асинхрон двигателнинг юкланганлигини кўрсатади ва сирпанишнинг камайиши билан камайиб боради.

9.16-расмда келтирилган роторнинг алмаштириш схемаси учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$\bar{E}_2' = \bar{I}_2 \frac{R_2'}{S} + j\bar{I}_2 X_2'. \quad (9.14)$$

Статорнинг фаза чулғамлари орқали ўтаётган ток қуйидаги ифода ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$I_1 = I_0 - \bar{I}_2.$$

Статор чулғамларини алмаштириш схемаси учун ёзилган тенглама бўйича манба кучланиши векторининг қиймати топилиши мумкин, яъни

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + I_1 (R_1 + jX_2). \quad (9.15)$$

Асинхрон двигателларда салт ишлаш токининг қиймати нисбатан катта бўлгани учун фаза силжиш бурчаги  $\varphi$  нинг қиймати ҳам катта бўлади. Бунда двигателнинг номинал қувват коэффициенти  $0,7 \div 0,8$  га тенг бўлади.

### 9.6. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ҚУВВАТИ ВА АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТИ

Маълумки, айлантирувчи моментнинг бурчак тезлигига кўпайтмаси қувватни беради, яъни

$$P = M \cdot \omega. \quad (9.16)$$

Асинхрон двигателларда эса электромагнит моментни статор магнит майдонининг бурчак тезлигига кўпайтмаси электромагнит қувват дейилиб, қуйидагича аниқланади:

$$P_{эм} = M_{эм} \cdot \omega_0, \quad (9.17)$$

бу ерда  $\omega_0$  — айланувчан магнит оқимининг бурчак тезлиги.

Электромагнит қувват роторга айланувчан магнит оқим ёрдамида узатилгани учун, айланувчан магнит оқимининг бурчак тезлиги орқали ифодаланади.

Двигателнинг валидаги механик қувват ротор бурчак тезлигининг электромагнит моментга кўпайтмасига тенгдир:

$$P_{эм} = M_{эм} \cdot \omega. \quad (9.18)$$

Агар роторнинг пўлат ўзагида магнитлаш учун сарф бўлаётган қувват исрофи ротор чулғамларидаги қувват исрофидан анча кичик бўлганлиги учун ҳисобга олинмаса, у ҳолда:

$$P_{эм} - P_{мех} = \Delta P_{чвлг} = 3I_2^2 R_2 \quad (9.19)$$

ёки

$$M_{эм} (\omega_0 - \omega) = 3I_2^2 R_2.$$

Бундан электромагнит момент қуйидагича аниқланади:

$$M_{эм} = \frac{3I_2 R_2}{\omega_0}, \quad (9.20)$$

бу ерда:  $I_2$  — ротор токи, А;  $R_2$  — ротор чулғамининг қаршилиги, Ом.

У ҳолда электромагнит қувват

$$P_{эм} = \frac{3I_2^2 R_2}{S}. \quad (9.21)$$

Агар  $3I_2^2 R_2 = 3E_2 I_2 \cos(\widehat{E_2 I_2}) = 3E_2 I_2 \cos \psi_2$  эканлигини ҳисобга олсак, у ҳолда ишқаланиш моментини ҳисобга олмаган ҳолда

$$M_{эм} = \frac{3E_2 I_2 \cos \psi_2}{\omega_1 S}$$

ёки

$$M_{эм} = \frac{3 \cdot 4,44 \omega_2 f_2 K_{r2} \Phi_m I_2 \cos \psi_2}{S} = C \Phi_m I_2 \cos \psi_2, \quad (9.22)$$

бу ерда  $C = 3 \cdot 4,44 \cdot f_2 \omega_2 \frac{K_{r2}}{\omega}$  — ўзгармас коэффициент.

Демак, асинхрон двигателнинг айлантирувчи momenti ротор токига, магнит оқимининг амплитуда қийматида ҳамда ротор токи билан ЭЮК орасидаги бурчак косинусига тўғри пропорционал экан. (9.22) даги  $I_2 \cos \psi_2 = I_{2a}$  ифода ротор токининг актив ташкил этувчиси эканлигини ҳисобга олсак,  $M_{эм} = C \cdot \Phi_m \cdot I_{2a}$  бўлади, яъни асинхрон двигателда айлантирувчи момент ротор токининг актив ташкил этувчиси ёрдамида ҳосил бўлади.

(9.12) ифодадан шу нарса кўришиб турибдики, агар асинхрон двигателнинг ротори тормозланса, барча электромагнит қувват иссиқлик энергияси сифатида ажралиб чиқа бошлайди.

Номинал режим ( $S_{ном} = 0,02 \div 0,06$ ) асинхрон двигателда ҳосил бўлаётган электромагнит қувватнинг 0,94 : 0,98 улуши механик қувват сифатида, озгина (0,02 : 0,06) улуши эса иссиқлик энергияси сифатида ажралиб чиқади.

Асинхрон двигателнинг айлантйрувчи моменти. Агар механик ишқаланишлар туфайли вужудга келадиган қаршилиқ моменти  $\Delta M_{\text{мех}}$  ни ҳисобга олмасак,  $M_{\text{эм}} = M$  дейиш мумкин, у ҳолда

$$M = C \Phi_m I_2 \cos \psi_2. \quad (9.23)$$

Агар

$$\Phi_m = \frac{E_1}{4,44 \omega_1 f_1 K_{r_1}}; \quad I_2 = \frac{E_1 S}{K \sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}};$$

$$E_2 = \frac{E_1}{K}; \quad \cos \psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}}$$

эканлигини ҳисобга олиб, уларни (9.23) га қўйсак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$M = C_1 E_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}. \quad (9.24)$$

Стагор чулғамларида кучланишнинг пасайишини ҳисобга олмасак ( $E_1 \approx U_1$ ), қуйидагини ёзиш мумкин:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}$$

ёки

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2'^2}, \quad (9.25)$$

бу ерда

$$R_2' = \frac{R_2}{S}.$$

(9.25) ифодадан кўриниб турибдики, асинхрон двигателнинг валидаги айлантйрувчи моментнинг қиймати манба кучланишнинг квадратиға ва сирпанишға боғлиқ экан. Демак, кучланишнинг озгина ўзгариши моментнинг кескин ўзгаришиға сабаб бўлади.

1.  $S = 0$ ,  $n_2 = n_1$  бўлганда, яъни идеал салт ишлаш режимида  $M = 0$  бўлиб, ротор тормозланади.

2.  $S = 1$ ,  $n_2 = 0$  бўлганда эса айлантйрувчи момент *ишға тушириш моменти* дейилади:

$$M_{\text{и.т}} = C U_1^2 \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2'^2}. \quad (9.26)$$

Асинхрон двигателнинг ҳосил қилиши мумкин бўлган максимал (критик) моментини топиш учун (9.25) ифодадан сирпаниш  $S$  бўйича ҳосила олиб, уни нолға тенглаштирамиз, яъни

$$\frac{dM}{dS} = C_1 U_1^2 R_2' \frac{R_2'^2 - (X_2' S)^2}{[R_2'^2 + (X_2' S)^2]^2} = 0.$$

Бундан

$$S_{кр} = \pm \frac{R_2}{X_2}. \quad (9.27)$$

Асинхрон машина двигателъ режимда ишлаганда  $S_{кр} > 0$  бўлади. Критик сирпаниш қийматини ҳисобга олган ҳолда двигателнинг максимал моментини аниқлаш мумкин:

$$M_{кр} = C_1 U_1^2 \frac{1}{2X_2}. \quad (9.28)$$

Агар асинхрон двигателда  $X_2 \approx 5 R_2$  эканлигини ҳисобга оладиган бўлсак,  $S_{кр} = 0.2$  бўлади. (9.26), (9.27) ва (9.28) ифодаларни биргаликда ечиб, двигателнинг айлантирувчи моментининг қуйидаги содалаштирилган ифодасини ёзиш мумкин:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}. \quad (9.29)$$

Ушбу ифодадан сирпанишнинг номинал қийматини ҳисобга олган ҳолда критик сирпанишни аниқлаш мумкин:

$$S_{кр} = S_{ном} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (9.30)$$

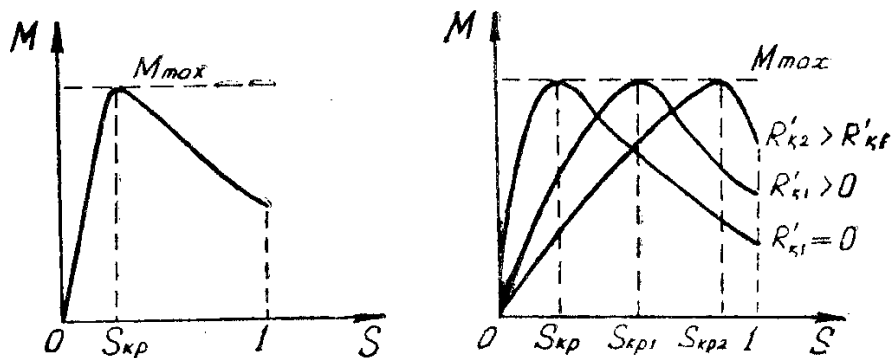
бу ерда:  $S_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1}$  — сирпанишнинг номинал қиймати;

$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_{ном}}$  — юклаш коэффициенти.

Фаза роторли асинхрон двигателларда ротор чулғамига қўшимча қаршилик улангани учун, айлантирувчи момент қуйидагича аниқланади:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2 + R_p}{(R_2 + R_p)^2 + (X_2 S)^2}. \quad (9.31)$$

9.20-расмда ротор чулғами актив қаршилигининг турли қийматларида айлантирувчи моментнинг сирпанишга боғлиқлик эгри чизиқлари кўрсатилган. Чулғамнинг актив қаршилигининг ҳисобга олиб қурилган характеристика *табиий характеристика*, қўшимча қаршилик қийматини ҳисобга олиб қурилган характеристика *сунъий ёки реостат характеристика* дейилади.

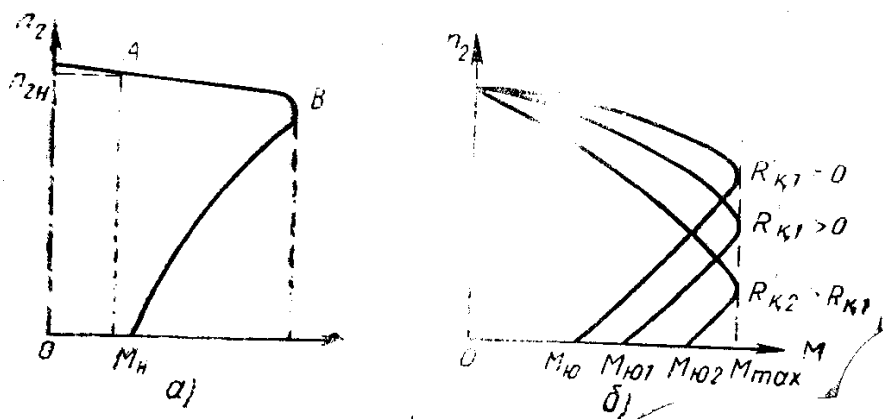


9.20-расм.

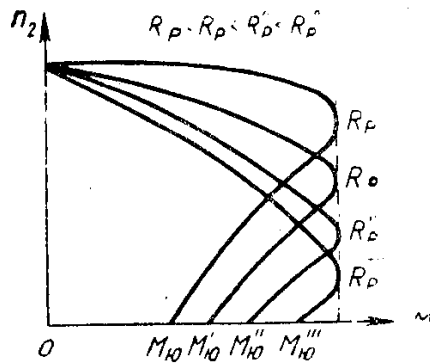
### 9.7. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАСИ

Манба кучланиши ўзгармас ( $U_1 = \text{const}$ ) бўлганда ротор айланишлар сони ( $n_2$ ) нинг айлантирувчи моментга боғлиқлик эгри чизиғи  $n_2 = f(M)$  асинхрон двигателнинг *механик характеристикаси* дейилади. 9.21-расмда асинхрон двигателнинг механик характеристикаси кўрсатилган. Ушбу характеристикани 9.20-расмда кўрсатилган  $M = f(S)$  эгри чизиғи ёки (9.20) ифода ёрдамида  $n_2 = n_1(1 - S)$  эканлигини ҳисобга олган ҳолда қуриш мумкин. Механик характеристика ҳар қандай двигателнинг асосий характеристикаларидан бири бўлиб, двигателнинг иш қобилиятини белгилайди. Маълумки, статор айланивчан магнит майдон тезлиги ўзгармас ( $n_1 = \text{const}$ ) бўлгани учун роторнинг айланиш тезлиги билан сирпаниш орасидаги боғланиш чизиқлидир. Агар  $S = 1$  бўлса,  $n_2 = 0$ ;  $S = 0$  бўлса,  $n_2 = n_1$  бўлади. Механик характеристикада қуйидагиларни белгилаш мумкин: максимал (критик) момент  $M_{\text{max}}$  — асинхрон двигатель айлантирувчи моментининг максимал қиймати; ишга тушириш momenti  $M_{\text{ит}}$  — асинхрон двигателни ишга тушириш (қўзғатиш) учун керак бўладиган момент қиймати; номинал момент  $M_{\text{ном}}$  — асинхрон двигателнинг номинал иш режими (номинал кучланиш  $U_{\text{ном}}$ , номинал частота  $f_{\text{ном}}$ , номинал нагрузка) даги айлантирувчи momenti.

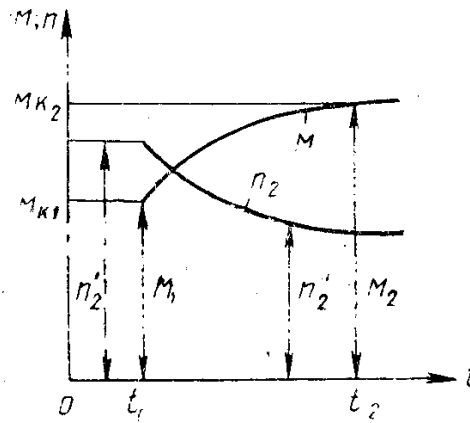
Юкланиш остидаги асинхрон двигателни ишга тушириш учун унинг ишга тушириш momenti иш механизмининг қаршилик momenti  $M_{\text{к}}$  дан катта бўлиши керак, яъни  $M_{\text{ит}} > M_{\text{к}}$ . Акс ҳолда двигателни ҳаракатга келтириб бўлмайди. Асинхрон двигатель айланишлар сонининг ўзгариши механик характеристиканинг  $C$  нуқтасидан бошланиб,  $B$  нуқта орқали ўтади. Характеристиканинг  $A - B$  қисмидаги  $M_{\text{ном}} = M_{\text{к}}$  нуқтада двигателнинг вали  $n_{2\text{ ном}}$  тезлик билан айлана бошлайди. Шундай қилиб, механик характеристиканинг  $C - B$  қисми тезланиш қисми,  $A - B$  эса иш қисми ҳисобланади. Асинхрон двигатель характеристиканинг иш қисмида барқарор тезлик билан айланади. Агар бирор сабабга кўра  $t = t_1$  пайтда қарши-



9.21-расм.



9.22- расм.



9.23- расм.

лик momenti  $M_{к1}$  дан  $M_{к2}$  га ўзгарса (9.22- расм), у ҳолда  $M_{к} > M$  бўлиб, двигатель тормозлана бошлайди. Натижада сирпаниш  $S$  ортади. Бу эса, ўз навбатида ЭЮК, ротор токи ва айлантурувчи момент қийматининг ўзгаришига олиб келади. Бундай жараён  $M_{к} = M$  бўлгунча давом этиб, двигательнинг ўз-ўзини бошқариш жараёни деб аталади. Двигатель ўқиға қўйилган қаршилиқ momenti қийматининг камайиши эса ўз-ўзини бошқариш жараёнига кўра, ротор айланишлар сонининг ортишига олиб келади. Одатда, двигательларда ўз-ўзини бошқариш жараёни секунднинг ўндан ёки юздан бир улуши мобайнида тугайди.

Механик характеристиканинг  $S - V$  қисмида эса тезликнинг ҳар қандай ўзгариши (камайиши) айлантурувчи моментнинг камайишига олиб келади, натижада двигатель тўхтайдди. Шунинг учун  $n = f(M)$  эгри чизиқнинг  $S - V$  қисми механик характеристиканинг беқарор қисми дейилади. Айрим ҳолларда максимал момент қиймати двигательни тўхтатиш momenti ҳам дейилади, чунки  $M_{\max}$  нинг  $\Delta M_{\max}$  га ортиши двигательнинг тезда тўхташига сабаб бўлади. 9.23- расмда фаза роторли асинхрон двигатель учун механик характеристикаларнинг тўплами кўрсатилган. Ротор чулғамлари қаршилиги қийматининг ортиши характеристика эгрилигининг ошишига олиб келади. Ўз навбатида, ишга тушириш моментининг қиймати ортади, ишга тушириш токининг қиймати эса камаяди. Одатда, чулғами актив қаршилиқнигина ҳисобга олиб қурилган механик характеристика „қатиқ“ механик характеристика деб номланган.

### 9.8. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ПАСПОРТИДАГИ МАЪЛУМОТЛАРИ БЎИИЧА МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАСИНИ ҚУРИШ

Одатда, асинхрон двигательнинг паспортида қуйидаги маълумотлар кўрсатилади:

$U_{\text{ном}}$  — номинал кучланиш, [В];



$P_{\text{ном}}$  — номинал қувват, [Вт, кВт];

$n_{\text{ном}}$  — роторнинг номинал айланишлар сони, [айл/мин];

$\lambda = \frac{M_{\text{мах}}}{M_{\text{ном}}}$  — двигателнинг ўта юкланиш коэффициентини (қис-

қа туташтирилган роторли асинхрон двигателлар учун  $\lambda = 1,7 \div 2,5$ , фаза роторли двигателлар учун  $\lambda = 1,5 \div 3,4$ );

$\delta = \frac{M_{\text{и.т}}}{M_{\text{ном}}}$  — ишга тушириш коэффициентини.

Юқорида кўрсатилган маълумотлар бўйича двигателнинг механик характеристикасини қуриш мумкин. Бунинг учун дастлаб айланувчи магнит майдонининг айланиш тезлигини аниқлаймиз. Бу тезлик қийматини аниқлашда синхрон тезликлар шкаласи (9.2-§ да келтирилган) дан фойдаланамиз. Сўнгра двигателнинг номинал моменти аниқланади:

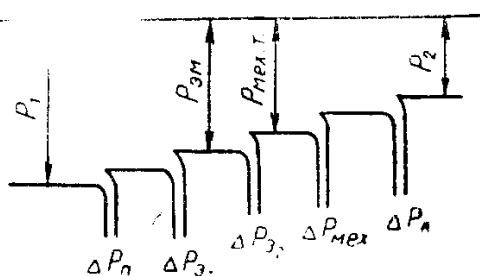
$$M_{\text{ном}} = 975 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} \text{ [кГ} \cdot \text{м]}; \quad M_{\text{ном}} = 9550 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} \text{ [Н} \cdot \text{м]}.$$

Паспортида кўрсатилган коэффициентлар ёрдамида двигателнинг максимал  $M_{\text{мах}}$  ва ишга тушириш моменти  $M_{\text{и.т}}$  аниқланади. Аниқланган катталиклар бўйича координата ўқларида мос ҳолда  $a, b, c$  нуқталар белгиланади. Критик сирпаниш миқдори эса  $S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$  ифода ёрдамида аниқланади (9.12- расм,  $a$ ). Бунда  $S_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_{\text{ном}}}{n_1}$  бўлади. Характе-

ристканинг қолган нуқталари эса (9.29) ифода ёрдамида топилади. Фаза роторли асинхрон двигателнинг реостат характеристикаларини қуриш учун дастлаб каталоглардан берилган двигателнинг номинал қувватини ва сериясини, сўнгра ротор чулғамларининг актив ва реактив қаршиликлари аниқланади. Кейин (9.27) ва (9.29) ифодалардан фойдаланиб, сунъий реостат характеристикаси қурилади.

### 9.9. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ЭНЕРГЕТИК ДИАГРАММАСИ ВА ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Бошқа электр машиналардаги каби асинхрон двигателларда ҳам электр энергиясининг механик энергияга айлантрилиши энергия исрофи билан боғлиқ. Двигателга электр тармоғидан



9.24- расм.

берилаётган  $P_1$  қувватнинг қандай тақсимланиши 9.24- расмдаги асинхрон двигателнинг энергетик диаграммасида кўрсатилган.

Асинхрон двигателга тармоқдан берилаётган қувват:

$$P_1 = 3U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi.$$

Бу қувватнинг бир қисми статор-

нинг пўлат ўзагидаги қувват исрофи  $\Delta P_n$  ва статор чулғамининг қизишига сабаб бўлган  $\Delta P_{э1}$  электр қуввати исрофларини қоплашга сарфланади:

$$\Delta P_{э1} = 3I_{1ф}^2 r_1.$$

Қувватнинг қолган қисми магнит оқими ёрдамида роторга узатилади ва шу сабабли электромагнит қувват деб аталади:

$$P_{эм} = P_1 - (\Delta P_{э1} + \Delta P_n).$$

Электромагнит қувватнинг бир қисми ротор чулғамидаги электр қувват исрофларини қоплашга сарфланади:

$$\Delta P_{э2} = 3I_{2ф}^2 \cdot r_2.$$

Электромагнит қувватнинг қолган қисми двигателнинг механик қувватига айланади ва *тўла механик қувват* дейилади:

$$P'_{т. мех} = P_{эм} - \Delta P_{э2}.$$

Тўла механик қувватнинг бир қисми механик исроф ( $\Delta P_{мех}$ ) га, бошқа бир қисми қўшимча исроф ( $\Delta P_k$ ) га сарфланади, қолган қисми эса двигателнинг валидаги фойдали ( $P_2 = P_m$ ) қувватни беради:

$$P_2 = P'_{т. мех} - (\Delta P_{мех} + \Delta P_k).$$

Двигателдаги механик исрофлар подшипниклардаги ишқаланишлар, айланувчан қисмларнинг ҳавога ишқаланиши ва чўгқаларнинг ҳалқаларга ишқаланишидан (фаза роторли двигателларда) ҳосил бўлади.

Қўшимча қувват исрофлари двигателда сочилган магнит оқимлар бўлиши ва бошқа сабаблар туфайли вужудга келади. Двигатель тўла юкланиш билан ишлаганда қўшимча исроф ( $\Delta P_k$ ) унинг номинал қувватининг 0.5% га тенг қилиб олинади.

Шундай қилиб, двигателнинг фойдали механик қуввати

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P,$$

бунда  $\sum \Delta P$  — двигателдаги қувват исрофларининг йиғиндиси

$$\sum \Delta P = \Delta P_n + \Delta P_{э1} + \Delta P_{э2} + \Delta P_{мех} + \Delta P_k.$$

Асинхрон двигателнинг фойдали иш коэффициенти қуйидагича аниқланади

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1}.$$

Двигателнинг юкланиши номиналга яқин бўлганда фойдали иш коэффициенти энг катта қийматга етади. Кичик ва ўр-

та қувватли (1 — 100 кВт) двигателларда  $\eta_{\text{ном}} = 70 \div 90\%$  ни, кагга қувватли (100 кВт ва ундан кагга) двигателларда  $\eta_{\text{ном}} = 90 \div 94\%$  ни ташкил этади.

### 9.10. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ

Электр тармоғидаги кучланиш  $U_1$  ва частота  $f_1$  ўзгармас бўлганда двигателнинг айланиш тезлиги  $n_2$ , сирпаниш  $S$ , айлантириш momenti  $M$ , фойдали иш коэффициенти  $\eta$ , статор чулғамидаги ток  $I_1$  ва қувват коэффициенти  $\cos \varphi$  нинг двигатель валидаги фойдали қувват  $P_2$  га боғлиқлик графиклари асинхрон двигателнинг иш характеристикалари дейилади (9.25-расм).

Двигатель салт ишлаганда ( $P_2 = 0$ )  $S \approx 0$  бўлиб, сирпаниш формуласи  $n_2 = n_1 (1 - S)$  да  $n_2 \approx n_1$  деб қабул қилиш мумкин. Юкланишнинг ортиши билан сирпаниш  $S$  орта боради, роторнинг айланиш тезлиги  $n_2$  эса камая боради. Номинал юкланишда  $P_2 = P_{2\text{ном}}$  бўлиб, сирпаниш номинал қийматга эришади.

Двигателнинг валидаги фойдали момент  $M$  нинг фойдали қувватга боғлиқлиги қуйидаги ифодадан аниқланади:

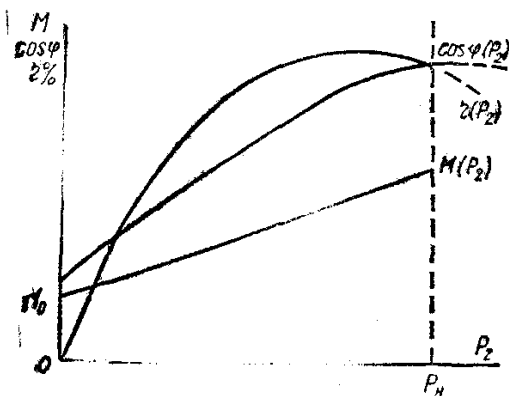
$$M = 975 \frac{P_2}{n_2}$$

Двигатель  $P_2$  нинг ортиши билан айланиш тезлиги камаяди, шу сабабли фойдали момент  $M$  юкланиш кўпайганда  $P_2$  га қараганда тезроқ кўпаяди. Бинобарин,  $M = f(P_2)$  бўлади.

Двигателнинг фойдали иш коэффициенти  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$  кўринишида ифодаланади. Двигателнинг тармоқдан олаётган  $P_1$  валдаги фойдали қувват  $P_2$  ва қувват исрофлари йиғиндиси  $\sum \Delta P$  дан, иборат, яъни  $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P}$ . Двигатель салт ишлаганда  $P_2 =$

$= 0$ , бинобарин, ФИК ҳам  $\eta = 0$  бўлади. Фойдали қувват  $P_2$  ортган сари ФИК тез оша боради ва қувват исрофининг юкланишга боғлиқ бўлган ўзгарувчан қисми билан юкланишга боғлиқ бўлмаган ўзгармас қисми тенглашганда  $\eta$  энг кагга қийматга эришади. Юкланишни яна ҳам орттириш фойдали иш коэффициентининг камайишига олиб келади.

Статор токи  $I_1$  (9.13) формуладан аниқланади.  $U$  ўзгармас  $I_0$  ва ўзгарувчан  $I_2$  ташкил этувчилардан иборат бўлиб, юкла-



9.25-расм.

нишга боғлиқдир. Двигатель салт ишлаганда  $I_2 = 0$  десак,  $I_1 = I_0$  бўлади, яъни статор токи салт ишлаш токига тенг бўлади ва унинг қиймати асинхрон двигателларда статор чулғами номинал токи ( $I_{1\text{ном}}$ ) қийматининг  $40 \div 60\%$  ини ташкил этади.  $P_2$  нинг ортиши ток  $I_2$  ва  $I_1$  ларнинг ортишига олиб келади.

Двигатель салт ишлаганда унинг қувват коэффиценти энг кичик қийматни ташкил этади. Двигателнинг валига тушадиган юкланиш ортганда токнинг актив ташкил этувчиси ортади. Бу ҳолда қувват коэффиценти ҳам орта бориб,  $P_2 = P_{\text{ном}}$  бўлганда энг катта қийматга эришади. Юкланиш яна ҳам кўпайганда  $\cos \varphi$  камаяди. Бу ҳол сирпанишнинг кўпайиши ҳисобига ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ( $X_2 \cdot S$ ) ортиши билан изоҳланади. Қувват коэффицентининг катта бўлиши учун двигатель доимо ёки, ҳеч бўлмаганда, кўпроқ вақт номинал юкланишда ишлаши муҳимдир.

Номинал юкланишда ўрта қувватли (1 — 100 кВт) двигателларнинг қувват коэффиценти  $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,7 \div 0,9$  катта қувватли (100 кВт дан ортиқ) двигателларда  $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,8 \div 0,92$ .

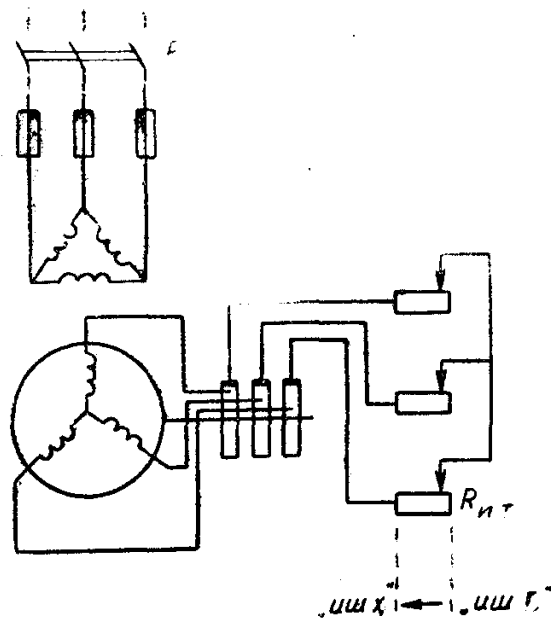
### 9.11. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРИШ

Роторли қисқа туташтирилган асинхрон двигателларни электр тармоғига улаганда унинг ротор ва статор чулғамлари орқали номинал қийматидан  $5 \div 7$  марта ортиқ бўлган ток ўтади. Ишга туширишнинг бошланғич пайтида сирпаниш  $S = 1$  бўлиб, ишга тушириш токи энг катта қийматга эришади.

Двигателларни ишга туширишда, иложи борича, қуйидаги асосий талаблар бажарилиши керак: ишга тушириш жараёнида мураккаб бўлмаган қурилмалардан фойдаланиш; ишга тушириш моменти қаршилиқ моментидан катта бўлиши; ишга тушириш токининг кичик бўлиши; ишга тушириш вақти қисқа бўлиши.

Амалда қуйидаги ишга тушириш усулларидадан фойдаланилади: ротор чулғамига юргизиш реостатларини улаш; статор чулғамини электр тармоғига (бевосита) улаш; ишга тушириш пайтида статор чулғамларига пасайтирилган кучланиш бериш.

Фаза роторли двигателнинг ишга тушириш токини камайтириш учун роторнинг фаза чулғамига уч



9.26- расм.

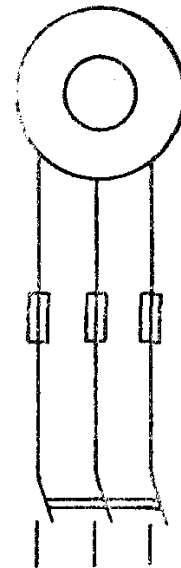


кениг қўлланилади. Лекин двигателни тармоққа улаш пайтида жуда қисқа вақт булса ҳам, номинал токдан 5 : 7 марта катта бўлган ишга тушириш токи  $I_{и.т}$  пайдо бўлади. Двигатель ишга туширилганда унинг айланиш тезлиги номинал қийматгача жуда тез ортади ва ишга тушириш токи камайиб, номинал юкланишга мос келадиган қийматга эришади.

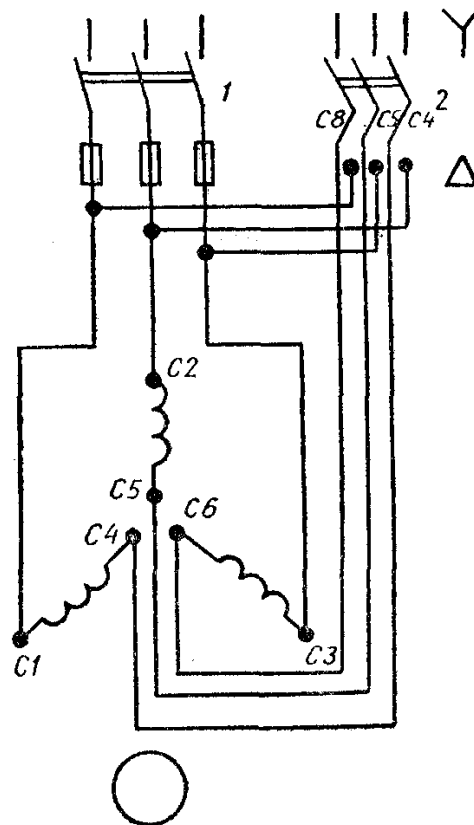
Двигателларни ишга туширишда ишга тушириш токи  $I_{и.т}$  нинг таъсири туфайли электр тармоғи кучланишининг қиймати сезиларли даражада пасайиб кетиши мумкин. Бунда айлантирувчи момент кучланишининг квадратига пропорционал ( $M \equiv U^2$ ) бўлгани учун юкланиш билан ишлаётган двигателларнинг моменти камайиб, уларнинг нормал ишлаши бузилади. Аммо ҳозирги энергетик системаларнинг қуввати етарли даражада катта бўлганлиги туфайли кичик ва ўрта қувватли асинхрон двигателларни электр тармоғига бевосита улаб ишга туширилганда ишга тушириш токининг таъсири деярли сезилмайди. Бунда ишга тушириладиган двигателларнинг қуввати электр тармоғи (генератор ёки трансформатор) қувватидан бир неча марта кичик бўлиши керак. Агар қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларни электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш имконияти бўлмаса, яъни асинхрон двигателларнинг қуввати электр тармоғи қувватига яқин бўлса, ишга тушириш токи бошқа бирор усул билан камайтирилади.

Двигателни учбурчак схемадан юлдуз схемага ўтказиб ишга тушириш. Двигателни ишга тушириш пайтида унга пасайтирилган кучланиш бериш орқали ишга тушириш токини камайтириш мумкин.

Статор чулғами учбурчак схемада ишлашга мўлжалланган асинхрон двигателнинг мазкур чулғамини учбурчак усулида улашдан юлдуз усулида улашга ўтказиб, двигателни ишга туширишни кўриб чиқайлик (9.29-расм). Двигателни ишга тушириш қуйидаги тартибда бажарилади Рубильник 2-ҳолатига ўтказиб, двигателни электр тар-



9.28- расм.



9.29- расм.

моғига уласак, статор чулғами юлдуз схемада уланган бўлади. Бунда двигателъ фазасига бериладиган кучланиш линия кучланишидан  $\sqrt{3}$  марта кичик бўлади. Демак, фаза токи ҳам  $\sqrt{3}$  марта камаяди. Маълумки, чулғамлар юлдуз схемада уланганда линия токи фаза токига тенг бўлади, бунда ишга тушириш токи:

$$I_{и.т\lambda} = \frac{U_{\phi\lambda}}{Z_{\phi}} = \frac{U_{\lambda}}{\sqrt{3}Z_{\phi}},$$

бу ерда  $I_{и.т\lambda}$  — юлдуз схемада уланган двигателнинг ишга тушириш токи;  $U_{\lambda}$  — электр тармоғининг линия кучланиши;  $Z_{\phi}$  — статордаги фаза чулғамининг қаршилиги.

Рубильник 2 „иш“ ҳолатига ўтказилганда, яъни статор чулғамлари „учбурчак“ схемада уланганда фазадаги ишга тушириш токи:

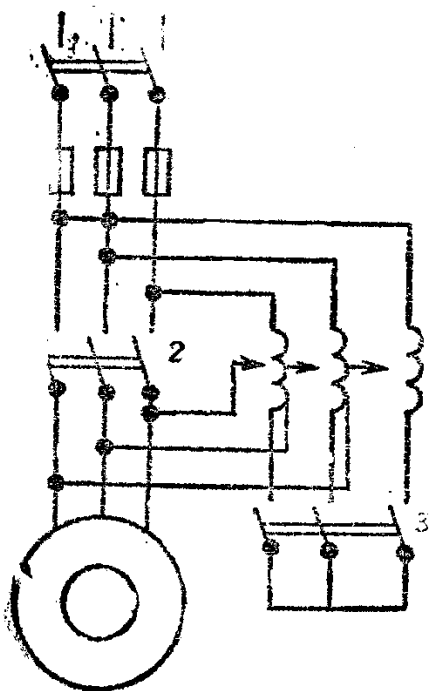
$$I_{и.т\phi} = \frac{U_{\phi\Delta}}{Z_{\phi}} = \frac{U_{\lambda}}{Z_{\phi}}$$

ва линиядаги ишга тушириш токи

$$I_{и.т\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_{\lambda}}{Z_{\phi}}.$$

$I_{и.т\lambda}$  ва  $I_{и.т\Delta}$  ни таққосласак:

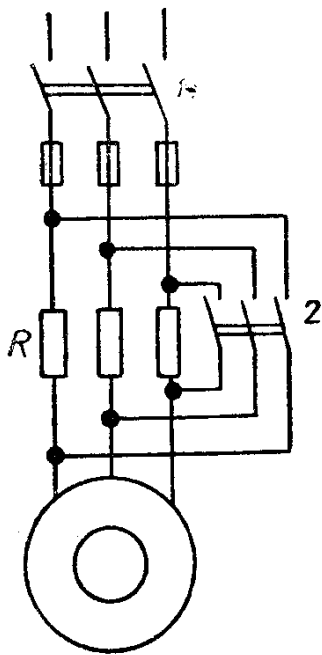
$$\frac{I_{и.т\lambda}}{I_{и.т\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$



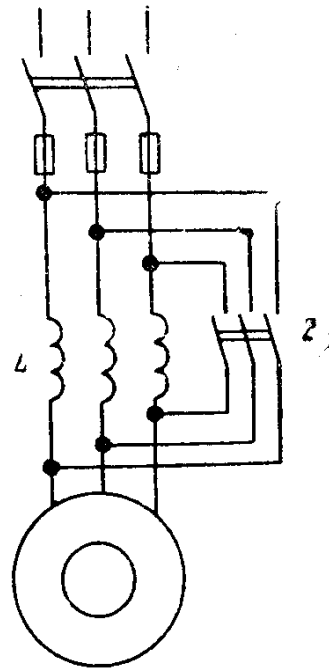
9.30- расм.

Шундай қилиб, двигателнинг ишга тушириш токи статор чулғамларини юлдуз схемада уланганда учбурчак схемада улангандагига нисбатан  $\sqrt{3}$  марта кичик бўлади. Лекин  $M \equiv U^2$  бўлганлиги сабабли мазкур усулда ишга туширилаётган двигателнинг айлантиврувчи моменти уч марта камаяди. Демак, бу усулдан двигателни фақат салт ишлатиш ёки валга қўйилган юкланиш кичик бўлганда фойдаланиш мумкин.

Ишга тушириш токини камайтириш мақсадида двигателнинг статор чулғамларига бериладиган кучланиш қийматини автотрансформатор ҳамда актив ёки индуктив қаршилик билан ҳам пасайтириш мумкин.



9.31- расм.



9.32- расм.

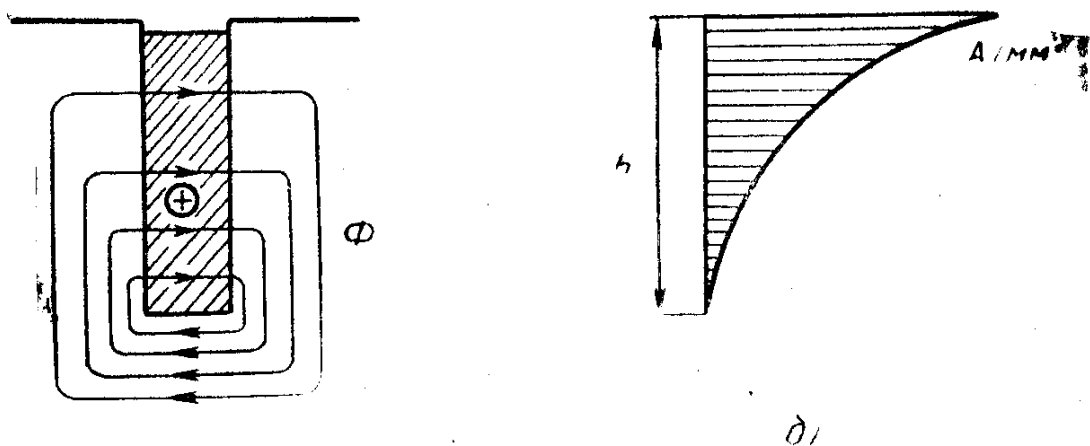
Автотрансформатор ёрдамида ишга тушириш усулида (9.30-расм) рубильник 2 узиб қўйилган ҳолатда рубильник 3, сўнг-ра рубильник 1 уланади ва статор чулғамига пасайтирилган кучланиш берилади. Двигатель ротори берилган кучланишга мос тезлик билан айлана бошлагандан кейин автотрансформатор ёрдамида кучланиш орттирилади. Ротор айланиш тезлиги номиналга етганда рубильник 3 ажралиб, рубильник 2 уланади ва статор чулғамларига бевосита тармоқ кучланиши берилди.

Двигателни ишга тушириш вақтида пасайтирилган кучланиш бериш учун статор чулғамига кетма-кет қилиб актив ёки индуктив қаршиликларни улаш 9.31 ва 9.32-расмларда кўрсатилган. Ишга тушириш вақтида рубильник 2 узиб қўйилган ҳолатда рубильник 1 уланади. Ток электр тармоғидан статор чулғамларига актив ёки индуктив қаршиликлар орқали ўтиб, уларда кучланишларнинг пасаюви содир бўлади. Натижада статор чулғамларига пасайтирилган кучланиш берилади. Роторнинг айланиш тезлиги ортиб, ишга тушириш токи камайганда рубильник 2 уланади ва статор чулғамлари электр тармоғининг номинал кучланиши таъсирида бўлади.

#### ЧУҚУР ПАЗЛИ ВА ҚЎШ ЧУЛҒАМЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРИШ

Асинхрон двигателлар роторининг конструкциясини ўзгартириб, масалан, чуқур пазли ва қўш чулғамли қилиб, уларнинг ишга тушириш токини камайитириш ва ишга тушириш моментини ошириш мумкин.





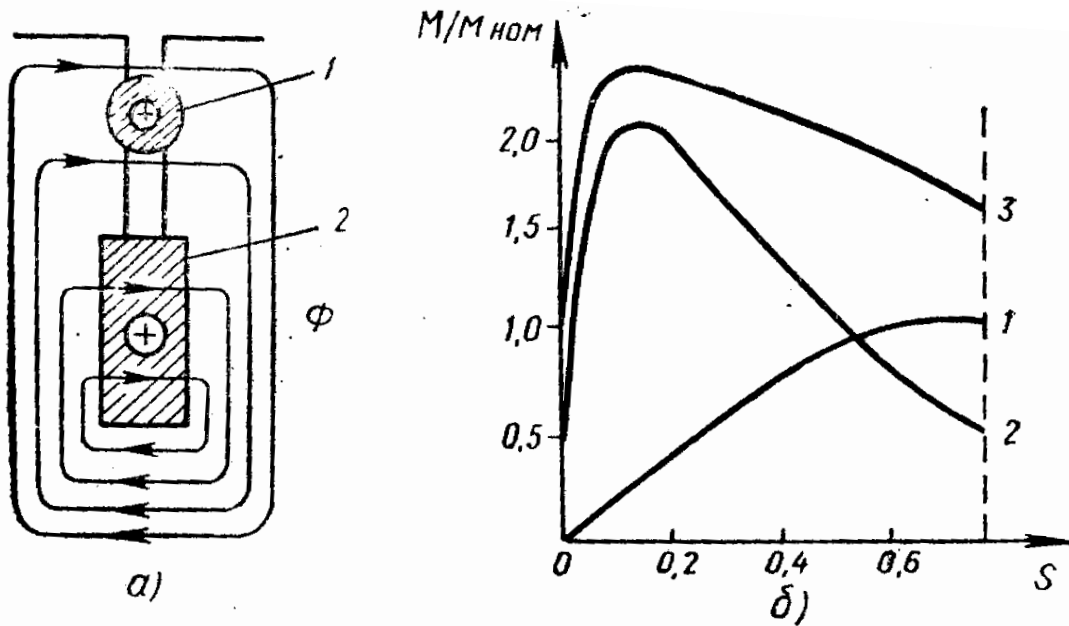
9.33- расм.

Чуқур пазли двигатель роторидаги пазнинг баландлиги энга нисбатан бир неча марта каттадир (9.33- расм, а). Роторнинг пазларига мис чулғамлар (стерженлар) жойлаштирилиб, иккала томонидан мис ҳалқаларга кавшарлаб бириктирилган бўлади.

Двигателни ишга тушириш пайтида ( $S=1$ ) ротор токининг частотаси энг катта бўлганда чулғам пастки қисмининг индуктив қаршилиги юқори қисмининг индуктив қаршилигидан анча катта бўлади. Бунга ротор токи ҳосил қилган магнит оқимининг куч чизиқлари чулғамнинг ротор юзасига яқин қисмига нисбатан пастки қисмини кўпроқ кесиб ўтиши сабаб бўлади. Натижада ротор токининг тақсимланиши 9.33- расм, б да кўрсатилгандек бўлади. Бундан кўринадики, ротор токининг кўп қисми, асосан, чулғамнинг юқори қисми орқали ўтади, бу қисмининг кўндаланг кесими нисбатан кичик бўлгани туфайли ротор чулғами актив қаршилигининг ортишига олиб келади. Ротор чулғами актив қаршилигининг ортиши ишга тушириш токининг камайишига ва ишга тушириш моменти-нинг ортишига олиб келади.

Ротор айланиш тезлигининг ортиши билан ротор токи частотасининг камайиши чулғам пастки қисми индуктив қаршилигининг ҳам камайишига олиб келади. Двигатель номинал режимда ишлаганида ротор чулғамидаги токнинг тақсимланиши бир текис бўлиб, ротор чулғами актив қаршилигининг камайишига эришилади.

Қўш чулғамли асинхрон двигателнинг роторида қисқа туташтирилган иккита чулғам бўлади (9.34- расм, а). Чулғамлардан бири роторнинг ташқи юзасига яқин жойлашган бўлиб, кўндаланг кесими кичик, актив қаршилиги эса катта жез ёки бронза стерженлардан (9.34- расм, а даги 1), иккинчиси ундан чуқурроқда, кўндаланг кесими катта, актив қаршилиги камроқ бўлган мис стерженлардан (9.34- расм, а даги 2) иборат бўла-



9.34- расм.

и. Ташқи чулғам 1 ни камроқ магнит куч чизиқлари кесиб ўтганлиги учун унинг индуктив қаршилиги анча кичик, ички чулғам 2 ни кўпроқ магнит куч чизиқлари кесиб ўтганлиги учун унинг индуктив қаршилиги катта бўлади.

Двигателни ишга тушириш пайтида ( $S = 1$ ) ротор токининг частотаси тармоқ частотасига тенглашади, ротор чулғамининг индуктив қаршилиги эса энг катта қийматга эришади. Ташқи чулғамнинг индуктив қаршилиги кичик, актив қаршилиги катта бўлганлиги учун у асосий ишга тушириш моментни ҳосил қилади. Шунинг учун уни *ишга тушириш чулғами* дейилади. Бунда ташқи чулғам орқали кам ток ўтади, лекин унинг актив ташкил этувчиси катта бўлиб, ишга тушириш моментининг катта бўлишига сабаб бўлади. Айланиш тезлиги орта бориши билан ротор токининг частотаси камаяди. Натижада ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ҳам тегишлича камаяди. Номинал режимда токнинг аксарият қисми актив қаршилик кам бўлган ички чулғам орқали ўтади. Ушбу чулғам *иш чулғами* деб аталади.

Қўш чулғамли двигателларда айлантирувчи момент  $M$  ишга тушириш ва иш чулғамларида ҳосил бўлган  $M_{и.т}$  ва  $M_{иш}$  моментлар йиғиндисидан иборат. 9.34- расм, б да қўш чулғамли двигателнинг ишга тушириш пайтидаги (1), иш пайтидаги (2) ва иккала чулғам ҳосил қилган  $M = f(S)$  боғланишлари (3) кўрсатилган.

Қўш чулғамли двигателларда ишга тушириш моментининг катта қиймати таъминланиши билан бирга, ишга тушириш пайтида ротор чулғами қаршиликларининг ортиши ҳисобига ишга тушириш токининг камроқ бўлишига эришилади.

## 9.12. АСИНХРОН МАШИНАНИНГ ГЕНЕРАТОР ВА ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТОРМОЗ РЕЖИМЛАРИ

Асинхрон машиналар фақат двигатель режимида эмас, балки генератор ва электромагнит тормоз режимларида ҳам ишлаши мумкин (9.35-расм). Ана шу режимлар асинхрон машинанинг механик характеристикасида кўрсатилади.

Асинхрон машинанинг электромагнит тормоз режими двигателнинг роторини тез тўхтатиш зарур бўлган ҳолларда қўлланилади. Агар ишлаётган асинхрон двигателнинг айланувчан магнит майдони йўналиши махсус улаш йўли билан ўзгартирилса, двигателнинг айланувчан қисмлари билан ижрочи механизмнинг инерция кучлари роторнинг аввалги йўналишида айланишини давом эттиради. Бунда айлантирувчи момент, машинанинг айнан двигатель режимидаги каби, айланувчан магнит майдони йўналишида бўлиб, роторнинг айланишига тескари таъсир қилади. Натижада ротор тормозланиб, машина электромагнит тормоз режимида ишлайди, сирпаниш эса  $S > 1$  бўлади (9.36-расм, а). Масалан, лифт, эскалатор, кўтарма кран ва бошқаларда юкларни туширишда юкдан ҳосил бўлган момент  $G$  двигателнинг роторини айланувчан магнит майдони йўналишига тескари йўналишида айланишга мажбур қилади.

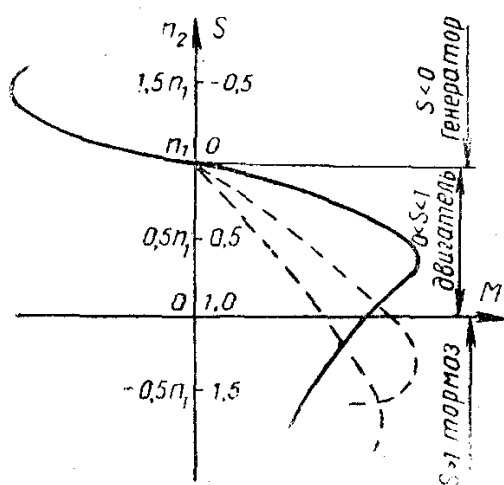
Электромагнит тормоз режимида фаза роторли асинхрон двигателларнинг ротор занжирига қўшимча актив қаршилиқ улаш йўли билан, 9.35-расмда штрих чизиқларда кўрсатилган механик характеристикалардан бирортасини олиш мумкин. 9.35-расмдан кўринадики, характеристиканинг  $S > 1$  қисмида максимал момент ва шунинг билан бирга барқарор электромагнит тормоз таъминланади.

Электромагнит тормозлашнинг асосий афзаллиги — кичик тезликларда, ҳатто  $n_2 = 0$  да ҳам катта тормозловчи момент ҳосил қилишидир.

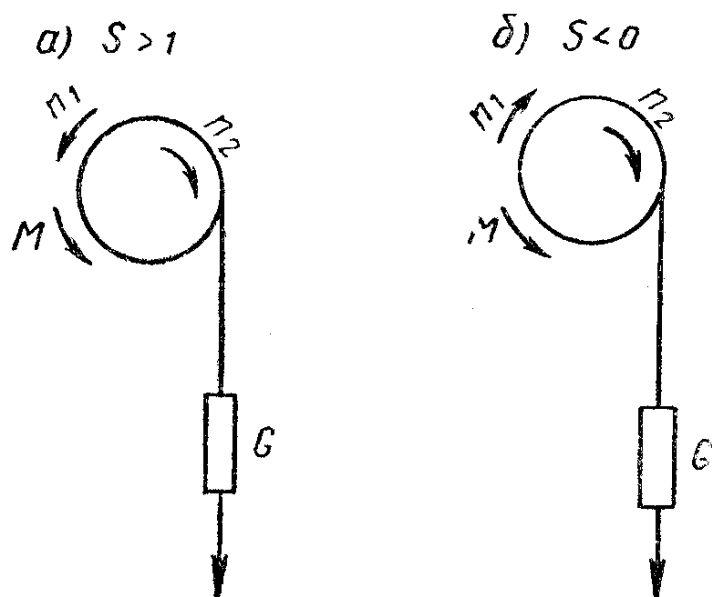
Агар ишлаётган асинхрон двигатель бирламчи двигатель ёрдамида статор магнит майдонининг айланиш тезлигидан катта тезлик билан айлантирилса, сирпаниш манфий бўлади, яъни

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} < 0.$$

Бундай статор чулғамида ҳосил қилинган ЭЮК ва токнинг йўналиши тескари томонга ўзгаради. Натижада роторнинг айлантирувчи моменти ҳам ўз йўналишини ўзгартиради ва айлантирувчи момент ҳолда (двигатель режимида) тескари таъсир этувчи моментга (бирламчи двига-



9.35- расм.



9.36- расм.

телнинг айлантурувчи моментига нисбатан) айланиб қолади. Бундай ҳолда асинхрон машина двигател режимидан генератор режимига ўтиб, бирламчи двигателнинг механик энергиясини электр энергияга айлантиради (9.36- расм, б).

Асинхрон машина генератор режимда айланувчан магнит майдонини ҳосил қилиш учун электр тармоғидан зарурий реактив энергияни олади, лекин тармоққа, бирламчи двигателни механик энергиясининг ўзгариши натижасида, олинган актив энергияни истеъмолчига беради. Шунга эътибор бериш керакки, асинхрон генераторлар фақат синхрон генераторлар билан биргаликдагина ишлаши мумкин, бунда синхрон генераторлар реактив энергия манбаи вазифасини ўтайди.

Асинхрон генератор алоҳида ҳам ишлаши мумкин. Лекин бу ҳолда генераторни магнитлашга зарурий реактив қувватни олиш учун, унга параллел қилиб уланган конденсаторлар батареясида фойдаланилади.

Асинхрон генераторларнинг синхрон генераторларга қараганда айрим камчиликлари бор: тармоқдан кўпроқ реактив қувват олини; алоҳида шароитда ўз-ўзидан уйғониши учун махсус конденсаторлар батареяси бўлишини талаб этиши. Шунинг учун уларнинг қўлланиши чеклангандир.

### 9.13. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ АЙЛАНИШ ТЕЗЛИГИНИ РОСТЛАШ ВА АЙЛАНИШ ЙУНАЛИШИНИ ЎЗГАРТИРИШ (РЕВЕРСЛАШ)

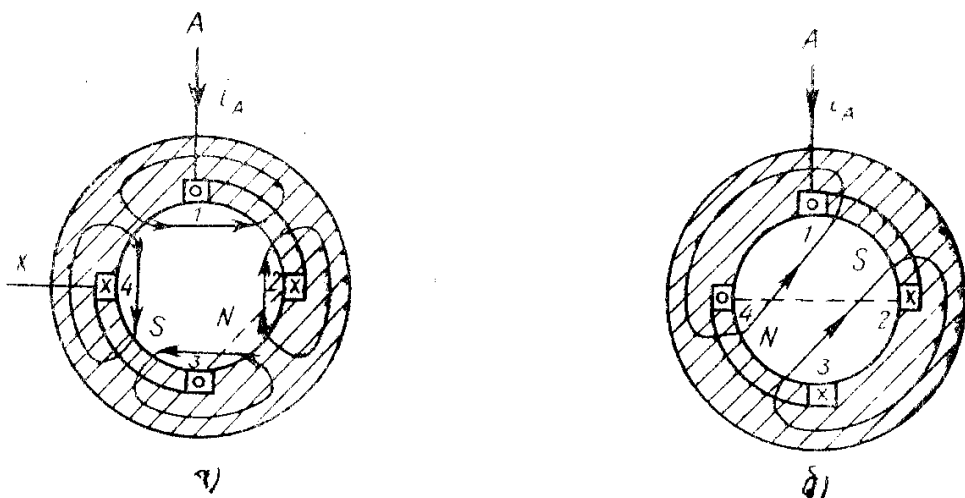
Асинхрон двигателнинг айланишлар тезлиги  $n_2 = \frac{60f_1}{p} (1 - S)$  бўлгани учун унинг тезлигини статор токининг частота-

си  $I_1$ , жуфт қутблар сони  $p$  ёки сирпаниш  $S$  ни ўзгартириш билан ростлаш мумкин.

Статор токининг частотасини ўзгартириш билан тезликни ростлаш статор айланувчи магнит майдонининг айланиш тезлигини ўзгартиришга асосланган. Бу усул двигатель тезлигини бир текис ва кенг доирада ростлаш имконини беради, аммо бунда махсус частота ўзгартиргич бўлиши керак. Натижада бундай қурилма мураккаблашади ва двигательнинг фойдалиш коэффициентини камайтиради. Амалда бундай усул электр тармоғига уланган бир нечта асинхрон двигательларнинг тезликларини ростлашда қўлланилади. Частота ўзгартиргичлардан энг истиқболлиси тиристорли частота ўзгартиргичдир. Бу усул билан айланишлар сони катта бўлган асинхрон двигательларнинг тезлиги бошқарилади.

Статор чулғамининг жуфт қутблар токини ўзгартириш билан двигательнинг тезлигини ростлаш усули, асосан, қисқа туташтирилган роторли двигательларда қўлланилади. Бунга сабаб шуки, қисқа туташтирилган роторда қутблар сони доимо статор чулғамининг қутблар сонига тенг бўлади. Шу сабабли, двигательнинг айланишлар тезлигини ўзгартириш учун статорнинг чулғамлари сонини ўзгартириб улашнинг ўзи етарлидир. Фаза роторли двигательларда эса статор чулғамининг уланиш тартибини ўзгартириб улашдан ташқари, ротор чулғамини ҳам тегишли ўзгартириш зарур бўлади. Статор чулғамининг жуфт қутблар сонини ўзгартириш билан статор айланувчи магнит майдонининг тезлиги ўзгаради. Демак, роторнинг айланишлар тезлигини ўзгартиришга эришилади. Двигательнинг айланишлар тезлигини бундай усулда бошқаришда унинг статорига қутблар сони турлича бўлган бир нечта чулғам ёки қутблар сони ўзгартарилиши мумкин бўлган махсус қўшимча чулғам ўрнатилади.

9.37-расмда ҳар бир фазаси иккита ғалтакдан иборат бўлган статор чулғамининг уланиш схемасини кетма-кет улашдан (9.37-расм, а) параллел улашга ўтказиб (9.37-расм, б), жуфт



9.37-расм.

қутблар сонини ўзгартириш кўрсатилган. Бунда фаза ғалгалари кетма-кет улашдан параллел улашга ўтгазилганда жуфт қутблар сони  $p = 2$  дан  $p = 1$  га камаяди. Бунда синхрон тезлик 1500 дан 3000 айл/мин гача ўзгаради. Демак, двигатель ҳам бир-биридан икки марта фарқ қилувчи иккита тезликка эга бўлади. Бундай двигателлар *икки тезликли двигателлар* деб аталади. Саноатда икки тезликли асинхрон двигателлар қуйидаги синхрон тезликларда ишлаб чиқарилади: 300/150; 1500/750; 1000/500 айл/мин ва ҳ.к.

Уч тезликли ва тўрт тезликли двигателларнинг статорида иккитадан мустақил чулғамлар бўлиб, уларнинг биринчисида иккита тезлик ҳосил қилинса, иккинчисида битта (уч тезликли двигателда) ёки иккита (тўрт тезликли двигателда) тезлик ҳосил қилинади. Бундай двигателлар қуйидаги синхрон тезликларга эга бўлиши мумкин: уч тезликли — 1500/1000/750, 1000/750/500 айл/мин; тўрт тезликли — 3000/1500/1000/500, 1500/1000/750/500 айл/мин.

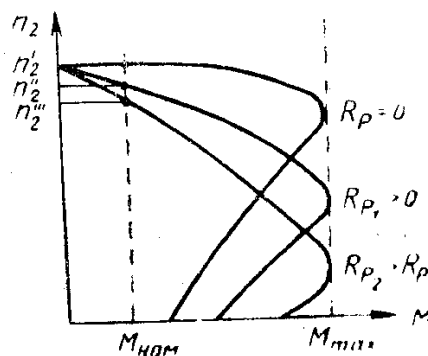
Шундай қилиб, бир нечта тезликларда ишлашга мўлжалланган асинхрон двигателлар *кўп тезликли двигателлар* деб аталади.

Жуфт қутблар сонини ўзгартиришда тезлик раван эмас, балки погонли тарзда бошқарилса ҳам, турли тезликларда механик характеристикасининг қаттиқлиги ва ростлашда тежамлилиги юқори бўлгани учун, бу усул металл кесиш дастгоҳларида, насос, элеватор, вентилятор ва лифт қурилмаларида кенг қўлланилади.

Сирпанишни ўзгартириш орқали двигатель тезлигини бошқариш усули фақат фаза роторли асинхрон двигателларда ишлатилади. Бунда ротор занжирига уч фазали реостат уланади. Бундай реостат ишга гушириш реостатларидан фарқли равишда узоқ вақт ишлашга мўлжалланган бўлиб, бошқариш реостати деб аталади. Мазкур реостатнинг уланиш схемаси 9 26-расмда кўрсатилган схемадан фарқ қилмайди.

Асинхрон двигательнинг ротор занжири актив қаршилигининг турли қийматлари учун қурилган  $n = f(M)$  механик характеристикаси (9 38-расм) шуни кўрсатадики, ротор занжирининг актив қаршилиги ортиб бориши билан сирпанишнинг берилган юкланиш моментига тўғри келадиган қиймати катталашади, яъни двигательнинг айланишлар тезлиги камаяди. Агар реостат қаршилиги нолга тенг бўлса, двигатель синхрон тезликка яқин бўлган  $n'_2$  айланишлар тезлигига эга бўлади. Агар реостат қаршилиги нолдан катта бўлса,  $n'_2 < n'_2$  бўлади ва ҳоказо.

Одатда, ростлаш реостатининг



9.38-расм.

қаршилиги поғонали тарзда ўзгартирилади. Бинобарин, двигателнинг айланишлар тезлиги ҳам шунга мос равишда ўзгаради. Ростлаш реостатларининг қизишга сарфланадиган қувват исрофи кўпайиши билан двигателнинг фойдали иш коэффициентини камаяди. Булардан ташқари, юкланиш моментининг озгина ўзгариши ҳам двигатель айланишлар тезлигининг кўпроқ ўзгаришига олиб келади. Лекин, бундай камчиликларга қарамасдан, тезликни ротор занжирига реостат улаш йўли билан бошқариш усули фаза роторли асинхрон двигателларда кенг қўлланилади.

Асинхрон двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун статор магнит майдонининг айланиш йўналишини ўзгартириш лозим. Бунинг учун двигателдаги фаза чулғамларининг манбага уланадиган исталган иккитасининг ўрнини алмаштириш kifойадир.

#### 9.14. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ҚУВВАТ КОЭФФИЦИЕНТИНИ ОШИРИШ

Асинхрон двигателларнинг статор чулғами занжири актив ва индуктив қаршиликларга эга. Электр тармоғига уланган двигателнинг статор чулғамига берилган электр энергиянинг бир қисми (актив қувват) двигателнинг роторида механик энергияга айланади, қолган қисми (реактив қувват) эса айланувчан магнит майдони ҳосил қилиш учун сарф бўлади.

Двигателга электр тармоғидан берилган тўла қувват  $S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$  га тенг. Актив қувват  $P = U \cdot I \cos \varphi = S \times \cos \varphi$  ифодадан аниқланиб, двигатель ўқидаги юкланишнинг ўзгаришига боғлиқдир. Бунда  $\cos \varphi$  қувват коэффициентини деб аталади ва актив қувват тўла қувватнинг қандай қисмини ташкил этишини кўрсатади. Реактив қувват ( $Q$ ) двигатель ўқидаги юкланишнинг ўзгаришига боғлиқ эмас.

Двигателга берилган кучланиш ўзгармас бўлса, магнит оқими ва статор чулғамидаги токнинг реактив ташкил этувчиси ҳам ўзгармас бўлади. Юкланишнинг ўзгариши билан токнинг реактив ташкил этувчиси ўзгаришсиз қолиб, фақат актив ташкил этувчиси ўзгаради, яъни юкланишнинг кўпайиши билан  $\cos \varphi$  ортади ва аксинча.

Асинхрон двигателларнинг берилган кучланиши ва қувватида қувват коэффициентининг камайиши билан тармоқдан олаётган токи ортади, яъни

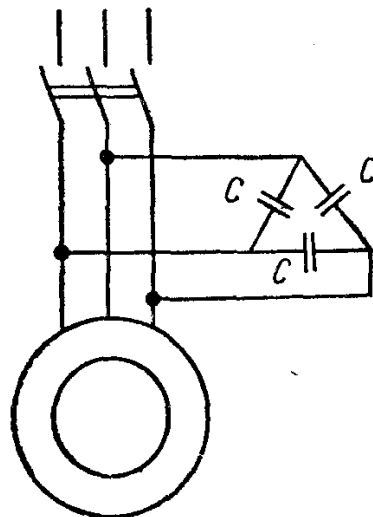
$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}.$$

Шундай қилиб, двигатель қувват коэффициентининг камайиши электр станциясидаги генераторларнинг, трансформаторларнинг номинал қувватидан тўла фойдаланишга имкон бермайди, шунингдек узатиш линияларида энергия исрофининг ортишига олиб келади. Масалан, агар двигателларнинг тўла

юкланишдаги қувват коэффициентини  $0,75 \div 0,85$  бўлса, кичик юкланишда  $\cos \varphi$  камайиб кетади. Шунинг учун  $\cos \varphi$  ни ошириш чоралари кўрилмаса, энергетик системанинг натижавий қувват коэффициентини кичик бўлади.

Двигателларнинг қувват коэффициентини қуйидагича оширилади. Двигателларни қувватига қараб тўғри танлаш керак. Агар двигатель кам юкланишда ишласа,  $\cos \varphi$  кичик бўлади. Кам юкланиш билан ишлаётган двигателларни кичик қувватли двигателлар билан алмаштириш ва, иложига бориб, двигателларнинг салт ишлаш вақтини камайтириш лозим.

Агар двигатель қувватини тўғри танлаш орқали қувват коэффициентини керакли қийматга ошириш имконияти бўлмаса, махсус усуллардан фойдаланилади. Директив  $\cos \varphi$  нинг қиймати  $0,9 \div 0,92$  оралиқда бўлади.  $\cos \varphi < 0,9$  бўлганда реактив қувватни компенсациялаш учун махсус компенсациялаш қурилмаси — статик конденсатор багареяларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Конденсаторлар двигателларга (уч фазали истеъмолчиларга) параллел қилиб учбурчак схемада уланади (9.39-расм). Конденсаторларнинг сифимий реактив қуввати двигателнинг индуктив қувватини қисман компенсациялайди. Натижада реактив қувват камаяди, қувват коэффициентини эса ортади:



9.39- расм.

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}}$$

бу ерда  $Q_C$  — компенсацияловчи қурилманинг реактив қуввати.

### 9.15. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Умумий мақсадларда ишлатиладиган асинхрон двигателлар саноатда ягона серияда ишлаб чиқарилади. Бинобарин, қуввати ва айланишлар сони (тезлиги) бир хил бўлган битта сериядаги двигателлар қаерда ишлаб чиқарилишидан қатъи назар, умумий конструкция ва бир хил ўлчамларга эга бўлади.

Уч фазали асинхрон двигателларни дастлабки ягона серияси бўлмиш А, АО сериялар 50-йилларда қўлланган. Бу сериядаги двигателларнинг қуввати 0,6 дан 100 кВт гача, габарит ўлчамлари етти хил бўлган. Асинхрон двигателларнинг биринчи сериясини иккинчи ягона серияга (АО2, А2) алмаштириш саноатда 1961 — 1965 йилларда ўзлаштирилди. Иккинчи серия двигателларининг қувват диапазони биринчи сериядагидек бўлиб, статор ўзаги ташқи диаметрининг ўлчамлари билан фарқ қиладиган, тўққизта габарит ўлчамига эга. АО2 ва



А2 сериядаги учфазали асинхрон двигателлар А ва АО сериялардан энергетик ва эксплуатацион кўрсаткичларининг анча юқорилиги билан фарқ қилади. I—V габаритли двигателлар механик ҳимояланган ва ёпиқ ҳолда совитиладиган (АО2), VI—XI габаритли двигателлар эса ҳимояланган (А2) ва ёпиқ ҳолда совитиладиган (АО2) двигателлардан таркиб топган.

Қуввати 100 кВт гача бўлган, А2 ва АО2 ягона сериядаги асинхрон двигателлар қуйидагича белгиланади:

А2 — ҳимояланган, умумий қўлланадиган, ишга тушириш momenti оширилган: АП2, АС2 — сирпаниши оширилган; АЛ2 — алюминий корпусли; АК2 — фаза роторли;

АО2 — ёпиқ ҳолда совитиладиган, умумий қўлланадиган; АОП2 — ишга тушириш momenti оширилган; АОС2 — сирпаниши оширилган; АОЛ2 — корпуси алюминийдан; АОТ2 — тўқимачилик саноати учун.

Асинхрон двигателнинг белгиланишида унинг қайси серияга тегишлилиги, габарити, статорининг узунлик номери (тартиб рақами) ва қутблар сони кўрсатилади. Масалан, АО2-51-6 қуйидагиларни билдиради: ёпиқ ҳолда совитиладиган, ягона АО2 сериядаги уч фазали асинхрон двигатель, габарити V, статорининг узунлик номери биринчи, қутблар сони олтита.

Махсус шароитларда ишлаш учун мўлжалланган двигателларни белгилашнинг охирига ҳарф қўшилади. Масалан: Х — химиявий, Т — тропик, В — намга ва совуққа чидамли, Ш — кам шовқинли.

Асинхрон двигателлар турли хил синхрон тезликлар (3000, 1500, 1000 ва 750 айл/мин) га ҳамда 127/220, 220/380 ва 380/660 В номинал кучланишга мўлжаллаб ясалди. Агар двигатель 220/380 В кучланишга мўлжалланган бўлса, тармоқ кучланиши 380 В бўлганда двигателнинг статор чулғамини юлдуз схемада улаш, тармоқ кучланиши 220 В бўлганда эса учбурчак схемада улаш лозим. Ҳар иккала ҳолда ҳам фаза кучланиши 220 В га тенглигича қолади.

Ҳозирги вақтда саноатда 4А (ёпиқ ҳолда совитиладиган) ва 4АН (ҳимояланган) сериядаги уч фазали асинхрон двигателлар ишлаб чиқарилмоқда. Булар тўртинчи серияга мансуб, қуввати 0,12 дан 400 кВт гача бўлган двигателларни ўз ичига олади. Бу сериядаги двигателлар қуйидаги номинал кучланишларга мўлжалланган: 220/380 В — қуввати 0,37 кВт гача; 220/380 ва 380/660 В — қуввати 0,55 кВт дан 110 кВт гача; 380/660 В — қуввати 132 кВт дан ортиқ.

Янги турдаги ушбу двигателлар аввалгиларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга: оғирлиги (ўртача 18% га) камайтирилган, габарит ўлчамлари кичрайтирилган, айланиш ўқи настроқ ўрнатилган, ишга тушириш momenti оширилган, шовқин ва тебраниш даражаси пасайтирилган, монтаж қилиш қулайлаштирилган, фойдали иш коэффициенти оширилган, қувватлар шкллси ва ўлчамлари халқаро стандартларга яқинлаштирилган.

4А серияда двигатель турининг янгича белгилаш схемаси қабул қилинган: эски сериядагига ўхшаш статор ўзагининг шартли диаметрининг ўлчами ўрнига валнинг айланиш баландлиги (роторнинг айланиш ўқидан таянч юзасига бўлган масофа) киритилган бўлиб, у 50 мм дан 380 мм гачадир.

Саноатда 4А серияда айланиш ўқининг баландлиги 50 мм дан 350 мм гача бўлган барча двигателлар, 4АН серияда эса айланиш ўқининг баландлиги 160 мм дан юқори бўлган двигателлар ишлаб чиқарилади.

4А ягона сериядаги асинхрон двигателларнинг хили ва ўлчамларини билдирувчи ҳарфли ва рақамли белгилар қуйидагиларни англатади: 4 — двигатель сериясининг номери; А — двигательнинг хили (асинхрон); Н — двигатель ташқи муҳит таъсиридан ҳимояланган (бу ҳарфнинг бўлмаслиги двигатель ёпиқ ҳолда совитилишини билдиради); А ёки Х — двигательнинг станина ва қалқони қандай материалдан ясалганлигини (биринчи ҳарф станина ва қалқоннинг алюминийдан ясалганлигини, иккинчи ҳарф станинанинг алюминийдан, қалқоннинг эса чўяндан ясалганлигини, агар ҳарф бўлмаса станина ва қалқоннинг чўян ёки пўлатдан ясалганлигини) билдиради; иккита ёки учта рақам — двигатель айланиш ўқининг баландлиги; S, M, L — станинанинг узунлиги бўйича ўлчами (ушбу ҳарфлар иккита ёки учта рақамдан кейин туради); А ёки В — статор ўзагининг узунлиги; 2, 4, 6, 8, 10 ёки 12 — қутблар сони, V — қандай иқлимда ишлатишга мўлжалланган; 3 — ўрнатилиш категорияси.

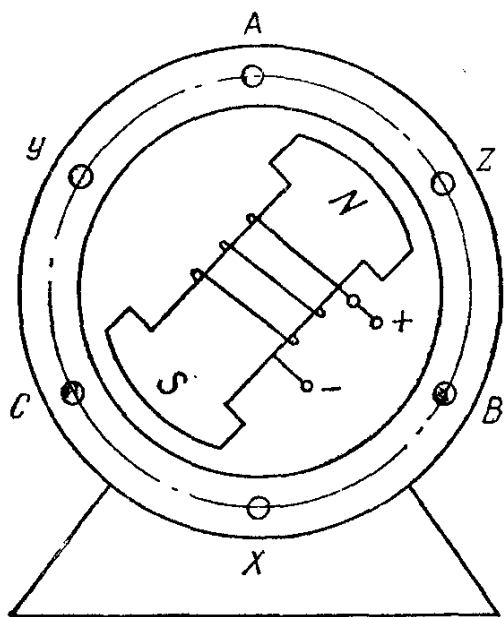
4А сериядаги двигателларнинг хили ва ўлчамларини белгилашнинг янги системаси қабул қилинган. Масалан, 4АН200М4У3 қуйидагини англатади: уч фазали қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигатель, ҳимояланган IV серия, станина ва қалқони чўяндан ясалган, айланиш ўқининг баландлиги 200 мм, станина узунлиги бўйича ўрнатилган ўлчами M, тўрт қутбли, иқлим шароитига мослаб ясалган V (мўътадил иқлим), учинчи категория.

Сирпаниши оширилган двигателларда серия белгисидан кейин қўшимча „С“ белгиси қўйилади (4АС200 6У3). Кўп тезликли двигателларнинг белгиланишида қутблар сони келтирилган бўлади (4А200М12/8/2/6/4У3). Фаза роторли двигателларда 4А ёки 4АН, кейин „К“ белгиси қўйилади (4АНК280М4У3). Кам шовқинли двигательнинг белгиланишида қутблар сонидан кейин „Н“ белгиси қўйилади (4А160М6НУ3).

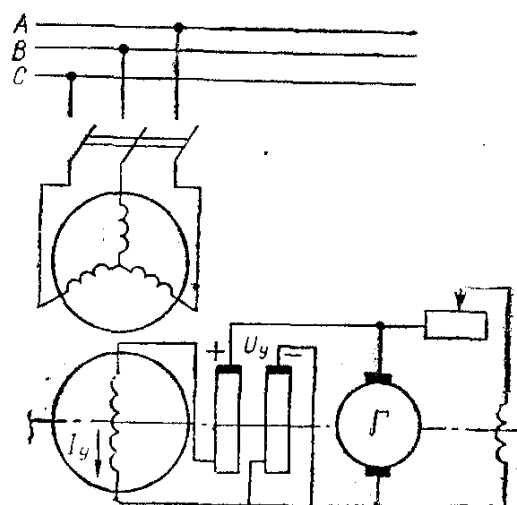
## 10- б о б. СИНХРОН МАШИНАЛАР

### 10.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР. СИНХРОН МАШИНАЛАРНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Айланиш тезлиги ( $n$ ) ўзгармас бўлиб, статор токининг частотаси  $f = \frac{pn}{60}$  нисбат орқали боғлиқ бўлган ўзгарувчан ток машинаси *синхрон машина* деб аталади.



10.1- расм.



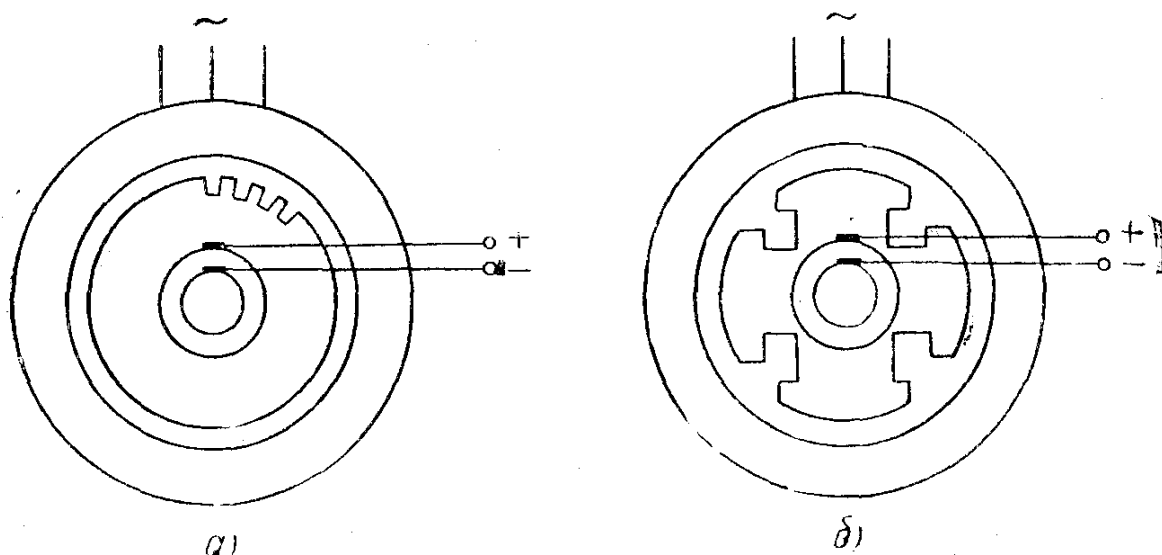
10.2- расм.

Синхрон машиналар электр генераторлари, двигателлари ва реактив қувват компенсаторлари сифатида ишлатилади. Барча электр машиналари каби улар ҳам қайтувчанлик хусусиятига эга. Синхрон машиналар, асосан, барча электр станцияларда уч фазали электр генераторлари сифатида ишлатилмоқда. Замонавий иссиқлик электр станцияларида қуввати 800 кВа ва ундан ортиқ бўлган генераторлар ўрнатилган. Гидравлик электр станциялардаги генераторларнинг қуввати бирмунча кам бўлиб, 500 — 600 кВа ни ташкил этади. Атом электр станцияларида эса битта блокнинг қуввати 1.5 минг МВА га етади.

Статор ва ротор синхрон машинанинг асосий қисмлари ҳисобланади. Статорнинг ўзаги ўзаро изоляцияланган электротехник пўлат япроқчалардан йиғилган бўлиб, цилиндрсимон яхлит корпуснинг ички сиртига маҳкамланади. Статор ўзагининг ички қисмидаги пазларга уч фазали ўзгарувчан ток чулғамлари жойлаштирилади (10.1- расм).

Машина ўқига маҳкамланган контакт ҳалқаларига ротор чулғамининг икки учи маҳкамланган бўлиб, ҳалқалар сиртида қўзғалмас ток уловчи чўткалар сирпанади. Ротор учун доимий ток манбаи сифатида қуввати унча катта бўлмаган ўзгармас ток генератори — уйғотгич ишлатилади. Одатда, уйғотгичнинг қуввати синхрон машина қувватининг (1 — 3)% ини ташкил этади. Айрим ҳолларда синхрон генератор ҳосил қилган токни тўғрилаш йўли билан доимий ток ҳосил қилинади. 10.2- расмда синхрон машинанинг электр схемаси тасвирланган 10.3- расмда эса синхрон машинанинг асосий турлари кўрсатилган.

Яққол кўринадиган қутбли синхрон машиналарни тайёрлаш технологиясини ҳамда конструкциясининг механик мустаҳкам-



10.3- расм

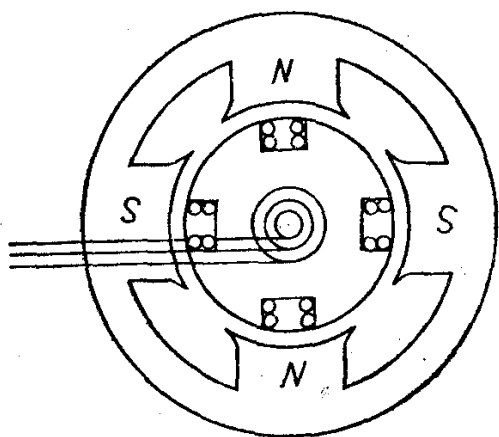
лигини таъминлаш учун уларни айланиш тезлиги 1000 айл/мин дан кам бўлган ҳолларда ишлатиш учун тавсия этилади. Аниқ намоён қутбли генераторнинг бирламчи двигатели сифатида, кўпинча, гидравлик турбина ишлатилади. Шунинг учун бундай генераторлар *гидрогенераторлар* деб аталиб, уларнинг айланиш тезлиги 60 дан 750 айл/мин оралиғида бўлади. Тезликнинг бундай катта оралиқда ўзгариши гидростанцияларда сув босими ва исрофининг турлича бўлиши билан боғлиқдир. Гидрогенератор қутбларининг сони гидротурбинанинг тезлигига боғлиқ ҳолда бир неча ўнтагача бўлиши мумкин (10.3-расм, б). Масалан, турбинанинг айланиш тезлиги 75 айл/мин ва стандарт частота 50 Гц бўлганда  $P = 60 f/n_2 = (60 \cdot 50)/75 = 40$  жуфт қутб ёки 80 та қутб бўлади.

Яққол кўринмайдиган қутбли машиналар, асосан, роторнинг айланиш тезлиги катта 1500, 3000 айл/мин бўлганда қўлланилади. Бундай машина роторининг конструкцияси бўртиб чиқмаган қутб сифатида, яъни уйғотиш чулғами жойлаштирилган пазли цилиндрсимон шаклда ясалади (10.3-расм, а). Яққол кўринмайдиган қутбли генераторларнинг бирламчи двигатели сифатида буғ турбинаси қўлланилгани учун бундай генераторлар *турбогенераторлар* деб аталади.

Синхрон двигателлар қуввати бир неча ўн минг киловаттгача ва яққол кўринадиган қутбли қилиб ишлаб чиқарилади.

Синхрон машиналарнинг ишлаш принципи ротор чулғамига ўзгармас ток берилганда, ўзгармас магнит майдони ҳосил бўлиши ва ротор билан бирга айланиб статор чулғамларини кесиб ўтиб, уларда частотаси  $f$  га тенг бўлган ЭЮК индукциялашига асосланган.

Агар статор чулғамларига нагрузка қаршилиги  $Z_n$  ни уласак, генераторнинг фаза чулғамларида ҳосил бўлган  $i_A$ ,  $i_B$  ва



10.4- расм.

$i_c$  тоқлар тезлиги ( $n_1 = \frac{60f}{p}$ )

ротор тезлигига тенг бўлган айланувчан магнит майдони ҳосил қилади. Шунинг учун бундай электр машиналар, роторнинг айланиш тезлиги статор магнит майдонининг айланиш тезлигига тенг бўлгани учун *синхрон машиналар* деб юритилади. Қуввати нисбатан катта бўлмаган (100 кВА гача) машиналарнинг ўзгармас ва ўзгарувчан ток чулғамлари, кўпинча ўзаро ўрин алмашган бўлади (10.4-расм). Истеъ-

молчи уланадиган чулғам роторга, уйғотиш чулғами эса статорга жойлаштирилади.

## 10.2. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ САЛТ ИШЛАШИ. НАГРУЗКАЛИ ИШ РЕЖИМИ. ЯКОРЬ РЕАКЦИЯСИ.

Аввалги параграфда кўриб ўтилганидек, синхрон машинанинг магнит майдони оқими, уйғотиш чулғамининг ( $\bar{F}_y$ ) ва статор чулғамининг МЮК ларининг биргаликда таъсири натижасида ҳосил қилинади. Генератор салт ишлаганда магнит майдони оқими фақат уйғотиш токи ёрдамида ҳосил қилинади, яъни  $\Phi_{\text{нат}} = \Phi_y$  бўлиб, статор фаза чулғамларида роторнинг қутб ўқи бўйича йўналган ЭЮК ни индукциялайди, яъни

$$E_0 = 4,44fK_0^0 \omega_1 \Phi_y.$$

Асосий магнит майдон оқими уйғотиш токига пропорционал бўлгани учун ЭЮК қийматини уйғотиш токи қийматини катта диапазонда ўзгартириб, ростлаш мумкин.

Статор чулғамларида индукцияланувчи ЭЮК ниңг частотаси  $f = \frac{p \cdot n}{60}$  эканлигини билган ҳолда

$$E_0 = 4,44 \frac{K_{01} \cdot \omega_1 \cdot p}{60} \Phi_y \cdot n = c_E n \Phi_y,$$

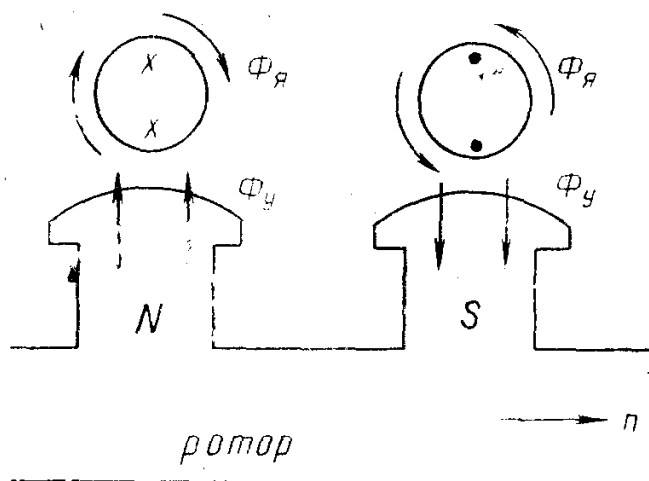
деб ёзиш мумкин, яъни синхрон машинанинг ЭЮК магнит майдони оқимига ҳамда айланиш тезлигига пропорционалдир.

Генератор юкланиш билан ишлаганда статор чулғамларидан оқиб ўтаётган ток роторнинг асосий магнит майдони оқимига тесқари йўналган магнит оқимини ҳосил қилиши натижасида якорь реакцияси ҳосил бўлади.

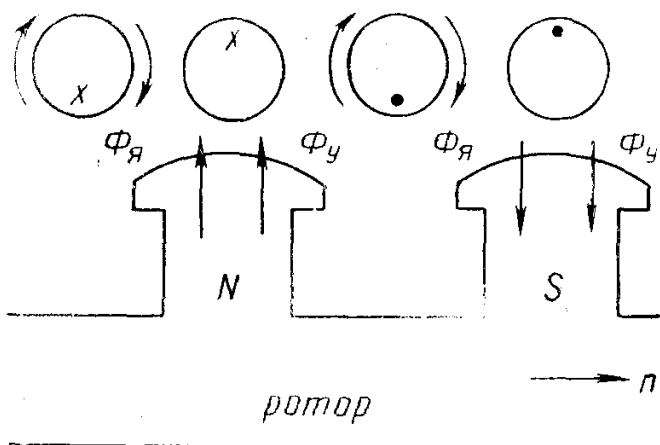
Турли юкланишлар учун якорь реакцияси таъсирини акс таъсирини кўриб чиқамиз.

**Актив истеъмолчи** ( $\varphi=0$ ). 10.5- расмда роторнинг икки қутби ва статор чулғами кўрсатилган. Роторнинг расмда кўрсатилган стрелка йўналиши бўйича ҳаракатланиши натижасида статор чулғамларида ўтказгични юқори қисмида кўрсатилган изланишда индукцияланган ЭЮК ҳосил бўлади. Кўрилаётган ҳолда статор токнинг йўналиши ЭЮК йўналиши билан мос тушгани учун унинг йўналишини ҳам ЭЮК йўналишини кўрсатгандек, ўтказгичнинг пастки қисмида кўрсатамиз. Қарама-қарши йўналган  $\Phi_{я}$  (иккиламчи статорнинг магнит оқими) таъсирида ҳам бир қутбнинг ярми магнитсизланади, иккинчи ярми эса магнитланади. Бу ҳолда статорнинг магнит майдони кўндаланг майдон, деб ҳисобланади. Якорь реакцияси умумий магнит майдони ўқининг айланиш йўналиши бўйлаб силжишига сабаб бўлади. Тўйинишнинг таъсири тўфайли умумий магнит майдони бироз сусаяди: қутбларнинг яқинлашаётган қисмида кўпроқ сусайиб, узоқлашаётган қисмида кучаяди.

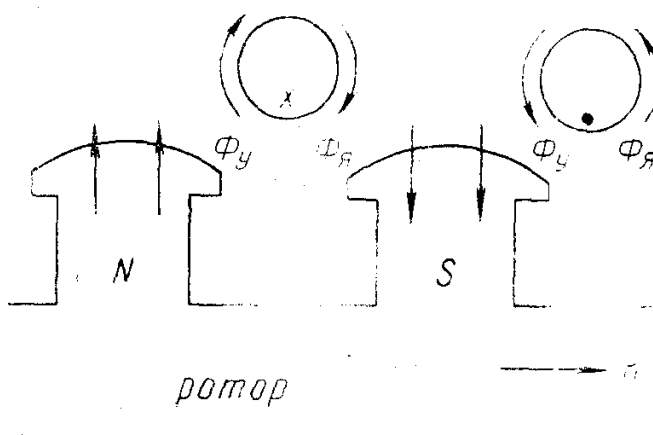
**Индуктив истеъмолчи** ( $\varphi = \pi/2$ ). Статордаги фаза токи ро-



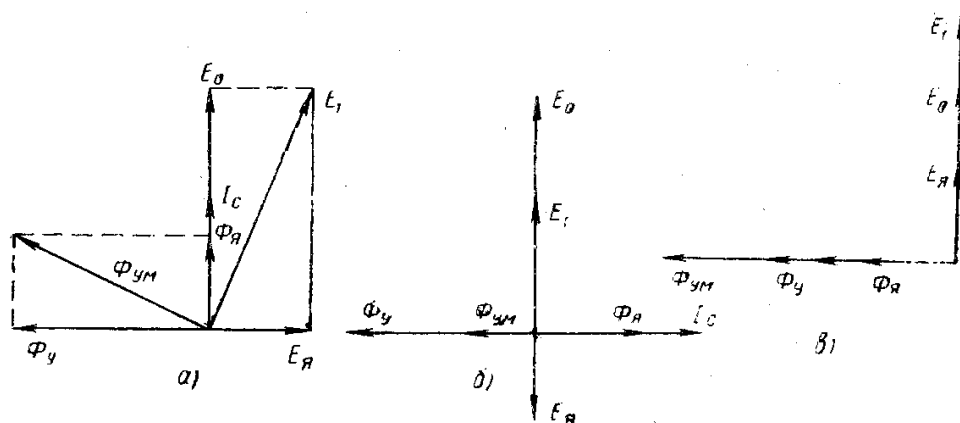
10.5- расм.



10.6 расм.



10.7- расм.



10.8- расм.

тор қутби  $\pi/2$  ёки  $90^\circ$  градусга илгарилаб кетгандагина ўзининг максимал қийматига эришади, чунки токнинг мусбат максимум қийматига ЭЮК нинг мусбат максимум қиймати мос келади. 10.6- расмдан кўришиб турибдики, статор магнит майдонининг оқими ротор қутби бўйича йўналган бўлиб, ротор майдони оқимига қарама-қарши йўналгандир. Бундай якорь реакцияси *кўндаланг магнитсизловчи якорь реакцияси* деб аталади.

**Сифимли истеъмолчи ( $\varphi = -\pi/2$ ).** Статор токи ўзининг максимум қийматига ротор қутби фаза чулғами ўртасидан  $\pi/2$  масофада бўлганда эришади, яъни ЭЮК ўзининг мусбат энг катта қийматига токнинг мусбат энг катта қийматидан сўнг эришади. Бундай ҳолда якорь реакцияси бўйлама магнитловчи бўлади.

Келтирилган ҳоллар учун якорь реакциясининг таъсири 10.8- расмда келтирилган ЭЮК, магнит оқими ва тоқларининг вектор диаграммаси орқали намоён қилинган. 10.8- расм, *а* да кўрсатилгандек, актив истеъмолчи учун якорь реакцияси кўндалангдир.

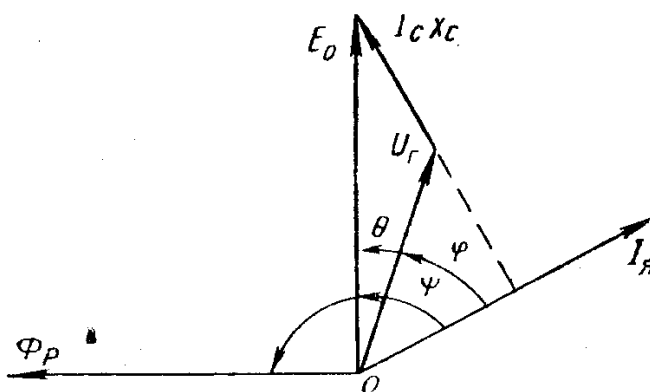
10.8- расм, *б* ва *в* да кўрсатилгандек, якорь реакцияси бўйлама бўлиб, индуктив истеъмолчи ҳолида натижавий магнит оқими, бинобарин ЭЮК ни ҳам камайтиради. Сифимли истеъмолчи ҳолида эса натижавий магнит оқими, яъни ЭЮК ҳам ошади. Юқорида айтилган хулосаларни умумий ҳолда  $-\frac{\pi}{2} <$

$< \varphi < \frac{\pi}{2}$  бўлганда ҳам қўллаш мумкин. Бунда индуктив ток (актив-индуктив истеъмолчи) ЭЮК ни камайтириб, машинани магнитсизлайди, сифим токи (актив-сифимли истеъмолчи) машинани магнитлаб, ЭЮК ни оширади.

### 10.3. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ЭЛЕКТР ҲОЛАТИ ТЕНГЛАМАСИ ВА СОДДАЛАШТИРИЛГАН ВЕКТОР ДИАГРАММАСИ

Синхрон машинадаги магнит оқимларини алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик. Роторнинг магнит оқими статор чулғамида салт ишлаш ЭЮК  $E_0$  ни ҳосил қилса, ротор орқали ва ҳаво

бўшлиғи орқали бирикадиган статор сочилиш оқими сочилиш ЭЮК  $E_c$  ни ҳосил қилади. Якорь реакцияси туфайли ҳосил бўлган магнит оқими эса статор чулғамида якорь реакцияси ЭЮК  $E_a$  ни ҳосил қилади.



10.9- расм.

Статор магнит оқими туфайли пўлат ўзакнинг тўйиниш

таъсирини ҳисобга олмасак ва статор магнит майдон оқими статор токига пропорционал эканлигини ҳисобга олган ҳолда сочилиш ЭЮК ини қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:

$$\bar{E}_c = -j\bar{I}_1 X_c, \quad (1)$$

бу ерда  $X_c$  — статор чулғамининг сочилиш оқими туфайли ҳосил бўлган индуктив қаршилиги.

Якорь реакциясининг ЭЮК ини эса статор чулғамида индукцияланган ўзиндукция ЭЮК деб қараш мумкин:

$$\bar{E}_a = -j\bar{I}_1 X_a, \quad (2)$$

бу ерда  $X_a$  — статор чулғамининг индуктив қаршилиги.

Синхрон генераторнинг электр ҳолати тенгламасини чулғамнинг актив қаршилигини ҳамда (1) ва (2) ларни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 + \bar{E}_c + \bar{E}_a - \bar{I}_1 r_c$$

ёки

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_1 X_c - j\bar{I}_1 X_a - \bar{I}_1 r_c.$$

Сочилиш ЭЮК  $\bar{E}_c$  ва якорь реакцияси ЭЮК  $\bar{E}_a$  ток  $\bar{I}_c$  га нисбатан  $\pi/2$  радианга силжиганлигини ҳисобга олиб, ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_c (X_p + X_c) - \bar{I}_c r_c.$$

Сочилиш оқими ва якорь реакциясини ҳисобга оладиган  $X_p + X_c = X$  катталик синхрон индуктив қаршилик деб аталади. Бинобарин,

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_c X - \bar{I}_c r_c.$$

Генератор номинал юкланганда индуктив кучланишнинг пасаювчи ( $I_c X_c$ ) фаза кучланиши номинал қийматининг  $10 \div 15\%$  ини ташкил этади. Статор чулғамининг актив қаршилиги нисбатан кичик бўлиб, ундаги кучланишнинг пасаюви  $I_c r_c$  генератор номинал юкланганда  $(1 \div 2)\%$  ни ташкил эта-



ди. Шунинг учун актив қаршиликдаги кучланиш пасайишини ҳисобга олмаган ҳолда

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 - j\bar{I}_c X,$$

деб ҳисоблаш мумкин.

Синхрон генераторнинг соддалаштирилган вектор диаграммасини қуриш учун роторнинг магнит оқими вектори  $\bar{\Phi}_p$  ни бошланғич вектор сифатида қабул қилишимиз мумкин. Салт ишлаш ЭЮК ининг вектори  $\bar{E}_0$  эса  $\bar{\Phi}_p$  дан  $\pi/2$  га кечикади.

Статор токи вектори  $\bar{I}_c$  салт ишлаш ЭЮК ининг вектори  $\bar{E}_0$  дан

$$\varphi = \arctg \frac{X + X_n}{r_c + r_n}$$

ифода билан аниқланувчи  $\varphi$  бурчакка кечикади. Бу ерда  $X_n$  ва  $r_n$  генератор юкланишининг индуктив ва актив қаршилиги.

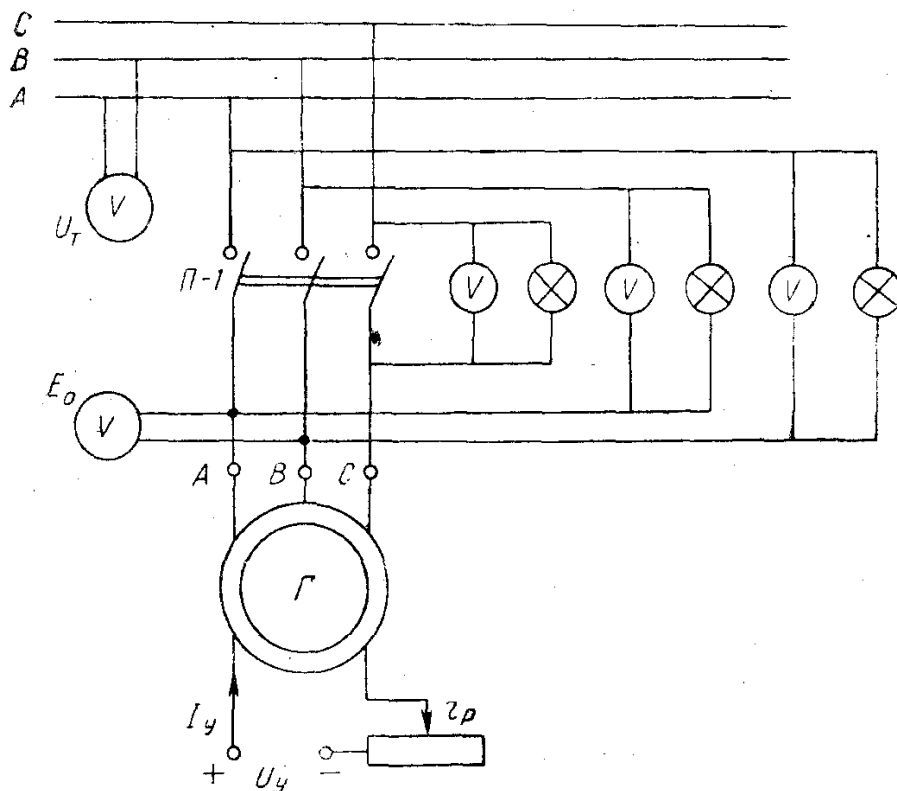
Реактив кучланишнинг пасаяувчи ( $j\bar{I}_c X$ ) ток векторидан  $\pi/2$  бурчакка илгарилаб келади.  $\bar{U}_r$  векторнинг ҳолатини аниқлаш учун  $\bar{E}_0$  охиридан  $\bar{I}_c$  га перпендикуляр туширамиз ва унда реактив кучланиш пасаяуви векторини белгилаймиз. Ҳосил бўлган нуқтани координаталар боши билан бириктириб,  $\bar{U}_r$  кучланиш векторини аниқлаймиз.

Вектор диаграммадаги  $\varphi$  бурчакнинг қиймати юкланиш хусусиятини белгилайди:

$$\varphi = \arctg \frac{X_n}{r_n}$$

#### 10.4. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ТАРМОҚ БИЛАН ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Катта қувватга эга бўлган замонавий электр станцияларида параллел уланадиган бир нечта синхрон генераторлар ўрнатилади. Масалан, Тошкент ГРЭС ида ҳар бирининг қуввати 160 МВт бўлган 12 та турбогенератор ўрнатилган. Асосий sanoat районларида бир нечта электр станциялари ўзаро бирлаштирилиб, йирик электроэнергетик системалар ташкил этилади. Чунончи, Ўрта Осиё энргосистемаси Ўзбекистон, Туркманистон, Тожикистон, Қирғизистон ва Жанубий Қозоғистондаги барча электр станцияларини бирлаштиргандир. Шунинг учун синхрон генераторларнинг ягона (умумий) электр система (ёки тармоқ) учун ишлаши оддий иш режими ҳисобланади. Генераторнинг алоҳида битта ёки алоҳида бир гуруҳ истеъмолчилар учун ишлаши эса кам қўлланилади. Синхрон генераторлар параллел уланганда уларнинг авариясиз ҳамда барқарор ишлашини таъминлаш учун баъзи махсус шартларни бажариш талаб этилади. Биринчидан, генератор тармоққа



10.10- расм.

уланганда токнинг кескин ўзгаришига йўл қўймаслик керак. Акс ҳолда система ҳимоясининг (ёлғондан) ишга тушишига генератор ёки бирламчи двигателнинг тўхтатиб қолишига сабаб бўлади.

Бошқа генераторлар электр энергияси билан таъминлаётган уч фазали тармоққа генераторни улашни энг оддий схемаси 10.10- расмда кўрсатилган.

Тармоқ билан параллел ишлашга уланаётган генератор ЭЮКнинг оний қиймати уланаётган вақтда манба кучланишининг оний қийматига тенг бўлиши керак, яъни:

$$U_m \sin(\omega_1 t - \alpha_1) = E_{cm} \sin(\omega_r t - \alpha_r).$$

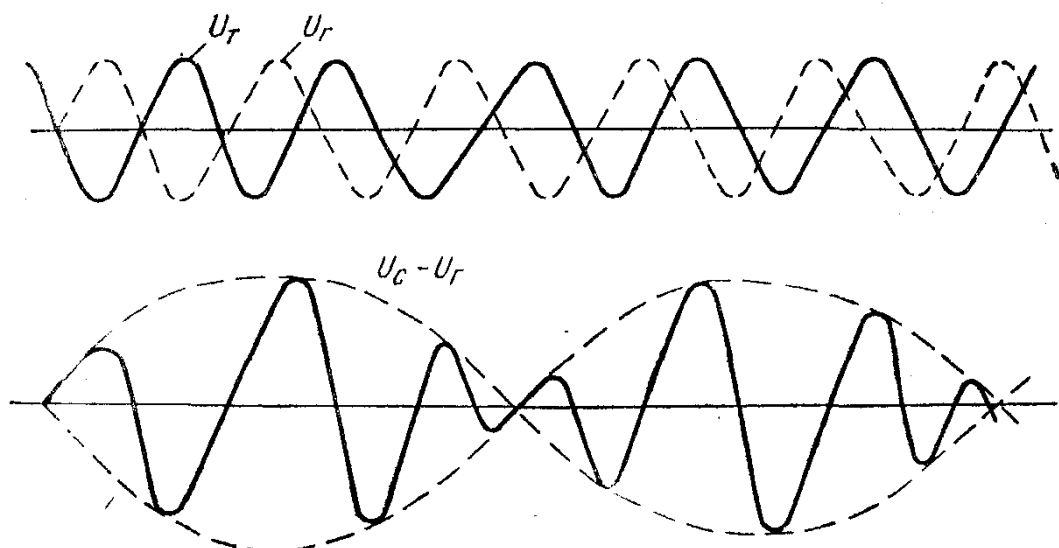
Бу эса қуйидаги уч шарт бажарилганда амалга ошиши мумкин:

— манба кучланиши ва генератор ЭЮК ининг амплитуда ёки эффектив қийматлари ўзаро тенг ( $U_{TM} = E_{GM}$  ёки  $U_T = U_r$ ) бўлиши;

— уларнинг частоталари тенг ( $\omega_T = \omega_r$  ёки  $f_T = f_r$ ) бўлиши;

—  $\vec{U}_T$  ва  $\vec{E}_r$  векторлар фаза жиҳатдан мос тушганда бошланғич фазаларнинг тенг ( $\alpha_T = \alpha_r$ ) бўлиши.

Бундан ташқари, уч фазали генераторларда тармоқ билан генератор учун фазалар алмашиши тартибини мослаштириш керак. Мазкур барча талабларни бажариш *синхронлаш* деб аталади.



10 11- расм.

Уланаётган генераторни синхронлаштириш қуйидагича амалга оширилади. Бирламчи двигателъ ёрдамида генератор тахминан синхрон тезликкача айлангирилади, ростлаш реостати ёрдамида унинг (генераторининг) ЭЮК шундай ўзгартириладики, бунда генератор қисмларига уланган вольтметр манба кучланишига тенг қийматни кўрсатсин. Бунда генераторнинг фазалар кетма-кетлиги тармоқ фазалари кетма-кетлиги билан мос тушиши керак. Рубильник П-1 улашдан олдин генераторнинг частотасини ва ЭЮК ини янада аниқроқ қилиб ростлаш керак. Бундай ростлашда (ростланганликни кўрсатишда) П-1 рубильник қисмаларига уланадиган учта чўғланма лампа ёки учта „нолинчи“ вольтметрлар ишлатилади („сўнишга улаш“ схемаси). Синхрон генератор билан тармоқ синхрон ишлагандагина генератор электр юритувчи кучи билан манба кучланишининг ўзаро тенглигини узоқ муддат таъминлаш мумкин.

Агар  $\bar{E}_0$  билан  $\bar{U}_r$  ўзаро тенг бўлса, рубильникнинг бир номдаги қисмалари орасида потенциаллар айирмаси нолга тенг бўлиб, лампалар ёнмайди. Лекин бундай ҳолда частоталар ўртасида озгина фарқ бўлса, у ҳолда лампалар даврий равишда ўчиб-ёниб туради. Ушбу ҳол учун 10.11-расмда манба кучланишининг оний қиймати (1) ва генератор ЭЮК (2) ҳамда натижавий кучланиш (3) эгри чизиқлари келтирилган.

Генератор частотаси манба частотасига қанча яқин бўлса, лампанинг ёруғлик нури шунча секин тебранади ва (а, в, с нуқталарда) нисбатан узоқ муддат ёниб-ўчади. Айрим ёниб-ўчиш оралиғи нисбатан узоқ (3—5 секунд) бўлганда, лампа тўла ўчган вақтда рубильникни улаш мумкин. Вақтнинг ушбу лаҳзасини аниқ белгилаш учун ноль соҳаси кенгайтирилган „нолинчи“ вольтметрлардан фойдаланилади. Генератор манбага улангандан кейин эса унинг айланишини синхронлаш автоматик тарзда давом этади.

## 10.5. СИНХРОН МАШИНАНИНГ ЭЛЕКТР ТАРМОҒИ БИЛАН ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Синхронлаштириш жараёни тугагандан сўнг, рубильник уланганда электр тармоғига уланган генератор салт ишлаш ҳолатида ишлай бошлайди. Синхрон машинанинг параллел ишлашини тадқиқ қилишда (10.5-расм) генератор қисмаларидаги кучланиш  $\bar{U}_r$  ва манба кучланиши доимо ўзаро тенг бўлган соддалаштирилган вектор диаграммадан фойдаланамиз. Бунда

$$\bar{U}_r = \bar{E}_0 = \bar{U}_T.$$

Бу ҳолда статор токи ( $I_c = 0$ ) нолга тенгдир. Бунга мос келувчи вектор диаграмма 10.12-расмда кўрсатилган.

Тармоққа уланган генератор тармоққа энергия узатиб, тармоқ юкланишининг бир қисмини ўзига қабул қилиши учун уни қандай бошқариш лозимлигини кўриб чиқамиз. Энергиянинг бир занжирдан бошқасига ўтиши учун кучланиш қийматини ўзлаштириш лозим. Бизнинг ҳолда эса генераторнинг қўзғатиш оқимини ва унинг валдаги механик қувватини бошқариш лозим.

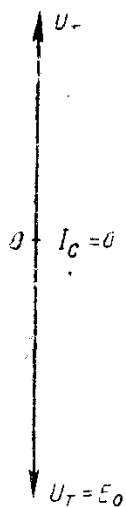
Қўзғатиш занжиридаги реостат ёрдамида қўзғатиш токининг оширилиши асосий магнит майдонининг ва у билан боғлиқ бўлган  $\bar{E}'_0$  нинг ортишига олиб келади. Натижада тенглик  $\bar{U}_r = \bar{E}_0 = \bar{U}_T$  бузилади, яъни

$$\bar{U}_r = \bar{U}_T = \bar{E}'_0 - jI_c X$$

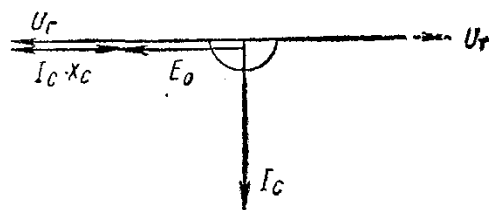
ёки

$$I_c = \frac{\bar{E}'_0 - U_r}{jX}.$$

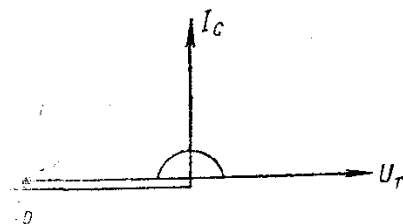
Бундай режим учун хос бўлган вектор диаграмма 10.13-расмда кўрсатилган. Вектор диаграммадан кўриниб турибдики,  $I_c$



10.12-расм.



10.13-расм.



10.14-расм.

ток вектори генератор кучланиши  $\bar{U}_r$  дан  $\pi/2$  бурчакка кечикади ва индуктив характерга эга бўлиб, синхрон машина электр тармоғига реактив қувват беради:

$$Q = 3\bar{U}_r\bar{I}_c \cdot \sin \pi/2 = 3\bar{U}_r\bar{I}_c.$$

Натижада генератор ўта қўзғатилиб, генераторга нисбатан индуктив тенглаштирувчи (электр тармоғига нисбатан соф сифим характеридаги) ток пайдо бўлади. Бу ток индуктив истеъмолчиларни магнитлаш учун сарф бўлади, яъни генератор электр тармоғи реактив юкланишининг бир қисмини ўзига қабул қилади.

Кўрилатган ҳолдаги (яъни  $\varphi = \pi/2$  учун) актив қувват:

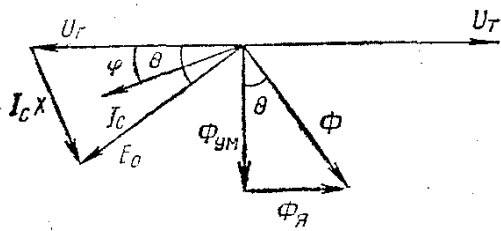
$$P = 3U_r I_c \cos \varphi = 0.$$

Агар қўзғатиш токини камайтирсак,  $\bar{E}_0$  электр тармоғи кучланишидан кичик бўлиб, вектор диаграмма 10.14-расмда кўрсатилгандек бўлади.

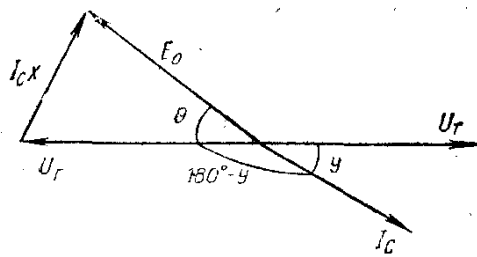
Вектор диаграммада кўрсатилгандек, энди  $\bar{I}_c$  ток вектори ўз йўналишини ўзгартириб, генератор кучланишида  $\pi/2$  бурчакка илгарилаб кетади ёки электр тармоғи кучланишидан  $\pi/2$  га кечикади. Шунинг учун генератор етарлича қўзғатилмаганда генератор кучланишига нисбатан сифим характерга, электр тармоғига нисбатан эса индуктив характерга эга бўладиган тенглаштирувчи ток юзага келади. Реактив қувват ўз ишорасини ўзгартиради ва машина электр тармоғидан ўзини магнитлаш учун реактив қувват истеъмол қила бошлайди, яъни электр тармоғи учун реактив нагрузка бўлиб қолади. Бунда ҳам, биринчи ҳолда кўриб ўтилгандек, актив қувват нолга тенгдир.

Шундай қилиб, генераторнинг қўзғатиш токини ўзгартириш билан унинг реактив қувватини ўзгартириш мумкин, актив қувватни эса қайта тақсимлаш мумкин эмас. Актив қувватни ўзгартириш учун генератор валидаги механик қувватни бошқариш лозим. Бунга, буғ турбинада буғнинг келишини, гидравлик турбинада эса сувнинг келишини бошқарадиган ростлагич (бошқариш қурилмаси) нинг ҳолатини ўзгартириш орқали эришиш мумкин.

Бирламчи двигателнинг қуввати оширилганда роторнинг айлангирувчи моменти ортиб ротор, айланувчи магнит майдондан  $\theta$  бурчакка илгарилаб кетишга ҳаракат қилади.  $\theta$  бурчакни ротор майдони ўқи билан статор умумий магнит майдони ўқи орасидаги бурчак эканлигини кўриб ўтамыз. Бинобарин, роторнинг магнит майдони оқими ҳосил қилган  $\bar{E}_0$  ЭЮК оқим  $\bar{\Phi}_0$  дан  $\pi/2$  бурчакка, генератор кучланиши  $\bar{U}_r$  эса умумий оқим ҳосил қилиб, ундан  $\pi/2$  бурчакка кечиккани учун ротор ва статор магнит майдон ўқлари орасидаги фарқ ( $\theta$  бурчак) электр юритувчи куч ва кучланиш векторлари орасидаги



10.15- расм.



10.16- расм.

бурчакка тенгдир. Механик қувват оширилган ҳол учун (10.15- расм) ток вектори кучланиш векторидан  $\varphi$  бурчакка силжиганлигини кўрамиз. Бунда  $I_C$  токнинг актив ташкил этувчиси нисбатан катта бўлиб, генератор электр тармоғига актив қувват ( $P = 3U_T I_C \cos \varphi$ ) бера бошлайди. Натижада унинг валидаги айлантирувчи момент билан мувозанатлашувчи электромагнит тормоз momenti таъсир эта бошлайди ва роторнинг айланиш тезлиги ўзгармай қолади.

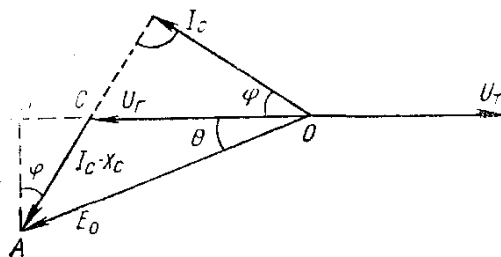
Агар ротор ўқига ташқи тормозловчи момент таъсир этса, роторнинг магнит майдони ўқи, статор майдони ўқидан  $\theta$  бурчакка кечикади. Натижада  $E_0$  вектори  $U_T$  вектордан мазкур бурчакка кечика бошлайди. Вектор диаграммада кўрсатилгандек, (10.16- расм)  $I_C$  ток вектори  $U_T$  кучланиш векторига нисбатан  $(\pi - \varphi)$  бурчакка силжийди. Натижада электр тармоғидан  $P = 3U_T I_C \cos (180 - \varphi) = -3U_T I_C \cos \varphi$  актив қувват истеъмол қила бошлайди, машина эса двигател режимда ишлаб, тормозловчи момент билан мувозанатлашувчи айлантирувчи момент ҳосил қилади.

Шунинг учун электр тармоғига уланган генераторлар актив қувватининг бир қисмини қабул қилиши учун сарф қилинадиган механик қувватни ошириш лозимдир. Агар сунъий равишда машина роторни тормозласак, у автоматик равишда генератор режимдан двигател режимга ўтади.

### 10.6. СИНХРОН МАШИНАНИНГ АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТИ

Синхрон машинанинг соддалаштирилган вектор диаграммасидан фойдаланиб, унинг айлантирувчи моментини аниқлаймиз. Қулайлик учун машинанинг генератор режимда ишлашини кўриб чиқамиз (10.17- расм).

Генераторнинг статоридаги исрофларни ҳисобга олмаган ҳолда генераторнинг роторидан статорига узатилаётган электромагнит қувват генераторнинг электр тармоққа бераётган фойдали қувватига тенг, деб ҳисоблаш мумкин,



10.17- расм.

яъни

$$P = 3U_r I_c \cos \varphi. \quad (3)$$

$\triangle OAB$  ва  $\triangle ABC$  учбурчаклардан

$$AB = I_c X \cos \varphi = E_0 \sin \theta$$

ёки

$$I_c \cos \varphi = \frac{E_0 \sin \theta}{X} \quad (4)$$

(4) ифодани (3) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$P = 3 \frac{U_r E_0}{X} \sin \theta \quad (5)$$

Бирламчи двигатель ёрдамида генераторга берилаётган қувваг:

$$P_{\text{мех}} = \omega_p M. \quad (6)$$

(5) ва (6) ифодаларни ўзаро тенглаштириб, қуйидагига эга бўламиз:

$$M = \frac{P_{\text{мех}}}{\omega_p} = 3 \frac{U_r E_0}{X \omega_p} \sin \theta. \quad (7)$$

Роторнинг бурчак тезлиги эса қуйидагига тенг:

$$\omega_p = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi f}{p} = \frac{\omega}{p}, \quad (8)$$

бу ерда  $\omega = 2\pi f$  — ўзгарувчан токнинг бурчак частотаси (8) ни (7) га қўйсак,

$$M = \frac{3p}{\omega} \cdot \frac{E_0 U_r}{X_c} \sin \theta \text{ Н} \cdot \text{м}$$

га эга бўламиз.

Шундай қилиб, синхрон машинанинг айлантирувчи моменти электр тармоғи кучланишига, статор ЭЮК ига ҳамда статор ва ротор магнит майдони ўқлари орасидаги  $\theta$  бурчак синусига тўғри пропорционал экан.

Машина  $\theta = 90^\circ$  да максимал моментга эришади:

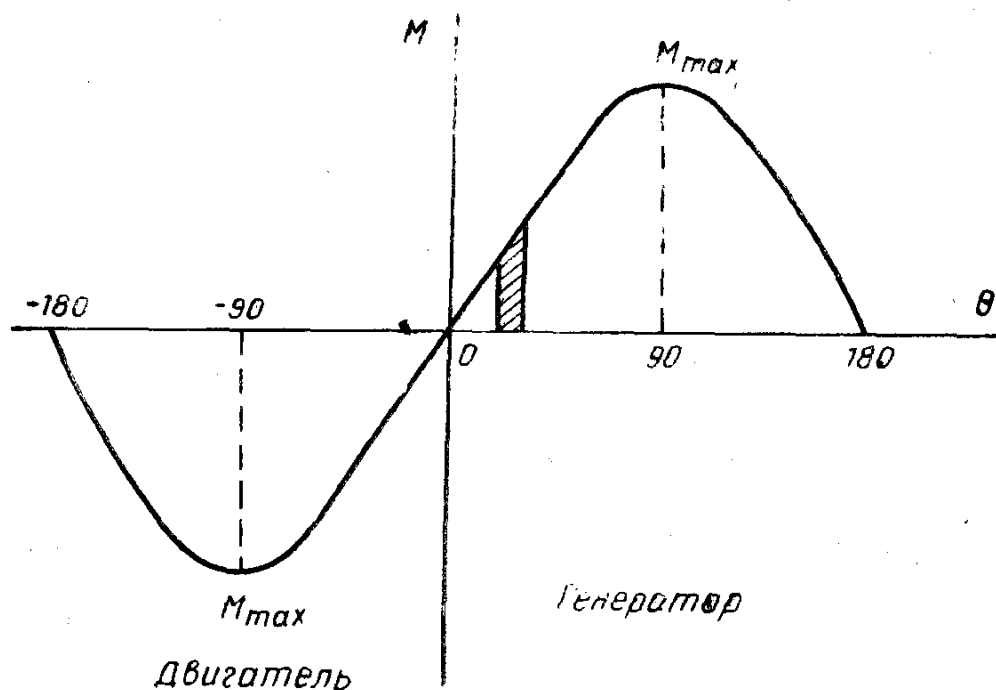
$$M_{\text{мах}} = \frac{3P E_0 U_r}{\omega X}.$$

Умумий ҳолда

$$M = M_{\text{мах}} \sin \theta.$$

Синхрон машинанинг параметрлари ва электр тармоғининг кучланиши ўзгармас бўлганда максимал момент қиймати ЭЮК га, яъни қўзғатиш токига боғлиқ бўлади.

$M(\theta)$  боғлиқлик синусоидал кўринишга эга бўлиб, синхрон машинанинг *бурчак характеристикаси* деб аталади (10.18-расм). Агар  $\theta > 0$  бўлса,  $M > 0$  бўлиб, синхрон машина



Ю.18- расм.

генератор режимида ишлайди, тармоққа электр қуввати узатади ва бирламчи двигатель учун тормозловчи момент ҳосил қила бошлайди.

Генератор режимида  $\theta$  бурчак  $0^\circ$  дан  $\pi/2$  оралиғида ўзгарганда машина барқарор ишлай бошлайди.  $\theta = \pi/2$  дан кейин эса бирламчи двигательнинг айлантурувчи моменти генераторнинг қаршилик моментидан катта бўлиб, генератор беқарор режимида ишлайди, яъни генератор синхронизмдан чиққунча ротор айланиши тезлаша бошлайди ( $\theta$  ортиб боради). Бунда стагор токи генераторни авария ҳолатига келтирадиган даражада ошиб кетади. Генератор номинал юкланганда барқарор ишлаши учун  $\theta \leq \pi/6$  бўлиши керак, бунда момент бўйича иккиланган кафолатга эга бўлади.

Агар  $\theta < 0$  бўлса, электр қувват ва электромагнит момент манфий бўлиб, синхрон машина электр тармоғидан энергия истеъмол қилади ва двигатель режимида ишлай бошлайди. Электромагнит момент машина валига қўйилган тормозловчи момент билан мувозанатловчи момент билан мувозанатлашиб, айлантурувчи моментга айланади.

Двигатель режимида  $\theta$  бурчак  $0$  дан  $-\pi/2$  гача ўзгарганда тезлик барқарор бўлиб,  $\theta$  нинг ортиши айлантурувчи моментнинг камайишига олиб келади, аксинча  $\theta > 90^\circ$  да, тезлик беқарордир.

Тормозловчи момент айлантурувчи максимал моментдан катта бўлганда машина синхронизмдан чиқади, роторнинг айланиши секинлаша бошлайди, стагор токи (истеъмол қилинаётган ток) ошиб кетади, авария ҳолати вужудга келади,



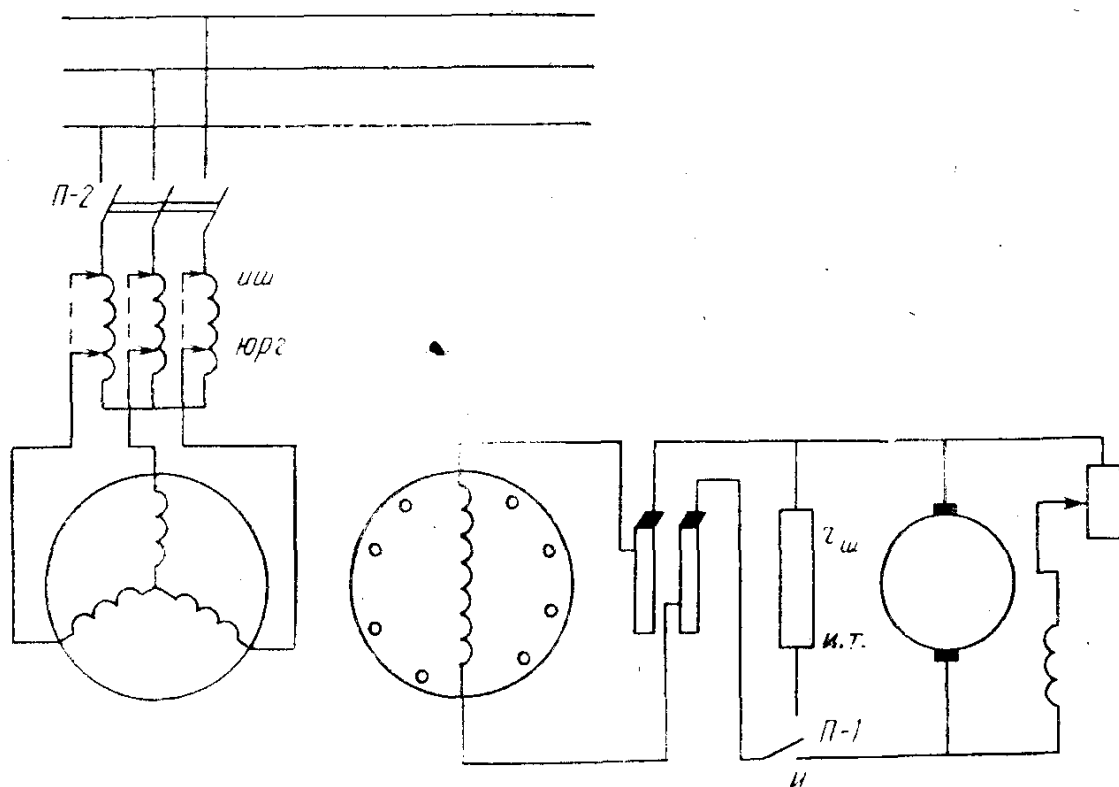
ҳимоя воситаси ишга тушади ва ҳоказо. Агар  $\theta$  бурчак  $\pi/6$  дан ошмаса, синхрон двигателъ номинал юкланиш билан барқарор ишлай бошлайди.

### 10.7. СИНХРОН МАШИНАНИНГ ДВИГАТЕЛЪ РЕЖИМДА ИШЛАШИ. ДВИГАТЕЛНИ АСИНХРОН ҚИЛИБ ИШГА ТУШИРИШ

Тармоқ билан параллел ишлаётган генераторни двигателъ режимига ўтказиш 10.5-§ да кўриб чиқилган эди. Аммо амалда электр станцияларда генераторни двигателъ режимига бундай ўтказиш жуда кам учрайди. Шунинг учун бу ерда фақат двигателъ режимда ишловчи синхрон машинани ишга тушириш масалалари кўрилади.

Жуда катта қувватли синхрон двигателни электр тармоғига тўғридан-тўғри улаб ишга тушириш мумкин эмас. Чунки, агар двигателни тармоқда уланган лаҳзада роторнинг уйғотиш токи нолга тенг бўлмаса, у ҳолда статорнинг айланувчи магнит майдони ва роторнинг қўзғалмас магнит майдони орасида момент вужудга келади ва у роторни маълум томонга буришга ҳаракат килади. Тармоқ ўзгарувчан токининг ярим даврдан кейин статор майдони битта қутб бўлагига бурилади ва статор майдонининг қутблари ўзаро ўрнини алмаштиради. Шунинг вақт давомида эса, ротор механик инерция кучи туфайли ҳатто жойидан қўзғалолмайди ҳам, чунки токнинг ярим даври 0,01 с ни ташкил қилади. Яна ярим даврдан кейин эса статор ва ротор орасида роторни тескари томонга буришга ҳаракат қилувчи момент вужудга келади ва натижада ротор яна жойидан қўзғалмайди. Двигателъ эса бошланғич юргизиш ишга тушириш моментига эга бўлмайди. Демак, синхрон двигателни ишга тушириш учун унинг роторини синхрон тезликка яқин ёки унга тенг тезликкача айлантириш керак. Буни қуввати унча катта бўлмаган махсус айлантирувчи двигателъ ёрдамида амалга ошириш мумкин. Ҳозирги вақтда бундай ёрдамчи двигателлар ишлатилмайди, чунки улар қурилманинг нархини қимматлаштиради ва синхрон двигателларнинг қўлланилишини чеклайди. Ҳозир кўп ҳолларда синхрон двигателни асинхрон двигателъ каби ишга тушириш усули қўлланади. Бунинг учун роторнинг қутб учликларига ўтказгичли стерженлар жойлаштирилади ва уларнинг учлари ҳалқалар билан туташтирилади. Натижада худди асинхрон двигателлардаги каби қисқа туташтирилган чулғам вужудга келади. Баъзи синхрон двигателларда махсус қисқа туташтирилган чулғам бўлмайди, унинг вазифасини эса улкан ротор ўзаги ўтайди.

Синхрон двигателни асинхрон тарзда ишга тушириш 10.19-расмда кўрсатилган. Статорни манбага улашдан олдин роторнинг уйғотиш чулғами қайга улагич II-1 орқали  $r_{ш}$  қаршиликка ўланади (II-1 ни И. т. ҳолатга қўямиз). Шунт қаршилиги



10.19- расм.

$r_{ш}$  ротор чулғамининг актив қаршилигидан  $10 \div 15$  марта катта бўлади. Сўнгра статор чулғами уч фазали ўзгарувчан ток манбаига уланади ва унда айланувчан магнит майдони юзага келади. Мазкур майдоннинг магнит куч чизиқлари роторнинг қисқа туташган чулғамини кесиб ўтади ва унда ЭЮК индукциялайди. Ротор токининг статор магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида айлантириш моменти вужудга келади ва у двигателни синхрон тезлик  $n_1$  дан бироз кичик тезлик  $n_2$  гача айлантиради. Сўнгра роторнинг уйғотувчи чулғами қайта улагич П-1 ёрдамида қаршилиқ  $r_{ш}$  дан ўзиб, уйғотгичга уланади (П-1 ни „И“ ҳолатга қўямиз). Бунда роторнинг ўзгармас магнит майдони статорнинг айланувчи магнит майдони билан ўзаро таъсир этиши натижасида вужудга келган момент двигателни синхронлашга интилади. Натижада двигатель рогори статор магнит майдони билан синхрон айлана бошлайди ( $n_2 = n_1$ ).

Ишга тушириш вақтида ротор уйғотиш чулғамининг қаршилиқ  $r_{ш}$  га уланиши чулғам изоляциясини шикастланишдан сақлайди, чунки уланмаган чулғамда айланувчи майдон жуда катта ЭЮК индукциялаши мумкин. Иккинчи тёмөндан, чулғамни қисқа туташтириш ҳам мақсадга мувофиқ эмас, чунки бунда роторни секинлатувчи жуда катта бир фазали ток вужудга келади.

Синхрон двигателни ишга туширишда ишга тушириш токини камайтириш учун уч фазали автотрансформатордан фой-

даланилади (10.19-расм). Мазкур трансформатор орқали ста-  
торга камайтирилган кучланиш берилади (ишга тушириш ҳо-  
лати). Кучланишни аста-секин ошира бориб, двигателнинг  
сирпаниши энг кичик қийматгача камайтирилади. Сўнгра ав-  
тотрансформатор дастагини „Иш“ ҳолатига ўтказиб, статор  
чулғамига тармоқ кучланишининг тўлиқ берилиши таъминла-  
нади. Ишга тушириш жараёни тугаши (ротор синхрон тезлик-  
да айланиши) билан қисқа туташган ишга тушириш чулғами  
машинанинг ишлашида қатнашмайди, чунки унда ток индук-  
цияланмайди.

### 10.8. СИНХРОН ДВИГАТЕЛДАГИ УЙЎТУВЧИ ТОКНИНГ ТАРМОҚ ТОКИГА ТАЪСИРИ. ДВИГАТЕЛНИНГ U-СИМОН ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Синхрон машиналарнинг иш режимларидан бизга шу нар-  
са маълумки, электр тармоқ билан параллел ишловчи синхрон  
генератор роторининг уйғотувчи токини ўзгартириш билан  
реактив токни, бинобарин, генераторнинг реактив нагрузкасини  
ростлаш мумкин.

Уйғотувчи токнинг ўзгариши синхрон двигателнинг иш  
режимига қандай таъсир қилишини кўриб чиқамиз. Жараён-  
ларни яхшироқ тушуниш учун двигателни ўзгармас юкланиш  
билан ишлайди, яъни двигатель валидаги қаршилиқ momenti  
ўзгармас деб ҳисоблаймиз. Бунда электромагнит қувват вал-  
даги қувватга тенг (исрофларни ҳисобга олмаганда) ва ўзгар-  
мас бўлади:

$$P = 3U_T I_T \cos \varphi = \text{const.}$$

Агар тармоқ кучланиши  $U_T = \text{const}$  бўлса, у ҳолда  $I_T \cos \varphi =$   
 $= I_a = \text{const}$  бўлади.

10.20-расмдан

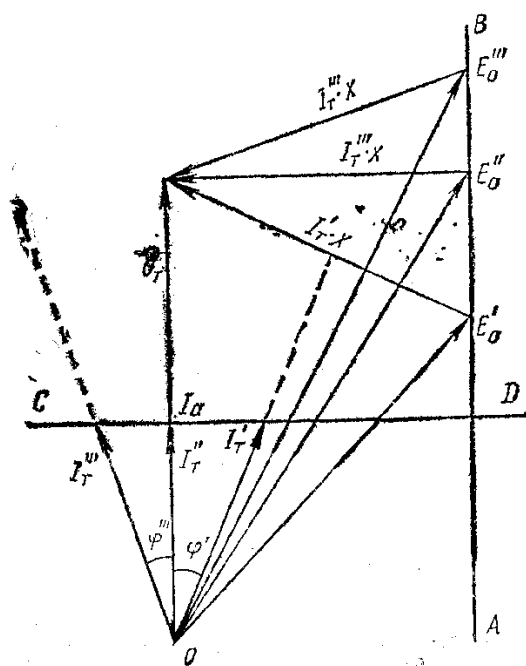
$$I_T X \cos \varphi = E_0 \sin \theta.$$

Синхрон индуктив қарши-  
лик  $X$  ўзгармас, деб ҳисоб-  
ланса, у ҳолда

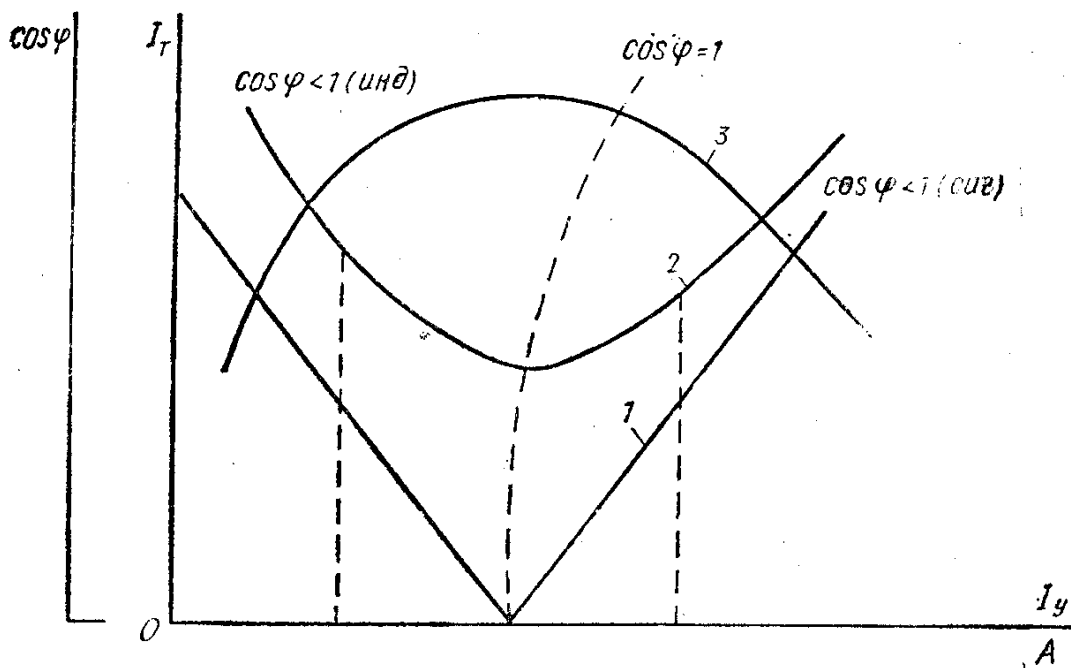
$$I_T \cdot X \cos \varphi = E_0 \sin \theta.$$

Уйғотиш токининг, демак  
ЭЮК  $E_0$  нинг турли хил қий-  
матлари учун синхрон двига-  
телнинг ток ва кучланишлар  
вектор диаграммаларини қу-  
рамиз (10.20-расм). Ишни  
тармоқ кучланиши  $U$  нинг  
векторини қуришдан бошлай-  
миз

Унча катта бўлмаган уйғо-



10.20-расм.



10.21- расм.

тиш токи  $I_y'$  дан, бинобарин  $E_0'$  да тармоқдан қабул қилинаётган ток  $I_T'$  тармоқ кучланиши  $U_T$  дан  $\varphi'$  бурчакка кечикади ( $\varphi' > 0$ ,  $\cos \varphi' < 1$  — индуктив характерда бўлади). Юқорида келтирилган тенгламалардан маълумки уйғотувчи токнинг ҳар қандай қийматларида ЭЮК векторининг охири кучланиш  $U_T$  векторига параллел равишда АВ тўғри чизик бўйича сурилади. Ток векторининг охири ДС тўғри чизик бўйича сурилади. ДС тўғри чизик эса кучланиш векторига перпендикуляр бўлади.

Кўрилган ҳолда двигатель тўйинмаган уйғотиш режимида ишлайди ва тармоққа нисбатан актив-индуктив нагрузка вазифасини ўтайди. Чунки бунда двигатель ўзини магнитланиши учун тармоқдан реактив қувват биргаликда ишласа, ундан ўта уйғонган режимда фойдаланиш керак. Бунда тармоқни реактив ток билан камроқ юклаш ва умумий қурилмаларнинг қувват коэффицентини яхшилаш мумкин бўлади. Двигателнинг тўйинмаган уйғотиш режимида ишлаши тежамлилик жиҳатдан фойдали эмас.

Тармоқ токи билан уйғотиш токи орасидаги  $I_T = f(I_y)$  график боғланиш  $U$ -симон характеристика деб аталади. Синхрон двигательнинг икки хил нагрузка қийматларидаги  $U$ -симон характеристикалари 10.21-расмда кўрсатилган. Характеристикаларнинг чап қисми двигательнинг тўйинмаган уйғотиш режимида, ўнг қисми эса ўта тўйинган уйғотиш режимида ишлашига мос келади. Токнинг энг кичик қийматига  $I_T'' = I_a$ ,  $\cos \varphi = 1$  да эришилади. 1-характеристика машинанинг салт ишлаш режими учун (исрофлар ҳисобга олинмаган) 2-харак-

теристика эса двигатель валида маълум миқдордаги механик *нагрузка*  $P$  бўлгандаги режим учун қурилган. Ушбу координаталар системасидаги эгри чизиқ 2 га тўғри келувчи ўзгармас *нагрузка*да қувват коэффициентининг уйғотиш токига боғлиқлиги  $\cos \varphi = f(I_y)$  ҳам акс эттирилган (эгри чизиқ 3).

#### 10.9. СИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ВА АСОСИЙ СОЛИШТИРМА КЎРСАТКИЧЛАРИ

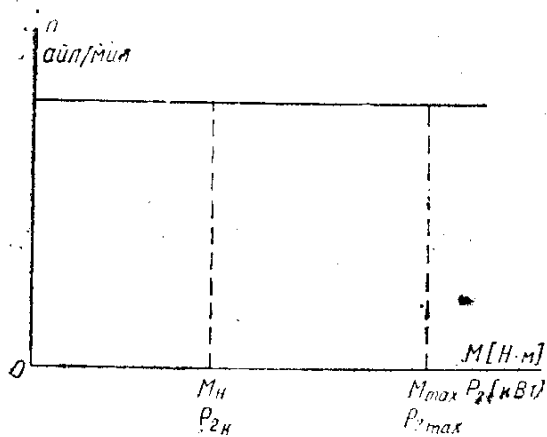
Синхрон двигательнинг ишини баҳолашда унинг иш характеристикаларидан фойдаланилади. Улар мос равишда тезлик  $n$ , айлантирувчи момент қабул қилади.

Уйғотиш токини  $I_y''$  қиймагача оширамиз. Бу қийматга ЭЮК нинг  $E_0''$  миқдори тўғри келади. Вектор диаграммадан кўринадикки, двигатель қабул қилаётган ток  $I_T''$  энг кичик қиймат  $I_a$  гача камаяди ва фазаси бўйича тармоқ кучланишининг фазаси билан бир хил ( $\varphi'' = 0$ ,  $\cos \varphi'' = 1$ ) бўлади. Бу режимда двигатель актив *нагрузка* каби ишлайди, чунки тармоқдан фақат актив қувват қабул қилади.

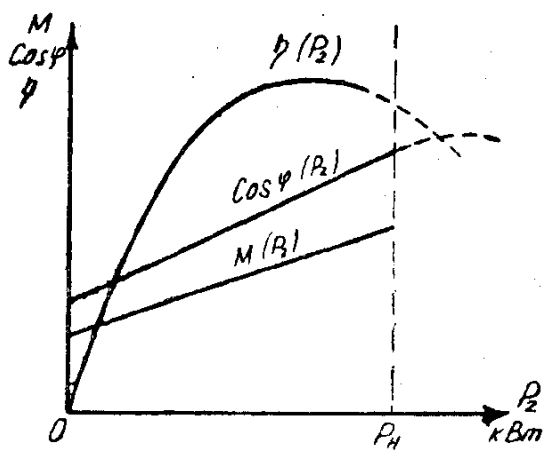
Уйғотиш токини  $I_y'''$  қийматгача оширамиз. Бунда ЭЮК  $E_0$  га тенг бўлади. Тармоқдан қабул қилинаётган ток  $I_T'''$  янада кўпаяди, шу билан бирга тармоқ кучланишидан  $\varphi'''$  бурчакка илгарилаб кетади ( $\cos \varphi''' < 1$  — сиғим характерда). Бунда двигатель ўта уйғонган режимда ишлаб, тармоқ учун актив-сиғим *нагрузка* вазифасини ўтайди ва ортиқча реактив қувватни тармоққа беради. Бу режимда двигательни ташқи қаршилик туфайли зарядланаётган конденсатор, деб қараш мумкин.

Синхрон двигательнинг мазкур учта иш режимидан кўринадикки, уйғотиш токини ўзгартириш билан фақатгина қабул қилаётган ток эмас, балки двигательнинг қувват коэффициенти ҳам ўзгаради. Бундан шундай хулоса келиб чиқади: агар двигатель алоҳида электр тармоғига уланган бўлса у ҳолда уйғотиш токини  $\cos \varphi = 1$  дагидек қилиш мақсадга мувофиқдир. Агар у умумий электр тармоғига уланган бўлса ва асинхрон двигателлар билан  $M$ , қувват коэффициенти  $\cos \varphi$  ва ФИК  $\eta$  нинг двигатель валидаги қувват  $P_2$  га боғлиқ бўлган эгри чизиқлардир. Бунда тармоқ кучланиши  $U$  унинг частотаси  $f$  ва уйғотиш токи  $I_y$  ларнинг қийматлари ўзгармасдир.

Двигатель роторининг айланиш тезлиги  $n = \frac{60f}{p}$  машинанинг ҳамма иш режимларида мутлақо ўзгармас қолади. Двигательнинг механик характеристикаси, яъни тезликнинг юкланиш моментига боғлиқлиги  $n_2 = f(M)$  [ёки  $n_2 = f(P_2)$ ] абсцисса ўқига параллел тўғри чизиқ билан ифодаланади (10.22-расм). Бундай характеристика асинхрон двигательнинг қаттиқ характеристикасидан фарқли ўлароқ мутлоқ қаттиқ деб аталади.



10.22- расм.



10.2 - расм.

Салт ишлашда момент ўзгармаслигини ҳисобга олганда двигателнинг айланиш momenti валлаги фойдали қувватга пропорционал бўлади ( $M = \frac{60P_2}{2\pi n}$ ). Шунинг учун  $M = f(P_2)$  характеристика координаталар ўқининг салт ишлаш momenti  $M$  қийматидан ўтказилган тўғри чизиқни ифодалайди (10.23-расм).  $\cos \varphi = f(P_2)$  нинг ўзгариши машинани уйғотиш усули ва хусусиятига боғлиқ: номинал нагрузкада синхрон двигателлар, одатда, ўзувчи ток билан ишлашга мўлжалланади ва бунда  $\cos \varphi = 0,8 \div 0,9$  бўлади. Демак, машина ўта тўйинган уйғотиш режимда ишлаганда ( $P_2 > P_{\text{ном}}$  бўлганда)  $\cos \varphi$  максимумга эришади. Юкланиш камайганда  $\cos \varphi$  камаяди (10.23-расм).

Синхрон машиналардаги асосий қувват исрофлари статор ва ротор чулғамларидаги ўзаклардаги исрофлардан ҳамда механик исрофлардан иборат:

Статор чулғамидаги исрофлар қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P_{\text{мс}} = m I_{\text{T}}^2 r_{\text{с}},$$

бунда  $m = 3$  — статор чулғамининг фазалар сони;  $r_{\text{с}}$  — битта фазасининг актив қаршилиги.

Роторнинг уйғотиш чулғамидаги исрофлар:

$$P_{\text{мр}} = I_{\text{у}}^2 r_{\text{у}} = U_{\text{у}} I_{\text{у}},$$

бунда  $r_{\text{у}}$  — ротор уйғотиш занжирининг актив қаршилиги;  $U_{\text{у}}$  — уйғотгичнинг кучланиши.

Уйғотгичнинг ФИК  $\eta_{\text{у}}$  ни киритиб, уйғотгичдаги исрофларни ҳисобга олиш мумкин:

$$\Delta P_{\text{му}} = (U_{\text{у}} I_{\text{р}}) / \eta_{\text{у}}.$$

Магнит исрофлар (гистерезис ва уярма тоқлар туфайли ҳосил бўлган исрофлар)  $\Delta P_{\text{у}}$  статор ўзагида статорнинг айланувчи магнит майдони таъсири остида юзага келади. Роторда

магнит исрофлари бўлмайди, чунки у айланма магнит майдон билан синхрон тарзда айланади.

Механик исрофлар ( $\Delta P_{\text{мех}}$ ) двигателнинг подшипниклар, сурилувчи контактлари ва айланувчи қисмларидаги ишқаланиш, шунингдек, ҳаво қаршиликларини енгил туфайли вужудга келади.

Барча қувват исрофларини  $\Delta P$  орқали белгилаб, уч фазали синхрон двигателнинг ФИК қуйидаги ифода билан аниқлаш мумкин

$$\eta = \frac{3UI \cos \varphi - \Delta P}{3UI \cos \varphi},$$

бунда  $U$  ва  $I$  — фаза кучланиши ва токнинг таъсир этувчи қийматлари.

$\eta = \eta(P_2)$  — эгри чизик двигатель номинал юкланганда максимумга эга бўлади (10.23-расм). Катта қувватли машиналар учун  $\eta_{\text{max}} = 96 \div 99\%$ , кичик ва ўртача қувватли машиналар учун  $\eta_{\text{max}} = 88 \div 92\%$  бўлади.

Синхрон двигателлар асинхрон двигателларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга:

1. Қувват коэффициенти  $\cos \varphi = 1$  ҳамда силжиш бурчаги  $\varphi < 0$  (сиғим режими) бўлган ҳолда ишлай олиши. Агар двигатель  $\cos \varphi = 0,8 \div 0,9$  ( $\varphi < 0$ ) билан ишлашга мўлжалланган бўлса, у актив қувватни қабул қилиш билан бир вақтда тармоққа реактив қувват беради (генерациялайди). Бу актив-индуктив нагрузка билан параллел ишлаганда жуда муҳимдир.

2. Двигатель валидаги механик юкланиш салт ишлашдаги максимал чегарасигача ўзгарганида айланишлар сонининг мутлақо ўзгармаслиги.

3. Двигателнинг максимал моменти тармоқ кучланишининг тебранишига кам сезгирлиги, чунки айлантирувчи момент кучланишнинг биринчи даражасига пропорционалдир.

Синхрон двигателларнинг камчиликлари қуйидагилардан иборат:

1. Айланиш тезлигини фақат манба кучланишининг частотасини ўзгартириш билан ростлаш мумкинлиги,

2. Ишга туширишнинг нисбатан мураккаблиги.

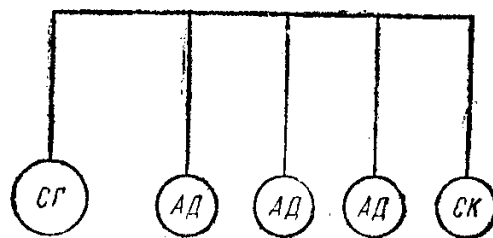
3. Иккита (ўзгармас ва ўзгарувчан) таъминлаш манбаларининг талаб қилиниши.

Синхрон двигателларнинг мазкур камчиликлари туфайли улар асосан, катта қувватли юритмаларда камроқ фойдаланилади. Амалда қуввати 100 кВт дан катта бўлган компрессорлар, насослар, эзиш дастгоҳлари ва бошқа юритмаларда синхрон двигателлардан фойдаланилади.

## 10.10. СИНХРОН КОМПЕНСАТОР

Ўқида юкланиш бўлмаган, яъни режимида ўта тўйинган уйғотиш режимида фақат салт ишловчи синхрон двигатель

синхрон компенсатор деб аталади. У қувват коэффициентини яхшилаш ҳамда тармоқ кучланишини барқарорлаш учун хизмат қилади. Электр тармоқларида индуктив характердаги нагрузка кўп бўлганида бу айниқса муҳим аҳамиятга эга бўлади. Бундай индуктив нагрузкани асинхрон двигателлар, трансформаторлар, реакторлар, реле ва шу кабиларнинг магнитловчи индуктив токлари ҳосил қилади.



10.24- расм.

Агар тармоқда ток  $I$  бўлса, у актив реактив ташкил этувчилар ( $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$ ) дан иборат бўлади. Агар реактив ташкил этувчи оширилса,  $\cos \varphi$  камаяди. Демак, таъминловчи генераторларнинг актив қуввати ва узатиш тармоқларининг ҳамда трансформаторларнинг ўтказиш қобилияти камаяди. Шунинг учун узатиш тармоқларининг индуктив токларини компенсация қилиш мақсадида синхрон компенсаторларни қўллаш мақсадга мувофиқ бўлиб, улар генераторларни реактив токлардан қисман ҳоли қилади (10.24- расм) ва  $\cos \varphi$  ни яхшилайди:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_r - Q_{ск})^2}}$$

Одатда  $\cos \varphi$  ни  $0,92 \div 0,95$  гача оширишга ҳаракат қилинади, чунки уни бирга етказиш компенсатор қувватини жуда кўп оширишни талаб қилади. Бу эса иқтисодий жиҳатдан фойдали бўлмайди. Синхрон компенсатор ёрдамида кучланишни барқарор қилиш токнинг реактив ташкил қилувчисини камайтириш ҳисобига узатиш тармоқларида кучланиш пасаювини камайтириш билан амалга оширилади.

Синхрон компенсаторларни 100 МВА қувватгача ротори яққол намоён қутбли қилиб ва асинхрон ишлатишга мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Компенсаторларнинг механик иш бажариш учун хизмат қилмаслигини ҳисобга олиб, уларнинг ротор ўқлари механик жиҳатдан енгил конструкцияда, герметик қилиб ясалади. Бу эса уларни очиқ жойларга ўрнагиш имкониятини беради.

**1-масала.** Уч фазали синхрон турбогенератор номинал қувват ( $S_{ном} = 10$  МВА,  $\cos \varphi = 0,8$ ) билан  $U_n = 10$  кВ кучланишда ишлайди. Генератор чулғамлари юлдузсимон бириктирилган. Статор фазасининг актив қаршилиги  $r_c = 0,03$  Ом, индуктив қаршилиги  $X = 1,5$  Ом. Жуфт қутблар сони  $p = 1$ . Роторнинг уйғотиш занжиридаги қувват исрофи генератор номинал қувватининг 1% ини, магнит ва механик қувват исрофлари 1,2% ини ташкил қилади. Ток частотаси  $f = 50$  Гц.



Роторнинг айланиш тезлиги  $n$ , генератор ЭЮК  $E_0$  (вектор диаграммадан график ва аналитик усулда), генератор ФИК ва генераторни айлантирувчи турбинанинг номинал қуввати топилсин.

Ечилиши: Генератор роторининг айланиш тезлиги

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ айл/мин.}$$

Генераторнинг номинал токи

$$I_{c \text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{л ном}}} = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} \cong 600 \text{ А.}$$

Реактив кучланишнинг пасаяуви

$$U_p = I_{\text{ном}} \cdot X = 600 \cdot 1,5 = 900 \text{ В.}$$

Бу номинал фаза кучланишининг

$$U_p \% = \frac{U_p}{U_{\phi}} \cdot 100 = \frac{900 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{10000} = 15\%$$

ини ташкил қилади.

Вектор диаграммани қурамиз, бунинг учун „0“ нуқтадан масштабга риоя қилган ҳолда фаза кучланиши  $U_{\phi}$  нинг векторини қўямиз (10.25-расм).

Ток  $I_r$  нинг векторини кечикувчи  $\varphi = 37^\circ$  бурчак билан қўямиз. Бектор  $U_{\phi}$  нинг охиридан ток векторига перпендикуляр чизиқ ўтказамиз ва унга индуктив қаршиликдаги кучланиш пасаяувини қўямиз (актив кучланиш пасаяувини ҳисобга олмаймиз). Координаталар бошини  $U_p$  нинг охири билан туташтирамиз ва ЭЮК вектори  $E_{0\phi} = 6550 \text{ В}$  ни ҳосил қиламиз. Бинобарин,  $E_0 = \sqrt{3} E_{0\phi} = 1,73 \cdot 6550 = 11330 \text{ В}$ .

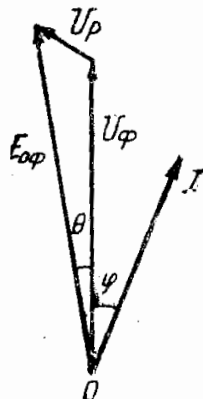
Генератор ЭЮК ини аналитик усулда аниқлаймиз.

Генераторда йўқотилган кучланиш

$$\Delta U \% = U_a \% \cos \varphi + U_p \% \sin \varphi \cong 15 \cdot 0,6 = 9\%.$$

Актив кучланишнинг пасаяувини ҳисобга олмасак,

$$E_{0\phi} = U_{\phi} + \Delta U = \frac{10000}{\sqrt{3}} + \frac{9 \cdot 10000}{100 \sqrt{3}} = 6545 \text{ В.}$$



Бу эса вектор диаграммадан олинган миқдор билан бир хилдир. Генераторнинг ФИК ини ушбу ифодадан аниқлаймиз:

$$\eta \% = \frac{P_{2 \text{ ном}}}{P_{2 \text{ ном}} + \sum \Delta P} \cdot 100.$$

Генератор қисмларидаги фойдали қувват:

$$P_{2 \text{ ном}} = S_{\text{ном}} \cos \varphi = 10000 \cdot 0,8 = 8000 \text{ кВт.}$$

10.2. - расм.

Генератордаги умумий қувват исрофи:

$$\begin{aligned} \sum \Delta P &= \Delta P_c + \Delta P_y + P_{\text{мех+маг}} = \\ &= 3I_{\text{с ном}}^2 r_c + \frac{1\%}{100} S_{\text{ном}} + \frac{1,2\%}{100} S_{\text{ном}} = \\ &= 32,4 + \frac{2,2}{100} \cdot 10000 = 252,4 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Вундан

$$\eta\% = \frac{8000}{8000 + 252,4} \cdot 100\% = 97\%.$$

Генераторни айлантирувчи турбинанинг қуввати:

$$P_{1 \text{ ном}} = P_{2 \text{ ном}} + \sum \Delta P = 8000 + 252,4 = 8252,4 \text{ кВт.}$$

2-масала. Параллел уланган иккита синхрон генератор  $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = 0,6$  бўлганда бир хил нагрузка  $I_1 = I_2 = 400$  А га эга. Уйғотиш токини ва биринчи генератор турбинасининг айлантириш моментини ўзгартириш билан нагрузкаларни қайта тақсимлаш амалга оширилдики, натижада биринчи генераторнинг токи  $I'_1 = 440$  А, унинг қувват коэффициенти  $\cos \varphi'_1 = 1$  бўлди. Иккинчи генераторнинг уйғотиш токини ва бирламчи двигателнинг бераётган қувватини шундай ўзгартириш керакки, натижада улар учун умумий бўлган тармоқ кучланиши  $U = 10$  кВ нинг ўзгармаслиги таъминлансин. Биринчи ва иккинчи ҳолларда ҳар бир генератор орқали тармоққа берилаётган актив қувватлар  $P_1$  ва  $P_2$  аниқлансин. Ҳар бир ҳол учун вектор диаграмма қурилсин.

*Ечилиши.* Умумий токнинг актив ташкил этувчиси

$$I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2 = I \cos \varphi = 400 \cdot 0,6 + 400 \cdot 0,6 = 480 \text{ А.}$$

Биринчи генераторнинг режими ўзгаргандан кейин ундаги токнинг актив ташкил этувчиси:

$$I'_1 \cos \varphi'_1 = 440 \cdot 1 = 440 \text{ А.}$$

Иккинчи генераторнинг режими ўзгаргандан кейин, ундаги токнинг актив ташкил этувчиси:

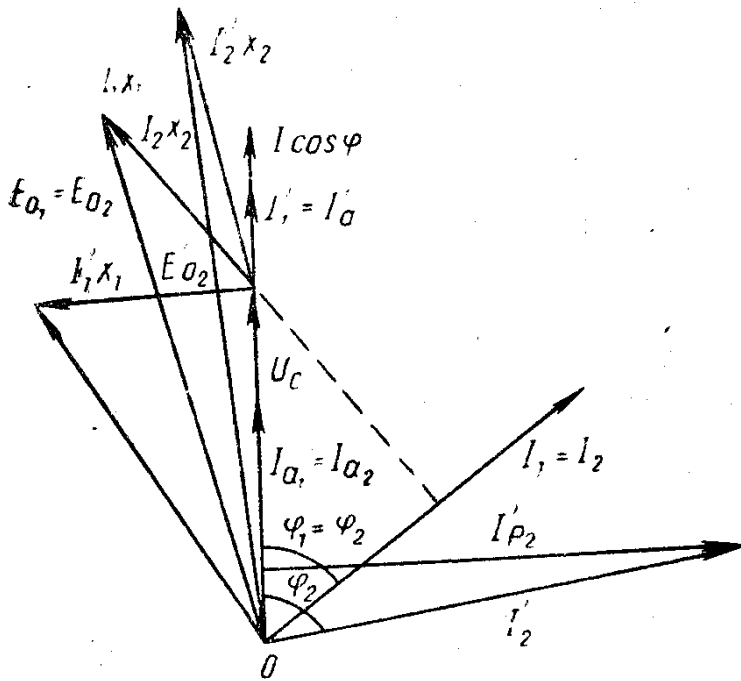
$$I'_2 \cos \varphi'_2 = I \cos \varphi - I'_1 \cos \varphi'_1 = 480 - 440 = 40 \text{ А.}$$

Ўзгарган режимда иккинчи генератор токнинг реактив ташкил этувчиси:

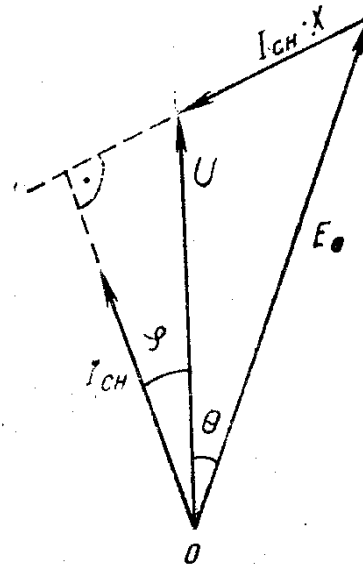
$$I'_2 \sin \varphi'_2 = I \sin \varphi - I'_1 \sin \varphi'_1 = 800 \cdot 0,8 = 640 \text{ А.}$$

Иккинчи генераторнинг ток кучи:

$$I'_2 = \sqrt{(I'_2 \cos \varphi'_2)^2 + (I'_2 \sin \varphi'_2)^2} = 645 \text{ А.}$$



10.26- расм.



10.27- расм.

Иккинчи генераторнинг қувват коэффициенти:

$$\cos \varphi'_2 = \frac{I'_2 \cos \varphi'_2}{I'_2} = \frac{40}{645} = 0,06.$$

Генераторларнинг актив қувватлари:

$$P_1 = P_2 = \sqrt{3} U I_2 \cos \varphi_2 = \sqrt{3} U I_1 \cos \varphi_1 = \\ = 1,73 \cdot 10000 \cdot 400 \cdot 0,6 = 4142 \text{ кВт};$$

$$P'_1 = \sqrt{3} U I'_1 \cos \varphi'_1 = 1,73 \cdot 10000 \cdot 400 = 7612 \text{ кВт};$$

$$P'_2 = \sqrt{3} U I'_2 \cos \varphi'_2 = 1,73 \cdot 10000 \cdot 40 = 692 \text{ кВт}.$$

Текшириш:

$$P = P_1 + P_2 = 4152 + 4152 = 8304 \text{ кВт};$$

$$P' = P'_1 + P'_2 = 7612 + 692 = 8304 \text{ кВт}.$$

Вектор диаграммани қурамиз (10.26- расм).

3-масала. Уч фазали синхрон двигателъ қуйидаги номинал параметрларга эга:  $P_{\text{ном}} = 800 \text{ кВт}$ ;  $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ айл/мин}$ ;  $\eta_{\text{ном}} = 93\%$ ;  $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,9$  ( $\varphi < 0$ ) тармоқнинг линия кучланиши  $U_{\text{л}} = 10000 \text{ В}$ . Статор чулғамлари „юлдуз“ схемада уланган. Уйғотиш токи номинал режимда  $E_0 = 1,3U_{\text{ф}}$  ни ҳосил қилади. Тармоқ частотаси  $f = 50 \text{ Гц}$ .

Қуйидагилар: статорнинг номинал токи; жуфт қутблар со-ни; двигателнинг берилган иш режими учун вектор диаграм-маси қурилсин ва ундан статор чулғамининг реактив қарши-лиги аниқлансин.  $E_0$  қийматлари  $0,8U_{\text{ф}}$ ;  $0,9U_{\text{ф}}$ ;  $1,2U_{\text{ф}}$ ;  $1,5U_{\text{ф}}$

га тенг бўлганда (ўзгармас нагрузкада) векторлар диаграммаси қурилсин ва қабул қилинаётган ток қийматлари ва фаза силжиш бурчаклари  $\varphi$  топилсин;  $U$ -симон характеристика  $I_c = f(I_y)$  ва бурчак боғланиши  $\varphi = f(I_y)$  лар қурилсин. Уйғоштиш токининг айрим қийматлари қуйида келтирилган.

$E_0\%$	58	87	100	120	132
$I_y\%$	50	80	100	150	200

*Ечилиши.* Статорнинг номинал токи

$$I_{c \text{ ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{н}} \eta_{\text{ном}}} = \frac{800 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,93} = 55 \text{ А.}$$

Жуфт қутблар сони:

$$p = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Двигателнинг берилган иш режими учун векторлар диаграммасини қурамиз (10.27-расм). Бунинг учун қуйидагиларни аниқлаймиз:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5800 \text{ В;}$$

$$E_0 = 1,3U_{\phi} = 1,3 \cdot 5800 = 7550 \text{ В;}$$

$$\varphi = \arccos 0,9 = -25^{\circ}.$$

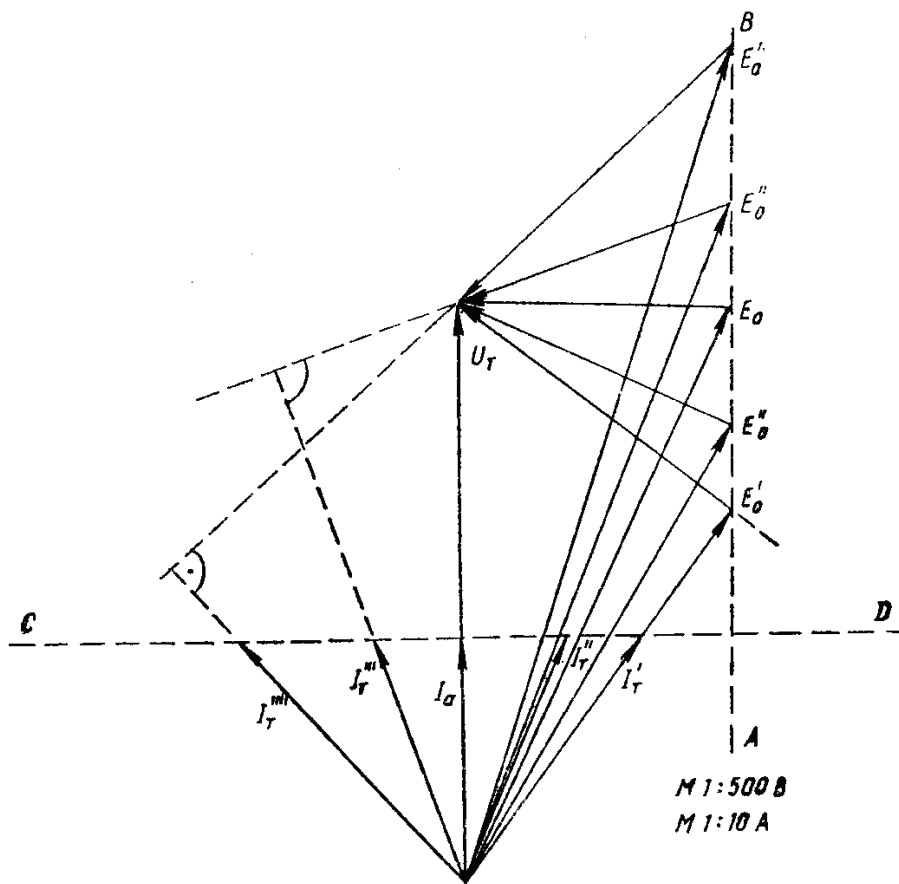
Кучланиш масштабини 1:1000 В, ток масштабини 1:10 А қилиб оламиз.

Ҳосил қилинган миқдор  $I_{c \text{ ном}} - X = 2,75$  см га тенг ёки 2750 В. Бундан

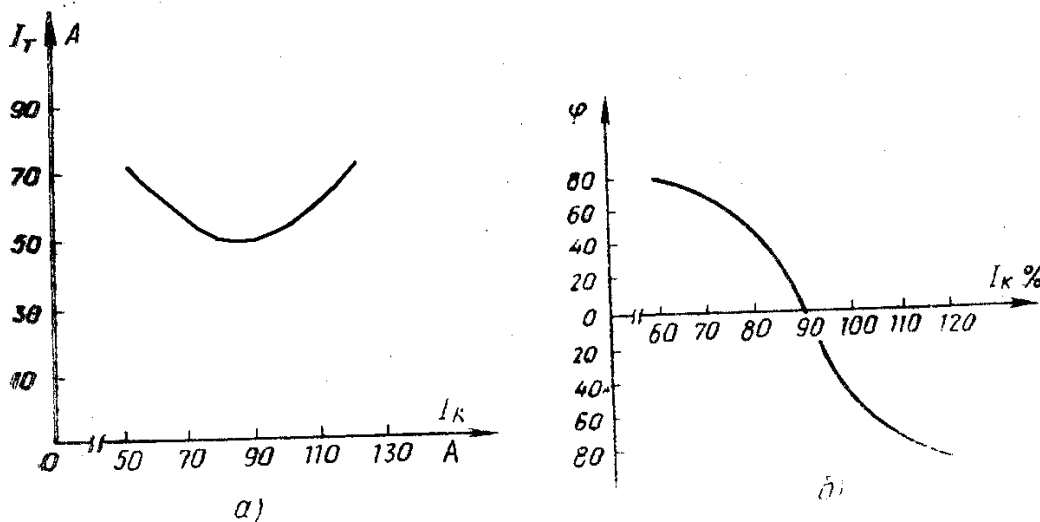
$$X = \frac{2750}{I_{c \text{ ном}}} = \frac{2750}{55} = 50 \text{ Ом.}$$

Берилган қийматлар:  $E_0 = 4650 \text{ В; } 5220 \text{ В; } 6400 \text{ В; } 6960 \text{ В; } 7550 \text{ В; } 8700 \text{ В}$  учун векторлар диаграммасини қурамиз (10.28-расм). Диаграмма бўйича  $U$ -симон характеристикаларни қуриш учун қуйидаги жадвални тузамиз ва ундан фойдаланган ҳолда  $I_c = f(I_y)$  ва  $\varphi = f(I_y\%)$  характеристикаларни қурамиз (10.29-расм).

$E_0$	В	4650	5220	6400	6960	7550	8700
$I_y$	%	61,5	69	85	92	100	115
$I_c$	А	70	58	51	54	55	70
$\varphi$	град	70	50	0	-35	-45	-66



10.28- расм.



10.29- расм.

4- масала. Корхонада умумий қуввати 1000 кВт бўлган асинхрон двигателлар ўрнатилган. Корхонанинг ўртача қувват коэффициенти  $\cos \varphi_{\text{ўр}} = 0,77$ . Электр жиҳозлар подстанциядан линия кучланиши ( $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ ) билан таъминланади. Энергия келувчи симлардаги қувват исрофи  $\Delta P_{\text{л}} = 60 \text{ кВт}$  ни, фаза симининг қаршилиги  $r_{\text{л}} = 0,005 \text{ Ом}$  ни ташкил этади. Қувват коэффициенти  $\cos \varphi' = 0,95$  қиймагача ошириш учун синх-

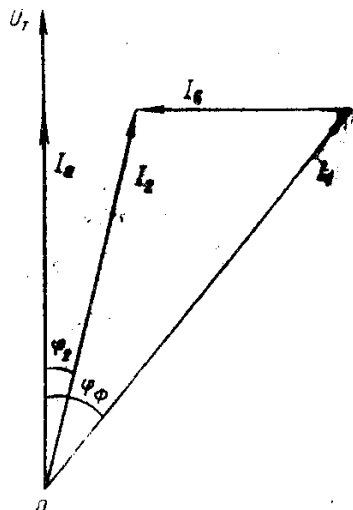
рон компенсатор ўрнатиш мўлжалланган. Агар компенсатордаги актив исрофлар унинг реактив қувватининг 3% ини ташкил қилса унинг тўла қувватини ҳамда компенсатор улангандан кейин энергия келувчи симлардаги қувват исрофини аниқланг.

*Ечилиши.* Компенсаторнинг реактив қуввати

$$Q_{\text{ск}} = P_{\text{ад}} (\text{tg } \varphi_{\text{ўр}} - \text{tg } \varphi') = 1000 (0,84 - 0,33) = 510 \text{ кВАр.}$$

Компенсатордаги актив қувват исрофи:

$$\Delta P_{\text{ск}} = 0,03 Q_{\text{ск}} = 0,03 \cdot 510 = 15,3 \text{ кВт.}$$



10.30- расм.

Компенсацияга қадар линиялардаги ток кучи:

$$I_1 = \frac{P_{\text{ад}}}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{ўр}}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,77} = 1990 \text{ А.}$$

Компенсаторнинг тўла қуввати:

$$S_{\text{ск}} = \sqrt{\Delta P_{\text{ск}}^2 + \Delta Q_{\text{ск}}^2} = \sqrt{15,3^2 + 510^2} = 512 \text{ ВА.}$$

Компенсатор ўрнатилгандан кейин линиялардаги ток кучи

$$I'_1 = \frac{P_{\text{ад}}}{\sqrt{3} U_{\text{л}} \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,95} = 1600 \text{ А.}$$

Ўтказувчи симлардаги компенсация қилинмасдан ва қилингандан кейинги қувват исрофлари:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3 I_{\text{л}}^2 r_{\text{к}} = 3 \cdot 1990^2 \cdot 0,05 = 60 \text{ кВт;}$$

$$\Delta P'_{\text{л}} = 3 (I'_{\text{л}})^2 r_{\text{л}} = 3 \cdot 1600^2 \cdot 0,05 = 38,5 \text{ кВт.}$$

Подстанциянинг қувват бўйича тежамлилиги

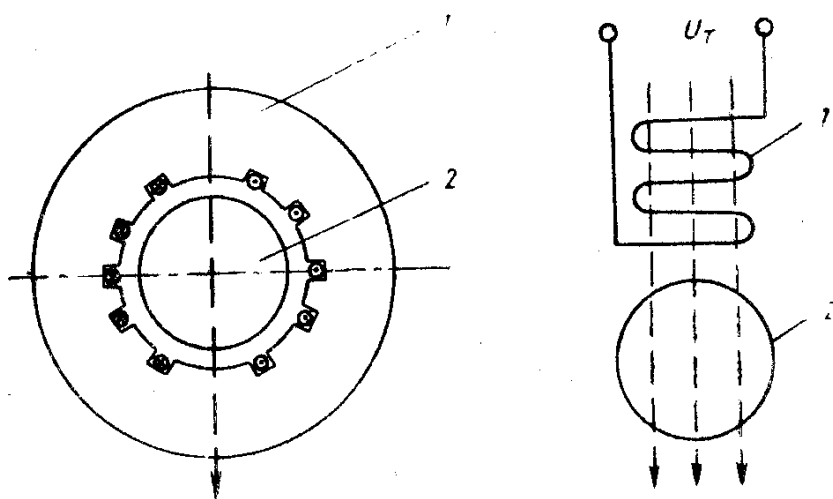
$$P = \Delta P_{\text{л}} - \Delta P'_{\text{л}} - \Delta P_{\text{ск}} = 60 - 38,5 - 15,3 = 6,2 \text{ кВт.}$$

Векторлар диаграммасини қурамиз (10.30- расм).

## 11- б о б. КИЧИК ҚУВВАТЛИ ЭЛЕКТР МАШИНАЛАР

### 11.1. БИР ФАЗАЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

9- бобда кўриб чиқилган уч фазали асинхрон двигателлар конструкциясининг содда ва мукамаллиги, механик характеристикаларининг яхшилиги, айланувчи магнит майдони осонликча ҳосил қилиниши мумкинлиги уларни турли саноат қурилмаларида двигатель тарзида ишлатишга сабаб бўлди.



11.1- расм.

Уч фазали асинхрон двигателлар билан бир қаторда саноатда бир фазали асинхрон двигателлар ҳам кўп ишлатилади. Бир фазали асинхрон двигателларнинг қуввати  $15 \div 600$  Вт бўлиб, уларнинг энергетик кўрсаткичлари, ишлаш хусусиятлари нисбатан пастдир. Шунга қарамай, бир фазали двигателлар автоматик бошқариш қурилмаларида, уй-рўзғор электр асбобларида, вентиляторларнинг электр юритмаларида, насос, компрессор, овоз ёзиш аппаратларида кенг қўлланилади. 11.1-расмда бир фазали асинхрон двигателнинг тузилиши кўрсатилган. Бир фазали двигатель қўзғалмас статор (1) ва қўзғалувчи (айланувчи) қисқа туташтирилган чулғамли ротордан (2) иборат. Статорда кўп секцияли чулғам жойлаштирилган бўлиб, иш фазаси статор пазаларининг учдан икки қисмини эгаллайди. Статор чулғамини бир фазали манбага улаганимизда ўзгарувчан ток пульсацияланувчи магнит майдонини ҳосил қилади. Магнит майдон вектори фазода статорнинг фаза чулғамлари текислигига перпендикуляр йўналган ва қўзғалмас бўлиб, қиймаг ва йўналиши жиҳатдан ўзгарувчан бўлади, яъни двигателда айланувчи магнит майдони ҳосил бўлмайди. Бир фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципини тушуниб олиш учун пульсацияланувчи магнит майдон векторини турли томонга айланувчи иккита бир хил магнит майдон векторларига ажратамиз. Ҳосил бўлган магнит майдонининг амплитуда қийматлари пульсацияланувчи магнит майдони оқимининг ярмига тенг бўлади, яъни бир фазали статор чулғамини фазалар кетма-кетлиги турлича бўлган ва умумий уч фазали манбага уланган иккита уч фазали чулғам билан алмаштираемиз.

11.2-расм, в да фазаларни алмаштириш тартиби кўрсатилган: бирида  $A - B - C$ , иккинчисида  $A - C - B$  статор чулғамларида ҳосил бўлган тўғри ва тескари кетма-кетликда айланувчи магнит майдонлар роторда  $i_{\text{тўғр}}$  ва  $i_{\text{теск}}$  тоқларни индукциялайди. Бинобарин, бир фазали двигателнинг ишлашини

тадқиқ қилишни иккита умумий роторли бир хилдаги уч фазали двигателнинг тадқиқи билан алмаштириш мумкин. Тўғри ва тескари кетма-кетликдаги магнит майдонлари ўзлари ҳосил қилган тоқлар билан ўзаро таъсирлашиш натижасида қиймати тенг бўлган ва қарама-қарши йўналган айлантурувчи момент ҳосил қилади. Натижада двигателда ишга тушириш momenti нолга тенг бўлади. Шунинг учун бир фазали асинхрон двигателни манбага улаганимизда унинг қўзғалмас ротори мустақил равишда айлана олмайди. Бу эса бир фазали асинхрон двигателнинг асосий камчиликларидан ҳисобланади. Бунда двигателни ишга тушириш учун қўшимча қурилма талаб қилинади.

Бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикасини қуришда, кўрилатган иккита „уч фазали“ двигателларнинг механик характеристикаларидан фойдаланилади.

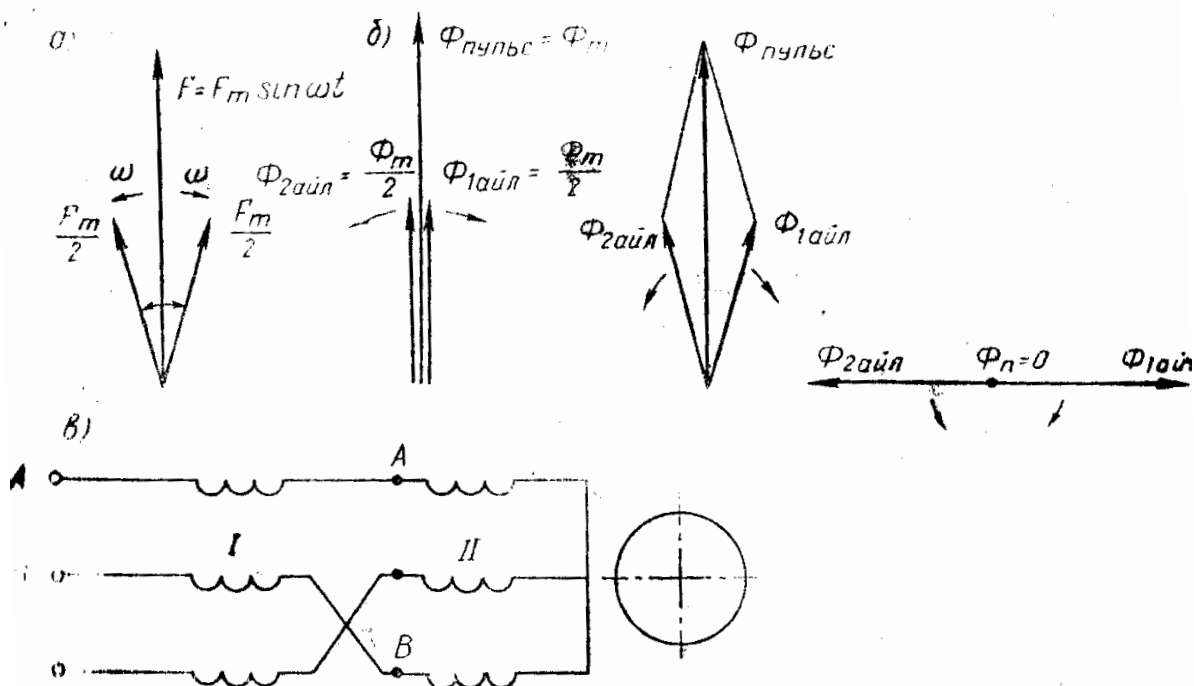
Айланиш йўналиши роторнинг тахмин қилинаётган айланиш йўналиши билан мос тушган магнит майдони „тўғри“, қарама-қарши йўналганини эса „тескари“ деб ҳисоблаймиз. У ҳолда  $\Phi$  тўғри магнит оқимиغا нисбатан роторнинг сирпаниши

$$S_{\text{тўғри}} = \frac{n_0 \text{ тўғри} - n}{n_0 \text{ тўғри}} = \frac{n_0 - n}{n_0} = 1 - \frac{n}{n_0}. \quad (11.1)$$

Демак, двигатель тезлашган сари сирпаниш камаяди, момент  $M$  эса маълум қийматгача ошади.

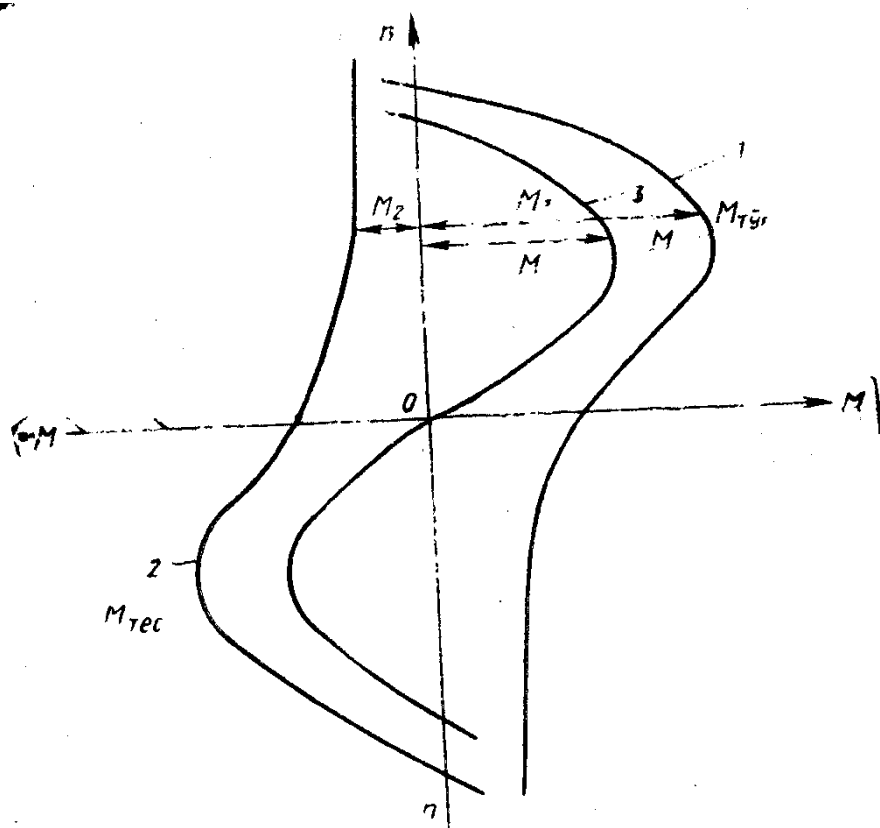
Тескари магнит оқимиغا нисбатан роторнинг сирпаниши эса

$$S_{\text{теск}} = \frac{n_0 \text{ теск} + n}{n_0 \text{ теск}} = \frac{n_0 + n}{n_0} = 1 + \frac{n}{n_0}. \quad (11.2)$$



11.2- расм.





11.3- расм.

(11.1) ни эътиборга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз.

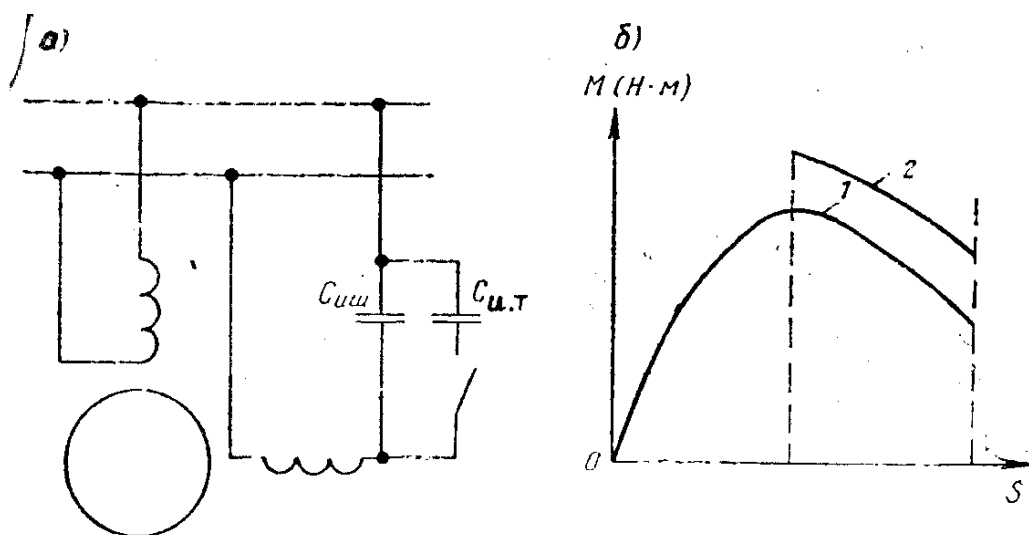
$$S_{\text{теск}} = 2 - S_{\text{тўғри}} \quad (11.3)$$

$S_{\text{теск}}$  нинг ортиши ротор токининг частотаси ҳамда ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ортишига сабаб бўлади, натижада  $M_2$  момент камаяди.

„Тўғри“ ва „тескари“ майдонлар таъсири натижасида ҳосил бўлган умумий айлантирувчи моментнинг қиймати  $M_1$  ва  $M_2$  моментларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлиб, йўналиши қиймати катта момент йўналиши бўйича бўлади. 11.3-расмда „тўғри“ майдон (2- эгри чизиқ) ва бир фазали двигателнинг (3- эгри чизиқ) механик характеристикалари кўрсатилган. Бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикаси (3- эгри чизиқ)дан кўринадики, ротор ташқи куч таъсирида (қўл билан айлантирганда) бирламчи тезланиш олиб, шу куч йўналиши бўйича маълум катталиқдаги момент ҳосил қилиб айлана бошлайди, яъни роторнинг айланиш йўналиши ташқи куч йўналиши билан аниқланади.

Бир фазали двигателнинг механик характеристикаси бўйича қуйидаги хулосаларни айтиш мумкин:

- бир фазали двигатель ишга тушириш моментига эга эмас;
- „тескари“ майдоннинг тормозловчи momenti туфайли двигателнинг салт ишлаш тезлиги уч фазали двигателнинг салт ишлаш тезлигидан кичик;

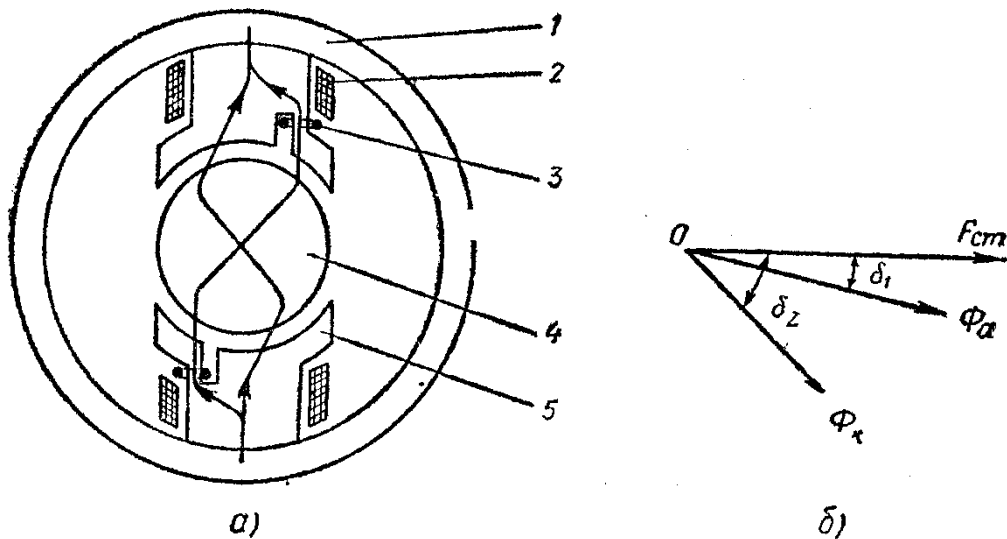


11.4- расм.

— бир фазали двигателнинг юкланиш қобилияти ва ФИК нисбатан кичик.

Статорининг ички сиртидан тўлиқ фойдаланилмагани учун бир фазали двигателнинг қуввати бир хил ўлчамли уч фазали двигател қувватининг тахминан  $2/3$  қисмига тенг бўлади. Чунки бир фазали двигател ишга тушириш моментига эга эмас, яъни уни ишга тушириш учун махсус қурилма керак бўлади. Бир фазали двигателлар статор пазларининг  $1/3$  қисмига жойлаштирилган ва иш чулғами билан  $90^\circ$  бурчак ҳосил қилган ишга тушириш чулғами билан жиҳозланади. Двигателда айлантурувчи момент ҳосил қилиш учун чулғамлар фазода ўзаро  $90^\circ$  га силжиган бўлиши билан бирга, чулғамлардан ўтайдиган тоқлар ҳам вақт бўйича шу бурчакка силжиган бўлиши керак. Бундай силжишни таъминлаш учун ишга тушириш чулғамига кетма-кет тарзда фаза силжитувчи элементлар улаш тавсия этилади. Масалан, сифим  $C$  уланади. 11.4-расмда ишга тушириш чулғами бир фазали двигател схемаси ва тоқларнинг вектор диаграммаси кўрсатилган. Иш ва ишга тушириш чулғамлари манбага уланганда двигателда айланувчи магнит майдони ҳосил бўлади ва двигателнинг ишга тушишини таъминлайдиган айлантурувчи момент роторга таъсир эга бошлайди. Ротор маълум тезланишга эришгандан сўнг ишга тушириш чулғами узиб қўйилади ва двигател бир фазали двигател каби ишлайди.

Ҳозирги пайтда саноатда ишлаб чиқарилаётган бир фазали двигателларда „ишга тушириш“ чулғами ва конденсаторни иш жараёнида ҳам манбадан узмаслик мумкин. Бундай двигателлар конденсаторли двигателлар деб аталади (11.5-расм). Бундай двигателларда ҳар бир чулғам статорнинг ички сиртидаги пазларнинг ярмисини эгаллайди ва иш чулғами ҳисобланади. Чулғам ўқлари фазода  $90^\circ$  га силжиган бўлади. Иш сифими



11.5- расм.

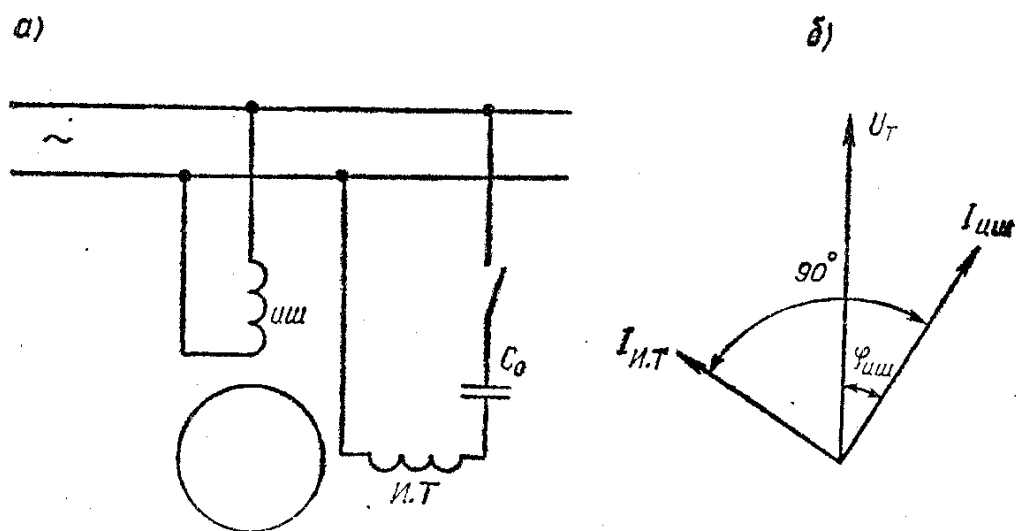
$C_{иш}$  нинг қиймати шундай танланадики, бунда чулғамлардаги тоқлар ўзаро 1/4 даврга силжиган бўлади. Бунда двигателнинг иш жараёнида айланувчи магнит майдони ҳосил бўлиши ҳамда унинг энергетик кўрсаткичлари яхшиланиши таъминланади. Ишга тушириш моментини ошириш, айланувчи майдон ҳосил қилиш учун двигателни ишга тушириш жараёнида  $C_{иш}$  конденсаторга параллел  $C_{и.т}$  конденсатори ҳам уланади. Двигатель ишга тушгандан сўнг айлантурувчи магнит майдон шаклини бузмаслик, қийшайтирмаслик учун конденсатор  $C_{и.т}$  узиб қуйилади. Двигатель номинал тезликнинг 80% ига эришганда ҳамда  $C_{и.т}$  узилгандан сўнг двигателнинг ҳаракати  $I$  эгри чизиқ бўйлаб давом этади. Бу эгри чизиқ катта юкланиш қобиляти ва қувват коэффициентига эга бўлган бир фазали двигателнинг механик характеристикасига мос келади.

Статори аниқ намоён қутбли бўлган бир фазали асинхрон двигателларнинг ҳам конструкцияси мавжуд (11.6- расм). Статор чулғамлари (2) қутбларга маҳкамланган бўлади. Қутб бошмоқларида (4) чуқур пазлар ажратилган бўлиб, унга мисдан ясалган, қисқа туташтирилган ҳалқа (3) ўрнатилади. Двигатель оддий қисқа туташтирилган роторли (5) бўлади. Бунда статор чулғамлари ҳосил қилган магнит майдони оқимини иккита магнит майдони оқимларининг йиғиндиси сифатида кўрсатиш мумкин:

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_0 + \bar{\Phi}_\kappa,$$

бу ерда:  $\Phi_0$  — қутбнинг қисқа туташтирувчи ҳалқа эгалламанган қисмидан ўтувчи магнит оқими;  $\Phi_\kappa$  — қисқа туташтирувчи ҳалқага илакишувчи магнит оқими

Бу оқимлар фазода статор фаза чулғамининг магнитловчи кучига нисбатан фаза жихатдан ўзаро  $\alpha$  бурчакка силжиган



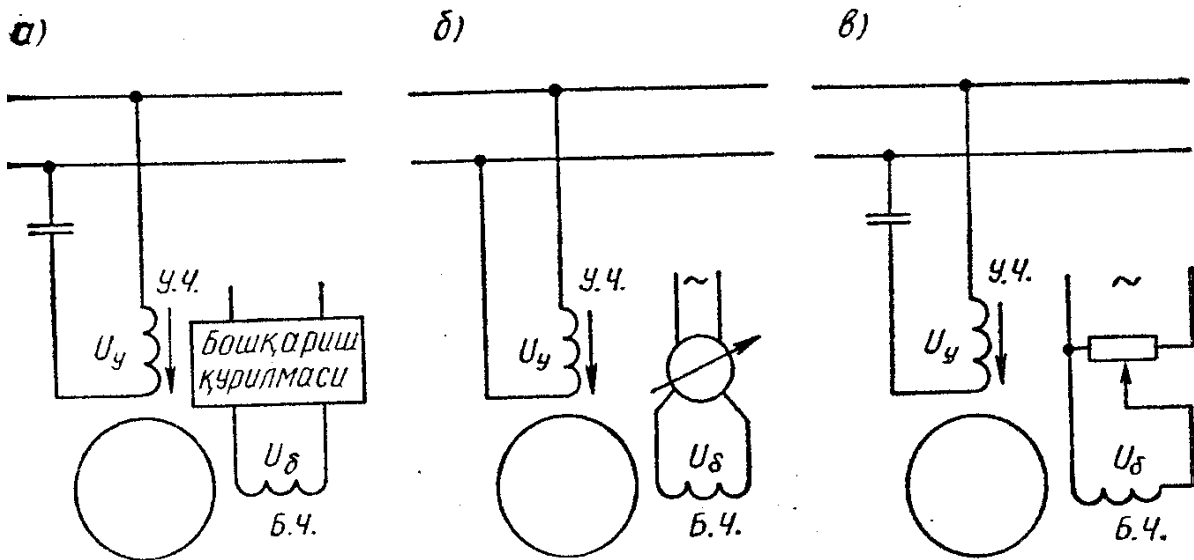
11.6- расм.

бўлади. Чунки  $\Phi_0$  оқим магнитловчи кучдан унча катта бўлмаган бурчакка кечикади,  $\Phi_k$  оқим эса катта иссиқлик ва магнит исрофлари туфайли каттароқ бурчакка ( $45^\circ$  гача) кечикади. Магнит оқимлари ( $\Phi_0$  ва  $\Phi_k$ ) нинг фазода ва фазалари ўзаро силжиган бўлиши роторнинг бир қисқа туташтирилган ҳалқадан иккинчи ҳалқага томон ҳаракатини таъминлайдиган айлантирувчи магнит майдони ҳосил қилади. Бундай двигателлар конструктив тузилиши жиҳатдан содда ва уларни ишлаши қулай бўлади. Аммо қувват коэффициенти, ФИК ва ишга тўшириш моментининг кичик бўлиши уларнинг камчилиги ҳисобланади.

## 11.2. ИККИ ФАЗАЛИ ИЖРОЧИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

Кузатиш системаларда, ҳисоблаш техникасида ва автоматика қурилмаларида электр сигналларни механик ҳаракатга айлантиришга хизмат қиладиган икки фазали асинхрон двигателлар кенг тарқалган. Бундай ижрочи двигателларга барча иш режимларида бошқариш мумкинлиги, механик ва ростлаш характеристикаларининг чизиқли бўлиши, шовқин чиқармаслик, тез ҳаракатланувчанлик каби талаблар қўйилади.

Кичик қувватли икки фазали асинхрон двигателлар (қуввати ваттнинг бир неча улушларидан бир неча юз ваттгача) статтор ички сиртининг ярмини эгаллаган ва ўзаро  $90^\circ$  бурчакка силжиган иккита чулғамга эга бўлади. Чулғамлардан бири доимо бир фазали тармоққа уланган бўлиб, пульсацияланувчи магнит майдони ҳосил қилади ва *уйғотиш чулғами* деб аталади. Бошқа чулғамга эса бошқариш қурилмасидан бошқарувчи сигнал берилиб, айлантирувчи майдон ҳосил қилинади. Бу чулғам *бошқариш чулғами* дейилади. Бошқариш чулғамидаги кучланишни уч хил: амплитудали, фазали ва амплитудали



11.7- расм.

фазали усулда ўзгартириш мумкин (11.7- расм). Амплитудали бошқаришда уйғотиш кучланиши  $U_y$  ўзгартирилмайди, бошқариш кучланиши  $U_\delta$  эса ростланади. Кучланишлар орасидаги фаза силжиши эса  $90^\circ$  бўлиб қолаверади. Ижрочи двигателнинг режимларини тадқиқ қилишни осонлаштириш учун бошқарувчи сигнал коэффициенти тушунчасини киритамиз:

$$\text{амплитудали бошқаришда } K = \frac{U_\delta}{U_y}, \quad (11.4)$$

$$\text{фазали бошқаришда } K = \sin \beta. \quad (11.5)$$

Сигнал коэффициенти машинанинг магнит майдонини характерлайди. Чунончи,  $K = 0$  бўлганда пульсацияланувчи майдон,  $K < 1$  бўлганда эллиптик шаклда айланувчи,  $K = 1$  бўлганда эса айланма магнит майдони ҳосил бўлади.

11.1-§ да кўрилган конденсаторли бир фазали асинхрон двигателни ижрочи двигатель сифатида ишлатиш мумкин эмас, чунки юргизиш чулғамидаги бошқариш кучланиши узилгандан кейин ҳам ротор пульсацияланувчи магнит майдони туфайли айланишини давом эттириши мумкин, яъни двигатель ўз-ўзидан ишлаши мумкин. Натижада уни бошқариш мумкин бўлмай қолади. Бинобарин, двигателни бошқариш имконияти бўлиши ва бир фазали режимда қолиш учун  $M_{\text{теск}} > M_{\text{тўғ}}$  бўлиши керак. Ўз-ўзидан ишлаб кетиш шarti қуйидагича

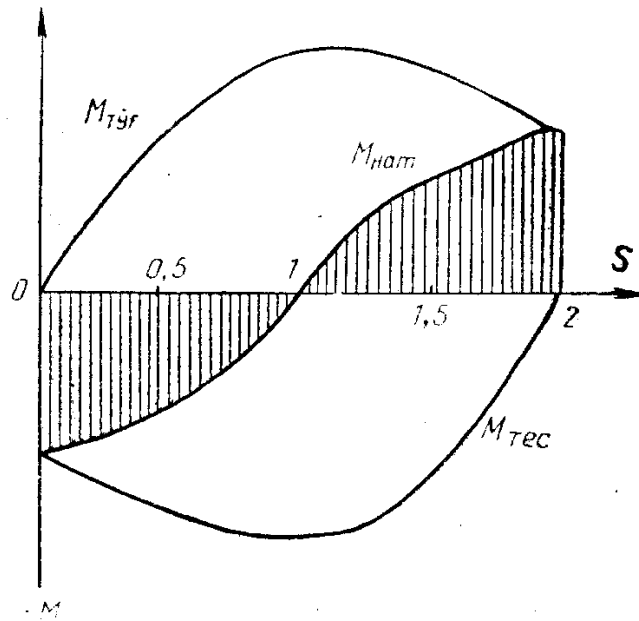
$$M_{\text{нат}} = M_{\text{тўғ}} - M_{\text{теск}} \leq 0. \quad (11.6)$$

Механик характеристикалари бўйича ўз-ўзидан ишламаслик шarti (11.3) ни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$M_{\text{тўғ}}(S) \leq M_{\text{теск}}(2 - S). \quad (11.7)$$

Агар  $S_{кр} \geq 1$  бўлса, (11.7) шарт бажарилади.

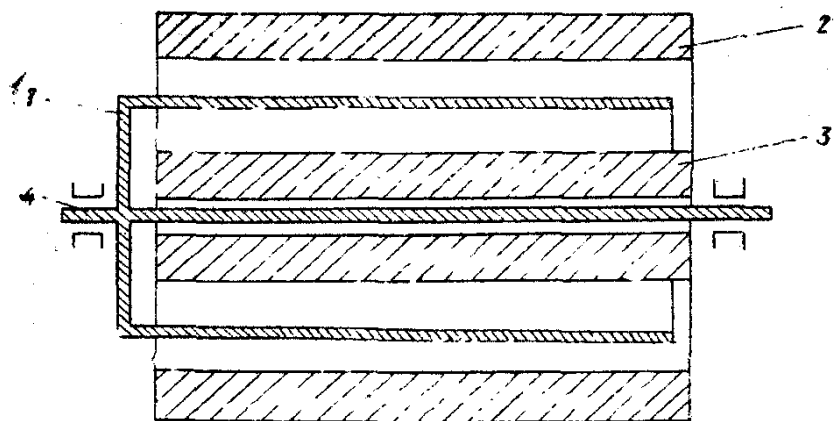
Ижрочи двигателларда  $S_{кр} = 1,1 - 1,2$  бўлганда ўз-ўзидан ишлашнинг олдини олиш мумкин. Бундай шарт ротор стерженларининг актив қаршилиги катта бўлган қисқа туташган роторли асинхрон двигателларда бажарилиши мумкин. Бундай „олма-хон ҳалқали“ ротор стерженлари солиштирма қаршилиги катта бўлган металллар (жез, бронза) дан кўндаланг кесим юзаси кичик қилиб ясалади.



11.8- расм.

Ротор чулғамининг актив қаршилиги катта бўлган бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикаси 11.8-расмда кўрсатилган. Сирпаниш  $0 < S < 1$  оралиқда ўзгарганда „тескари“ майдон momenti „тўғри“ майдон momentидан катта бўлади, натижада двигатель бир фазали иш режимида тўхтайдди ва ўз-ўзидан ишламайди. Икки фазали режимда эса, бошқарувчи кучланиш таъсир этганда машинада айланма магнит майдони ҳосил бўлади ва тормоз режимида, яъни  $S_{кр} \geq 1$  бўлганда машина максимал моментга эришади. Бундай двигатель айланиш тезлигининг барча оралиғида барқарор ишлайди, ammo роторнинг массаси туфайли катта инерция momenti юзага келади ва ижрочи двигателнинг тезкорлиги камаяди.

Ротори номагнит юмшоқ металл (алюминий қотишмаси) дан ковак цилиндр шаклда ясалган двигателлар яхши хусусиятга эга бўлади. Бундай двигателнинг статори икки қисмдан иборат бўлади; ташқи қисми пўлатдан ковак цилиндр 2 шаклда, ички қисми эса оғир пўлатдан цилиндр 3 шаклда ясалади. Статорнинг иккала қисми ҳам пермалой япроқчалардан йиғилган бўлиб, статор чулғами ташқи ёки ички ўзакда, ёки ҳам ташқи, ҳам ички ўзакда жойлаштирилади. Кичик инерцияли номагнит ротор 1 вал 4 га ўрнатилган бўлади. Статор чулғамларидан ток ўтганда айланма магнит майдони ҳосил бўлиб, роторда ЭЮК индукцияланади. Бу ЭЮК роторда айланма магнит майдони билан ўзаро таъсирлашувчи уюрма ток ҳосил қилади. Натижада айлангирувчи момент ҳосил бўлади. Уюрма тоқлар роторнинг юқори сиртидан ўтгани учун унинг актив қаршилиги анча кўпаяди.



11.9- расм.

Ижрочи асинхрон двигатель роторининг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун амплитудали бошқаришда сигнал фазасини  $180^\circ$  га ўзгартириш, фазали бошқаришда эса уйғотиш кучланиши  $U_y$  нинг фазасидан бошқариш кучланиши  $U_b$  нинг фаза жиҳатдан илгарилаб кетишини таъминлаш керак (агар реверслашдан олдин бошқариш кучланиши фаза жиҳатдан  $U_y$  дан кечиккан бўлса).

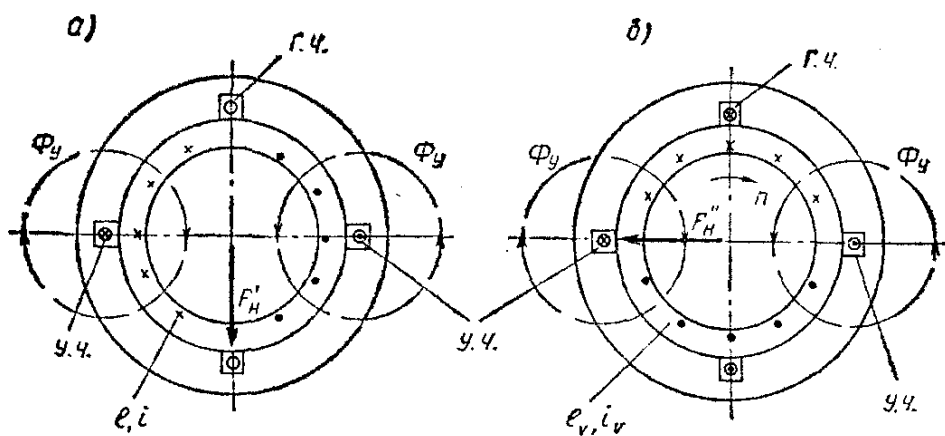
### 11.3. АСИНХРОН ТАХОГЕНЕРАТОРЛАР

Автоматика қурилмаларида икки фазали асинхрон двигателлардан айланма ҳаракатдаги механик энергияни электр энергиясига айлантирувчи асбоб, яъни механизмлар ўқининг айланиш тезлигини ўлчаш учун ишлатиладиган *тахогенератор* сифатида фойдаланиш мумкин.

Тахогенераторнинг характеристикаси чизиқли бўлиб, ундаги чиқиш кучланиши билан айланиш тезлиги орасидаги боғлиқликни ифода этади, яъни

$$U = K \cdot n. \quad (11.8)$$

Асинхрон тахогенераторнинг тузилиши ковак роторли ижрочи двигателнинг тузилиши билан бир хилдир. Статордаги битта чулғам уйғотиш чулғами ҳисобланиб, манбага уланади. Иккинчиси генератор ёки чиқиш чулғами ҳисобланиб, нагрузкага ёки индикаторга уланади. Частотаси  $f$  бўлган тармоқ токи уйғотиш чулғамидан оқиб ўтиб, пульсацияланувчи магнит майдонини ҳосил қилади. Пульсацияланувчи майдоннинг ўқи уйғотиш чулғамининг ўқи билан мос тушади. Қўзғалмас роторда ушбу магнит майдони трансформатор ЭЮК ва токи деб аталувчи  $e_r$  ва  $i_r$  ни индукциялайди. Роторнинг актив қаршилиги катта бўлгани туфайли фаза жиҳатдан  $e_r$  билан мос тушади ва роторни магнитловчи куч  $F'_p$  трансформатордаги каби пульсацияланувчи магнит оқими йўналиши бўйича таъсир эта-



11.10- расм.

ди. Уйғотиш чулғамига нисбатан  $90^\circ$  силжитиб жойлаштирилган генератор (чиқиш) чулғамида  $\Phi_y$  оқимни ЭЮК индукцияламайди ва чиқиш кучланиши нолга тенг бўлади (11.10- расм, а). Ротор  $n$  тезлик билан айлантирилганда (11.10- расм, б) унда трансформатор ЭЮК идан ташқари, айланиш ЭЮК  $e_v$  ҳам индукцияланади ва айланиш токи  $i_v$  ҳосил бўлади.

Ротордаги тоқлар кўндаланг ўқ бўйича йўналган магнитловчи куч  $F_p''$  ва оқим  $\Phi_p$  ҳосил қилади. Генератор (чиқиш) чулғамида бу оқим ЭЮК индукциялайди:

$$E_r = 4,44 f_1 \omega_r K_r \Phi_{pm}, \quad (11.9)$$

бу ерда  $\omega_r$  — генератор чулғамидаги ўрамлар сони,  $K_r$  — генератор чулғамининг коэффиценти.

(11.9) ифодадаги  $f_1$  (генератор чулғамининг ЭЮК частотаси) роторнинг айланиши тезлигига боғлиқ бўлмайди.

Чиқиш кучланишининг механизм (ротор) айланиш тезлигига боғлиқ ифодасини йўл қўйилиши мумкин бўлган хатоликлар (магнит занжирида тўйиниш йўқлиги, ҳаво бўшлиғи магнит қаршилигининг қиймати ва ҳ.) ни ҳисобга олган ҳолда келтириб чиқариш мумкин:

$$U_{\text{чиқ}} \approx E = C \Phi_{pm} = C_1 F_p'' = C_2 e_v = C_3 V_2 = Kn, \quad (11.10)$$

бу ерда  $V_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$  — роторнинг айланиш тезлиги;  $C$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $K$  — доимий пропорционаллик коэффицентлари.

Мавжуд тахогенераторларда (11.10) ифода айрим хатоликлар туфайли ночизиқлидир.

Тахогенераторларга қуйидаги талаблар қўйилади:

— айланиш тезлиги билан чиқиш кучланиши ўртасида аниқ пропорционалликни таъминлаш;



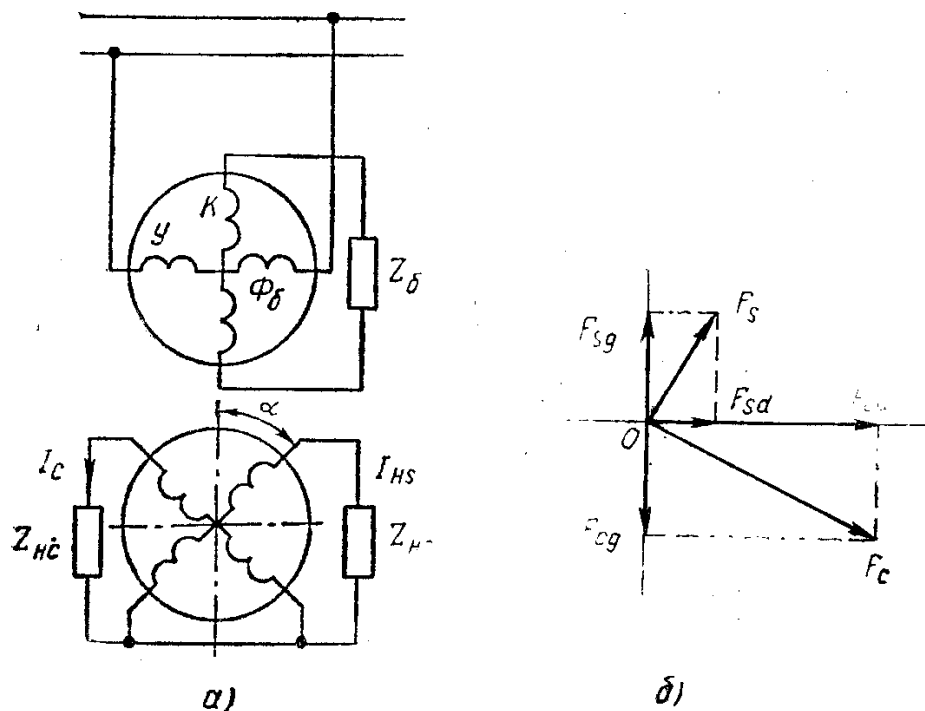
- температура ва намлик ўзгарганда ҳам ишлашининг ишончли бўлиши;
- юқори даражада тезкорликни таъминлаш;
- тузилиши содда, оғирлиги ва ўлчамлари кичик бўлиши.

#### 11.4. БУРИЛИШ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИ

Бурилиш трансформаторлари роторнинг бурилиш бурчаги  $\alpha$  ни кучланишга айлантириб берувчи, қуввати бир неча ваттдан иборат бўлган микромашиналардир. Статик трансформаторларда иккиламчи кучланиш амплитудаси қийматини ўзгартириш учун бирламчи кучланиш амплитудасини ўзгартириш керак бўлса, бурилиш трансформаторларида иккиламчи кучланиш амплитудаси роторнинг бурилиш бурчагига пропорционал бўлади. Бурилувчи трансформаторлар автоматик кузатиш системаларида, ҳисоблаш қурилмаларида алгебраик, геометрик ва тригонометрик масалаларни ечишда ишлатилади.

Тузилиши жиҳатдан бурилувчи трансформаторлар контакт ҳалқали асинхрон машиналарга ўхшайди. Статори электротехник пўлат япроқчалардан ковак цилиндр шаклда йиғилган бўлиб, ўзаро перпендикуляр жойлаштирилган иккита чулғамга эга бўлади. Ротори ҳам электротехник пўлат япроқчалардан барабан шаклда йиғилган бўлиб, ташқи занжир билан контакт ҳалқалар ва чўтка ёрдамида уланган иккита чулғамдан иборат.

Статор ва ротор чулғамларининг уланиш схемаларига кўра, чиқиш кучланиши ротор бурилиш бурчагининг синусига, косинусига ёки бурилиш бурчаги  $\alpha$  га пропорционал (чизиқли



11.11-расм.

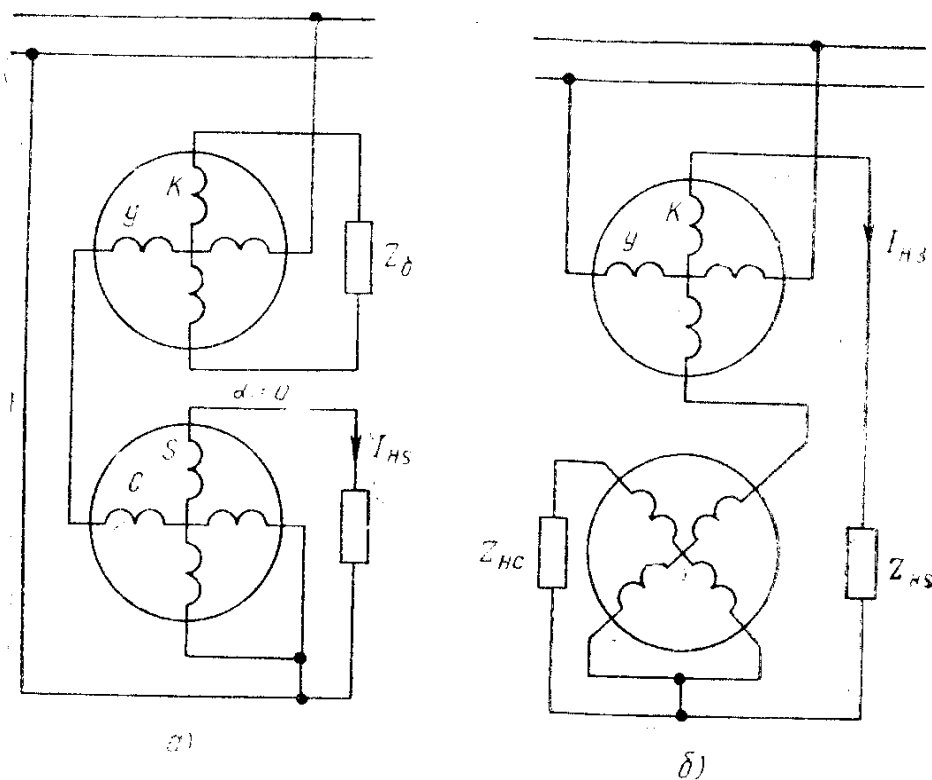
трансформатор) бўлади. Синус-косинусли бурилувчи трансформаторнинг (СКБТ) ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз. Бундай трансформаторнинг электр схемаси 11.11-расмда кўрсатилган. Статорнинг уйғотиш чулғами  $U$  ни ўзгарувчан ток манбаига уласак, трансформаторда пульсацияланувчи бўйлама магнит оқими  $\Phi_6$  ҳосил бўлади. Бу оқим чулғам  $s$  (синусли) ва  $c$  (косинусли) ларда ЭЮК ни индукциялайди:

$$\left. \begin{aligned} E_s &= K U_T \sin \alpha, \\ E_c &= K U_T \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (11.11)$$

бу ерда  $K = \frac{\omega_p}{\omega_{ст}}$  — статордан роторга трансформация коэффициенти;  $\omega_p$  ва  $\omega_{ст}$  — ротор ва статор чулғамларининг ўрамлар сони;  $U_T$  — тармоқ кучланиши.

(11.11) га асосан чулғамлардаги  $I_c$  ва  $I_s$  тоқлар ҳамда  $Z_{нс}$  ва  $Z_{нс}$  нағрузка қаршилиқлардаги кучланишлар ҳам  $\cos \alpha$  ва  $\sin \alpha$  га пропорционал бўлади. Ротор тоқлари пульсацияланувчи МЮК  $F_s$  ва  $F_c$  ларни ҳосил қилади. Бу МЮК ларни ташкил этувчиларга ажратиш мумкин:  $F_{cd}$  ва  $F_{sd}$  — бўйлама ўқ бўйича ва  $F_{cq}$  ва  $F_{sq}$  — кўндаланг ўқ бўйича (11.11-расм, б). Бўйлама ўқ бўйича пульсацияланувчи МЮК оддий трансформатордаги каби уйғотиш чулғамининг МЮК билан мувозанатлашади. Ротор МЮК ининг кўндаланг ташкил этувчиси эса мувозанатлашмайди ва ротор чулғамларида ЭЮК индукцияловчи пульсацияланувчи магнит оқими ҳосил қилади. Натижада  $\sin \alpha$  ва  $\cos \alpha$  билан чиқиш кучланиши орасидаги пропорционал боғланиш бузилади. Чиқиш кучланиши билан бурилиш бурчаги орасидаги мувофиқ боғлиқликни ҳосил қилиш учун ротор МЮК ининг кўндаланг ташкил этувчисини компенсациялаш керак. Компенсациялашнинг икки хил: бирламчи (статор томонидан) ва иккиламчи (ротор томонидан) усули мавжуд. Компенсациялашнинг бирламчи усулида статор чулғами  $k$  унча катта бўлмаган балласт қаршилигига  $Z_6$  га тўғридан-тўғри уланади. Иккиламчи компенсациялашда эса ротор чулғамларига бир хил нағрузка қаршилиги уланади  $Z_{нс} = Z_{нс}$ . Бунда роторнинг кўндаланг магнит оқими нолга тенг бўлиб, хатолик бўлмайди. Одатда, компенсациялашнинг иккала усули ҳам қўлланилади, чунки иш вақтида нағрузка қаршилигининг тенглигини таъминлаш қийин бўлади. СКБТ дан фарқли ўлароқ, чизиқли бурилувчи трансформатор (ЧБТ) ларда чиқиш кучланиши роторнинг бурилиш бурчаги  $\alpha$  билан чизиқли боғланган  $U_{чик} = f(\alpha)$ . ЧБТ ни ҳосил қилиш учун машина чулғамлари бирламчи компенсациялаш схемаси бўйича (11.12-расм, а) ёки иккиламчи компенсациялаш схемаси бўйича (11.12-расм, б) уланади. 11.12-расмда кўрсатилгандек,  $k$ ,  $c$ ,  $s$  чулғамлардаги кучланиш пасаюви ҳисобга олинган ҳолда, чиқиш кучланишини синус чулғамидан олиш мумкин:

$$U_{чик} = K U_T \frac{\sin \alpha}{1 + K \cos \alpha}.$$



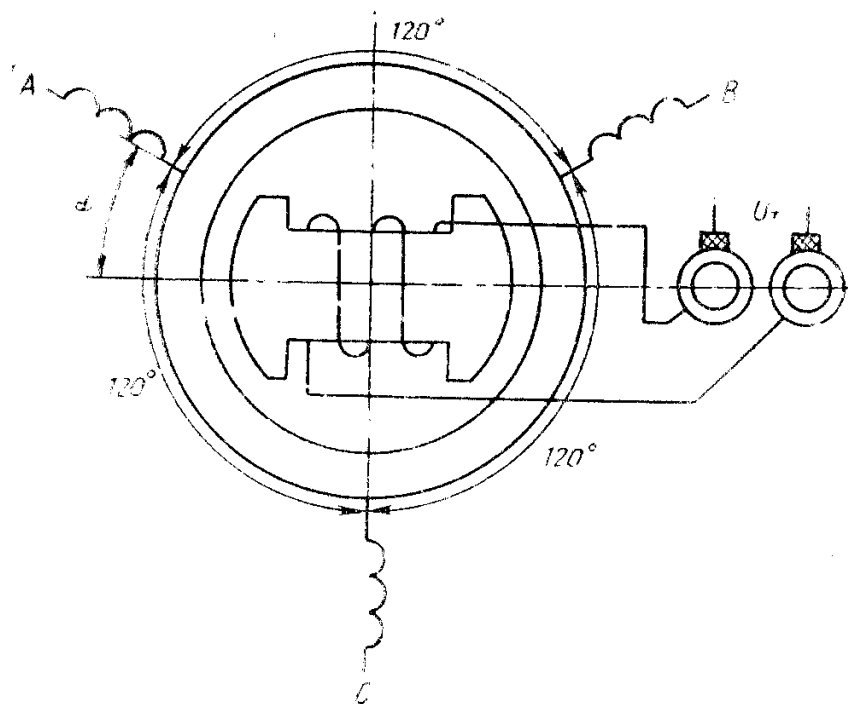
11.12- расм.

Агар  $K = \frac{\omega_p}{\omega_{ст}} = 0,52 \div 0,56$  ва  $\alpha = \pm 55^\circ$  бўлса, чиқиш кучланиши бурилиш бурчагига пропорционал бўлади ( $U_{чик} = KU_T \cdot \alpha$ ). Юқори аниқликдаги яропорционаллик  $\alpha = \pm 30^\circ$  да таъминланади.

### 11.5. СИНХРОН БОҒЛАНГАН ИНДУКЦИОН МАШИНАЛАР. СЕЛЬСИНЛАР

Дистанцион (масофадан туриб бошқариш) ва кузатиш системаларида механик равишда ўзаро боғланмаган иккита ўқнинг синхрон ёки синфаза бурилишини ёки айланишини таъминлаш талаб қилинади. Бурилиш бурчагини синхрон равишда узатишда *сельсин* деб аталувчи индукцион машиналардан фойдаланилади. Машиналардан бири етакчи ўқ билан механик боғланган бўлиб, датчик деб аталади, иккинчиси эса етакланувчи ўқ билан боғланган бўлиб қабул қилгич дейилади. Сельсинларнинг қуввати кичик бўлиб, асинхрон машиналар каби ясалади.

Датчикнинг бирламчи чулғами, яъни уйғотиш чулғами роторда жойлашган бўлиб, ўзгарувчан ток манбаига уланади. Иккиламчи чулғам, яъни синхронлаш чулғами эса статор пазларига жойлаштириллади. Сельсинлар бир фазали ва уч фазали, контакт ҳалқали ёки контакт ҳалқасиз бўлади. Уйғотиш чулғами статорда, синхронлаш чулғами эса роторда ҳам жой-



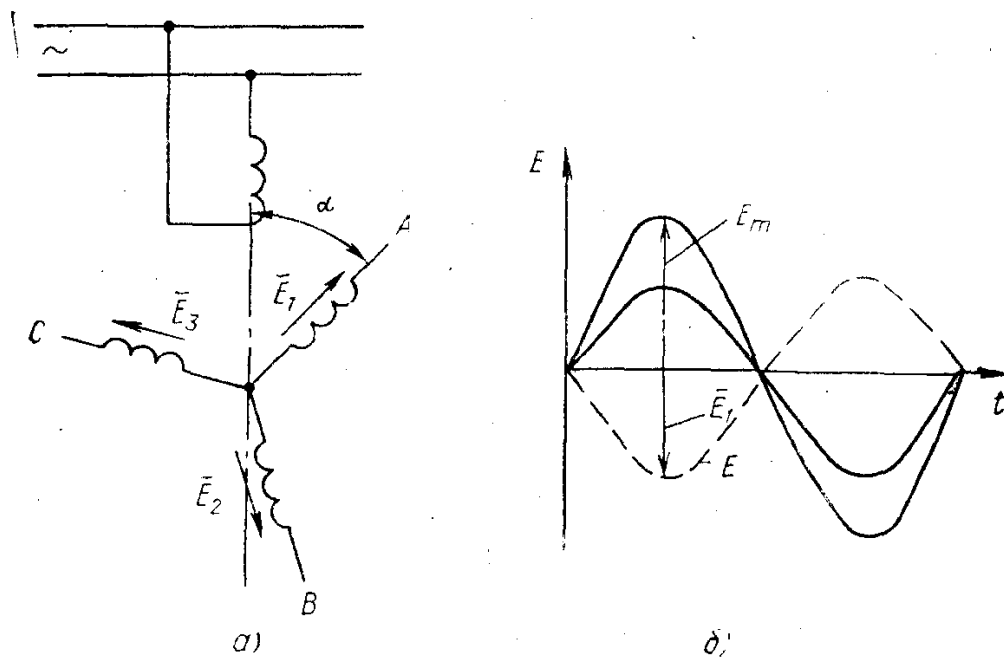
11.13- расм.

лашиши мумкин. Ротор чулғами бир фазали бўлган сельсиннинг схемаси 11.13- расмда кўрсатилган. Агар уйғотиш чулғами ўзгарувчан ток тармоғига уланса, ундан ўтаётган ток ҳосил қилган пульсацияланувчи магнит майдон куч чизиқлари ротор ва статорнинг магнит ўзаклари орқали бирикади. Бунда синхронлаш чулғамида роторнинг бурилиш бурчагига пропорционал бўлган ЭЮК индукцияланади. Роторнинг бурилиши натижасида уйғотиш чулғами билан синхронлаш чулғамининг ҳар бир фазаси орасидаги ўзаро индуктивлик косинус қонуни бўйича текис ўзгаради. Агар биринчи фазадаги ЭЮК нинг амплитуда қийматини кўрадиган бўлсак, унда А чулғамнинг ўқи уйғотиш чулғамининг ўқи билан устма-уст тушганда ЭЮК энг катта қийматга эришади. Ротор  $\alpha = 90^\circ$  га бурилганда, яъни чулғамларнинг ўқлари ўзаро перпендикуляр бўлганда А фазадаги ЭЮК нолга тенг бўлади (11.14- расм). Синхронловчи фаза чулғамлари ўзаро  $120^\circ$  бурчак остида жойлашган эканлигини ҳисобга олиб, ЭЮК ларнинг эффектив қиймат ифодаларини ёзишимиз мумкин:

$$\left. \begin{aligned} E_A &= E_m \cos \alpha; \\ E_B &= E_m \cos (\alpha - 120^\circ); \\ E_C &= E_m \cos (\alpha - 240^\circ). \end{aligned} \right\} \quad (11.13)$$

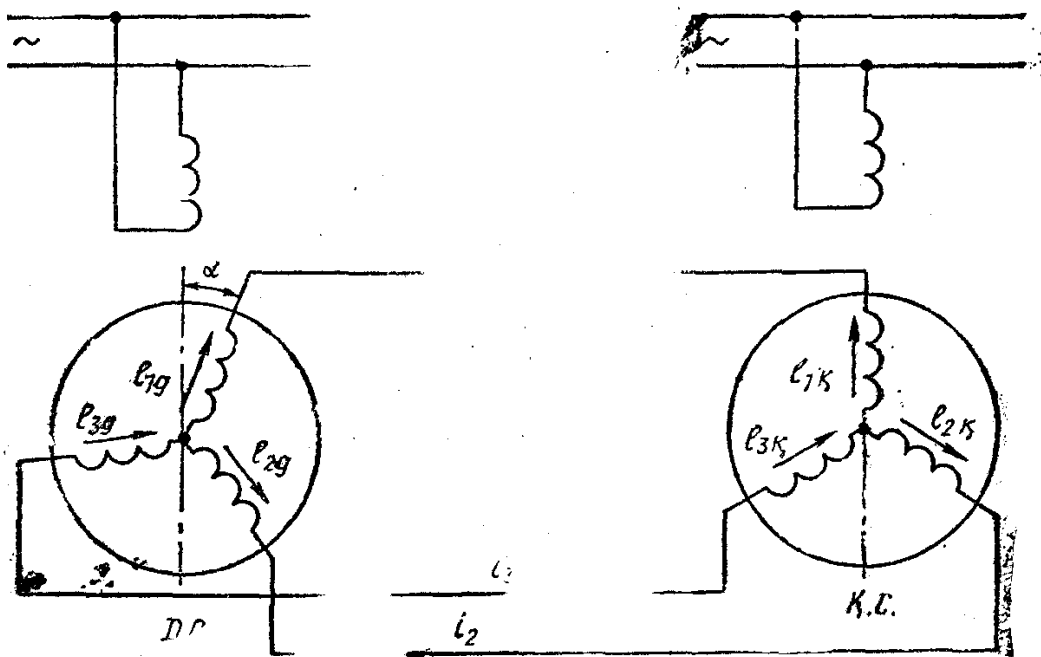
Сельсинларнинг асосан икки хил: индикаторли ва трансформаторли иш режимлари бор.

**Индикаторли иш режими.** Бу режим сельсин-қабул қилгичнинг ўқи кичик қаршилик momenti ҳосил қилувчи (ўлчов



11.14- расм.

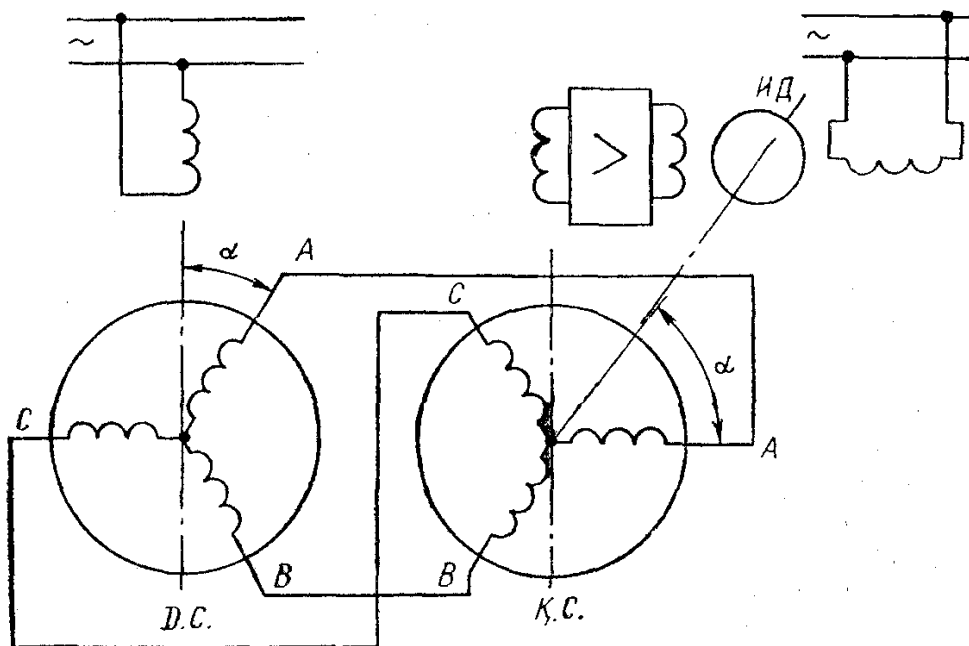
асбоб стрелкаси) механизм билан юкланганда бурчак силжишларни узоқ масофаларга узатишда қўлланилади. Индикаторли режимда иккита бир хил сельсин танланади, уларнинг уйғоштиш чулғамлари бир хил частотали ва кучланишли манбага уланади. Сельсин-датчик ва сельсин-қабул қилгичнинг синхронлаш чулғамлари ўзаро алоқа линияси орқали уланади (11.15-расм). Синхронлаш чулғами қарама-қарши уланади. Агар син-



11.15- расм.

хронлаш чулғамининг фазаси уйғотиш чулғамига нисбатан бир хил жойлашган бўлса, уларда ўзаро тенг, аммо қарама-қарши йўналган ЭЮК индукцияланади. Алоқа линияларидаги ток холга тенг бўлади. Сельсин-датчик ротори  $\alpha$  бурчакка бурилганда синхронлаш чулғамида индукцияланувчи ЭЮК қиймати ўзгаради, натижада алоқа линиясида ток пайдо бўлади. Синхронлаш чулғамидаги ток билан уйғотиш чулғамидаги пульсацияланувчи майдоннинг ўзаро таъсири натижасида айлантувчи момент ҳосил бўлади. Мазкур момент сельсин-қабул қилгич роторини сельсин-датчик ротори бурилган томон бўйлаб ўша бурчакка буради (сельсин-датчик ротори маҳкамланган бўлади). Бунда сельсин-датчик ва сельсин-қабул қилгич ўртасида ассиметриянинг мавжудлиги, манба кучланишининг ўзгариши, истеъмолчининг тормозловчи моменти таъсири ҳамда подшипниклардаги ишқаланиш туфайли хатолик вужудга келади. Жоиз хатоликнинг қийматига қараб, сельсинлар аниқлик бўйича учта синфга бўлинади. Биринчи синфдаги сельсинлар учун бурилиш ҳаголиги  $\pm 0,75^\circ$  дан ошмаслиги керак.

**Трансформатор режими.** Нисбатан катта қаршилиқ моменти ҳосил қилувчи механизмларни буриш керак бўлганда трансформатор режимдан фойдаланилади. Бунда сельсин-датчининг берилган бурилиш бурчаги сельсин-қабул қилгичнинг чиқиш қисмида ҳаракат қилувчи механизм билан механик равишда боғланган ижрочи двигателга таъсир этувчи ЭЮК ҳосил қилади. Трансформатор режимида ишлаганда сельсин-датчининг уйғотиш чулғами ўзгарувчан ток тармоғига уланади, сельсин-қабул қилгичнинг уйғотиш чулғами эса ижрочи двигателнинг бошқариш чулғами уланадиган кучайтиргичга уланади. Иккала сельсиннинг синхронлаш чулғамлари алоқа симлари орқали ўзаро уланади (11.16-расм).



11.16 расм.

Дастлабки ҳолатда сельсинларнинг тегишли синхронлаш фаза чулғамлари ўзаро  $90^\circ$  га силжиган бўлади, қабул қилгични синхронловчи А фаза чулғамининг ўқи уйғотиш чулғамига перпендикуляр, датчикнинг А фаза ўқи эса уйғотиш чулғами билан мос тушади. Датчикнинг уйғотиш чулғами орқали ўтувчи ўзгарувчан ток ҳосил қилган пульсацияланувчи магнит майдони синхронловчи учта чулғамда ЭЮК индукциялайди. Бу ЭЮК лар синхронлаш чулғамида ва алоқа симларида ток ҳосил қилади. Бошланғич шароитда сельсин-қабул қилгичда чулғам ўқига перпендикуляр бўлган пульсацияланувчи магнит майдони ҳосил бўлади. Натижада уйғотиш чулғамида магнит майдони юзага келмайди.

Агар сельсин-датчик роторини  $\alpha_r$  бурчакка бурсак, сельсин-қабул қилгични синхронлаш чулғамидаги ток ўзгаради, пульсацияланувчи майдон ўқи  $\alpha_m = \alpha_r$  бурчакка бурилади ва сельсин-қабул қилгични уйғотиш чулғамида ЭЮК индукцияланиб, кучайтиргич орқали ижрочи двигателнинг бошқариш чулғамига узатилади. Ижрочи двигатель ишга тушади ва етакланувчи механизмнинг ўқини буради. Бу вақтнинг ўзида ижрочи двигатель сельсин-қабул қилгич ўқини ҳам буради. Натижада уч фазали синхронлаш чулғамининг бурилиши уйғотиш чулғами ЭЮК ининг камайишига сабаб бўлади. Ижрочи двигателни, сельсин-қабул қилгич роторини, сельсин-датчикнинг бурилиш бурчагига тенг бурчакка бурганда уйғотиш чулғамидаги ЭЮК нолга тенг бўлиб, двигатель тўхтайдди.

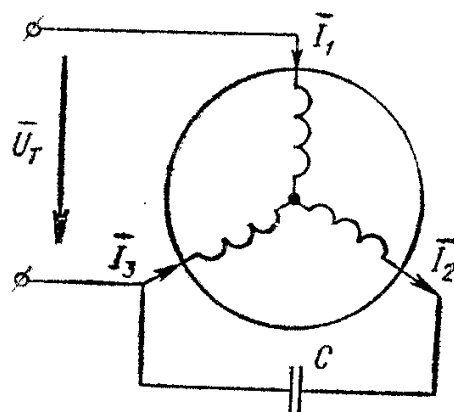
Сельсинларнинг турли иш ҳолатлари учун кўриб ўтилган назарияларни роторида уйғотиш чулғами бўлган контактли ва контактсиз сельсинларга ҳам татбиқ этиш мумкин.

## 11.6. СИНХРОН МИКРОМАШИНАЛАР

Автоматика қурилмаларида асинхрон микромашиналар билан бир қаторда синхрон микромашиналар ҳам кенг қўлланилади. Электр соатлар, лента айланттирувчи механизмлар, ўзи-ўзар асбоблар, магнитофон, радиоаппаратлар каби турли механизмларда синхрон микромашиналарга хос бўлган айланиш тезлигининг ўзгармаслик хусусиятидан фойдаланилади. Синхрон микромашиналарнинг айланиш тезлиги ( $n = n_0$ ) манба частотаси билан мустаҳкам боғлангандир. Синхрон микромашиналарнинг қуввати ваттнинг бир неча улушидан то бир неча юз ваттгача бўлади. Улар қуйидаги турларга бўлинади: реактив двигателлар; гистерезисли двигателлар; кадамли ёки импульсли двигателлар.

Ҳар бир двигателнинг хусусиятини алоҳида кўриб ўтамиз. **Реактив синхрон двигателлар.** Статорида уч фазали ёки бир фазали чулғам бўлиб, аниқ намоён қутбли роторида эса уйғотиш чулғами бўлмаган электр машинаси реактив синхрон двигатель дейилади. Аввал кўриб ўтилган синхрон двигателлардан фарқли равишда реактив микромашиналарни уйғотиш

ротор чулғами орқали эмас, балки статор чулғами орқали ўтувчи токнинг реактив ташкил этувчиси ёрдамида амалга оширилади. Токнинг реактив ташкил этувчиси двигателни уйғотувчи бўйлама магнит оқимини ҳосил қилади. Бундай двигателларда айлантирувчи момент бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича магнит ўтказувчанликнинг турлича бўлиши ҳисобига ҳосил бўлади.

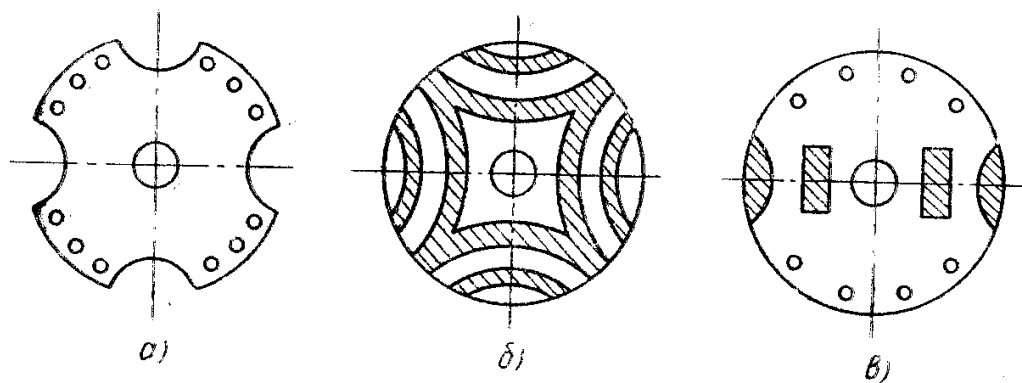


11.17-расм.

Двигателнинг статори айланивчи магнит майдони ҳосил қилиши учун конденсаторни бир фазали чулғамга улаш мумкин (11.17-расм). Сигимнинг қийматини тўғри танлаб, симметрик уч фазали тоқлар системасини ҳосил қилиш мумкин.

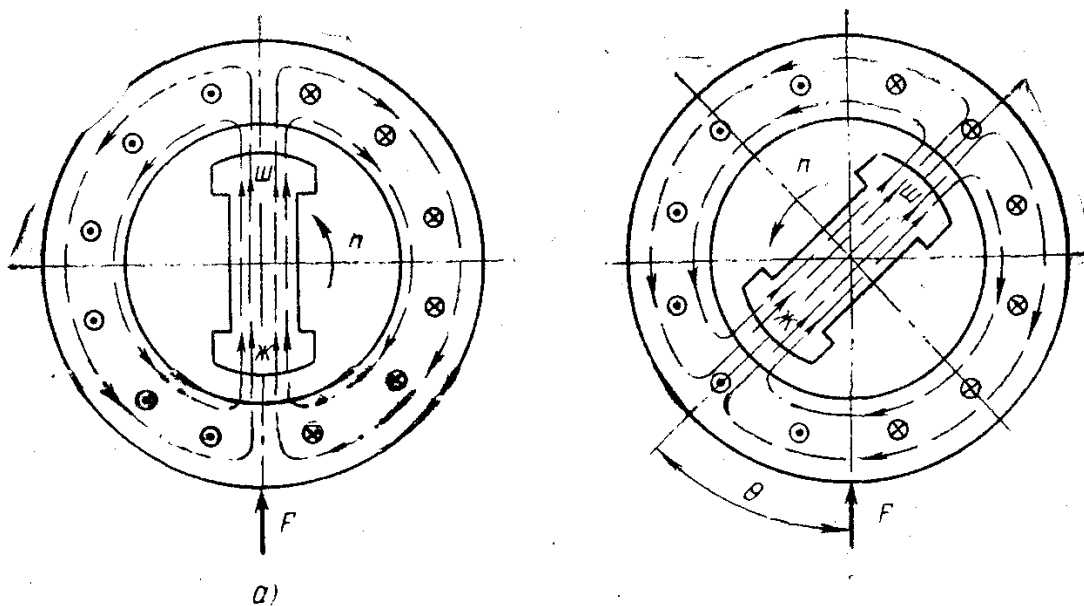
Синхрон микродвигателларнинг ротори турли конструктив ижрога эга бўлиши мумкин. Махсус шаклга эга бўлган ва пўлаг яроқчалардан йиғилган ротор энг кўп тарқалган (11.19-расм, а). Двигателни ишга тушириш учун роторга „олмахон ҳалқали“ қисқа туташтирилган чулғам жойлаштирилган бўлади. Бўлимларга (секцияларга) бўлинган ротор алюминий ёки бошқа номагнит материаллардан ясалган бўлиб, пўлат тасмалар ўрнатилган бўлади. Кўндаланг ва бўйлама ўқлар бўйича магнит қаршилиқлар орасидаги фарқни кўпайтириш учун ротор овалсимон пазли қилиб тайёрланади (11.18-расм, б). Двигателнинг иш жараёнини икки қутбли уч фазали статор чулғами мисолида кўриб чиқиш мумкин (11.19-расм, а). Статор токи бўйлама ўқ бўйлаб йўналган МЮК ( $F$ ) ҳосил қилади. Статорнинг айланма магнит майдони эса роторда уюрма тоқларни индукциялайди.

Двигатель асинхрон тарзда ишга туширилгандан сўнг роторнинг тезлиги синхрон тезликка яқинлашади, статор МЮК га нисбатан маълум ҳолатини сақлаган ҳолда, магнит майдонига илакишиб айлана бошлайди. Агар ротор юкланиш momenti билан юкланса, у секинлаша бошлайди. Нагижада  $\Theta$



11.18-расм.



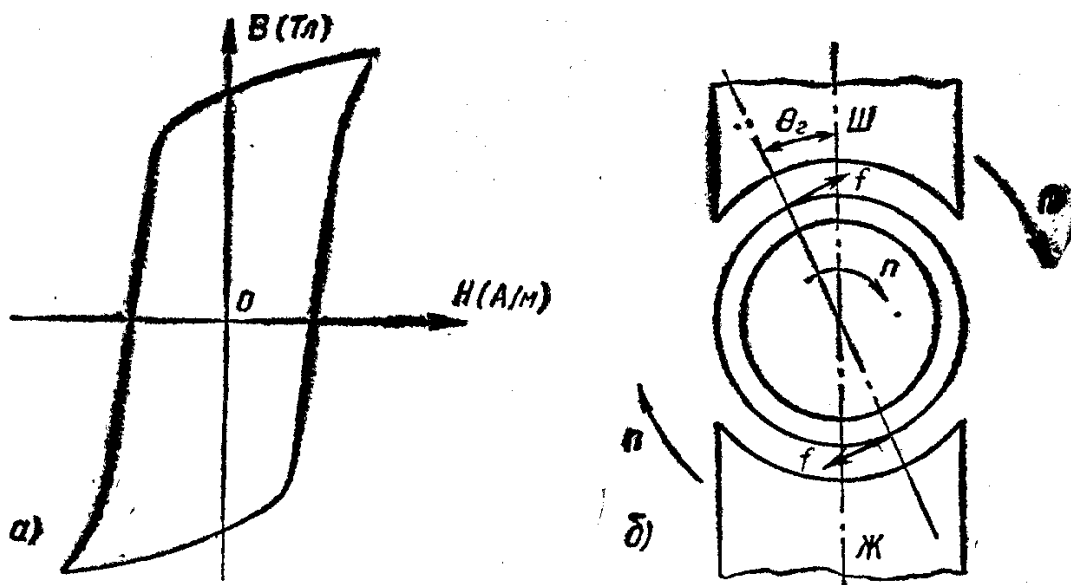


11.19- расм.

бурчак пайдо бўлади ва статорнинг магнит майдон куч чизиқлари роторни айланиш йўналиши бўйлаб торта (илакиштира) бошлайди (11.19- расм, б). Юкланиш momenti билан мувозанатлашувчи электрмагнит момент пайдо бўлади. Ротор ўқидаги юкланишнинг ошиши  $\theta$  бурчакнинг ортишига сабаб бўлади. Натижада электромагнит momenti ортади. Мазкур моментнинг қиймати кучланишнинг квадратига, реактив қаршилиқнинг фарқи ва  $\sin 2\theta$  га пропорционал бўлади. Агар тармоқ кучланиши ўзгармас бўлса,  $\theta = 45^\circ$  да момент максимал қийматга эга бўлади. Тузилишининг соддалиги, ишлаш жараёнида ишончилиги ва таннархининг кичиклиги реактив двигателларнинг афзаллиги ҳисобланади. Қувват коэффициенти  $\cos \varphi$  нинг кичиклиги (0,5 гача), максимал моментнинг нисбатан кичиклиги, кучланишнинг ўзгаришига сезгирлиги синхрон микромашиналарнинг камчилиги ҳисобланади.

**Гистерезисли двигателлар.** Айлантирувчи momenti гистерезис ҳодисаси ёки ротор материалининг қайта магнитланиши туфайли ҳосил бўладиган микромашиналар гистерезисли двигателлар деб аталади. Гистерезисли двигателларнинг статори реактив двигателларники каби бўлади. Двигателнинг ротори чулғамсиз цилиндр шаклида бўлиб, қаттиқ магнит материалдан ясалади. Айрим ҳолларда ротор мисдан ёки машинасозликда ишлатиладиган пўлатдан ясалган бўлиб, унга катта коэрцитив кучга эга бўлган қаттиқ магнит материалдан тайёрланган втулка кийгизилган бўлади.

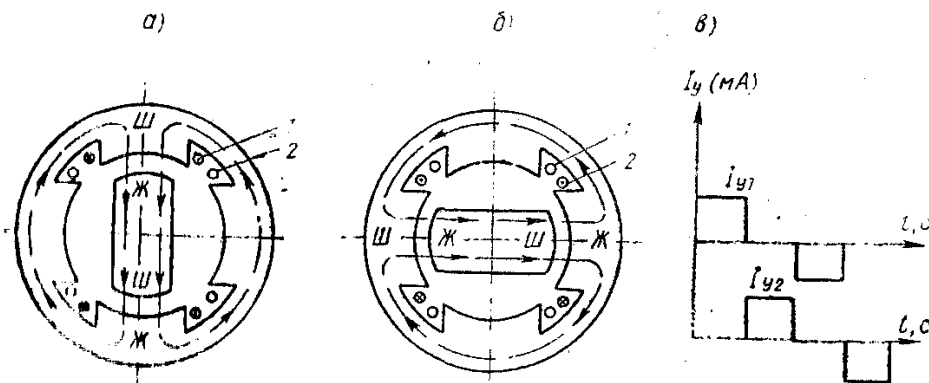
Гистерезисли двигателнинг ротори синхрон тезлик билан айланиб, статор магнит майдонида гистерезис ҳалқаси бўйича қайта магнитланади (11.20- расм, а). Гистерезис ҳодисаси туфайли роторнинг магнитланиш ўқи статорнинг айланма магнит



11.20- расм.

майдони ўқидан гистерезис силжиш бурчаги  $\theta_r$  га кечикади. Натижада статор ва ротор орасида таъсир этувчи кучнинг тангенциал ташкил этувчиси  $f_r$  ва айланиш тезлигига боғлиқ бўлмайдиган гистерезис momenti ҳосил бўлади (11.20- расм, б). Ротор материалнинг гистерезис ҳалқаси қанча кенг бўлса, бурчак, бинобарин, гистерезис momenti ҳам шунча катта бўлади. Гистерезисли двигателлар тузилишининг соддалиги, ишда ишончлилиги ФИК нинг нисбатан юқори бўлиши бундай микромашиналарнинг афзаллиги ҳисобланади.

**Импульсли двигателлар.** Статор чулғами импульсли кучланиш ҳосил қилувчи махсус коммутаторга уланган синхрон микродвигатель импульсли двигатель деб аталади. Коммутатор берилган кетма-кетликдаги бошқарувчи импульсларни  $m$  фазали тўғри тўртбурчакли кучланиш импульсига айлантиради. Импульсли двигателларнинг статори аниқ намоён қутбли бўлиб, унга қўзғатиш чулғами ўрнатилади. Ротори магнит бошмоқлари бўлмаган доимий магнит кўринишида тайёрланади (11.21- расм, а). Статор қутбларидаги ғалтакларга кучланиш



11.21- расм.

импульслари кетма-кетлиги берилганда ротор бир қутб бўлағичалик масофага сакраб силжийди (бурилади). Роторнинг силжиш қадами статор ва ротор магнит қутблари сонига боғлиқ бўлади. Роторнинг айланиш тезлиги эса кучланиш импульсларининг частотасига боғлиқдир.

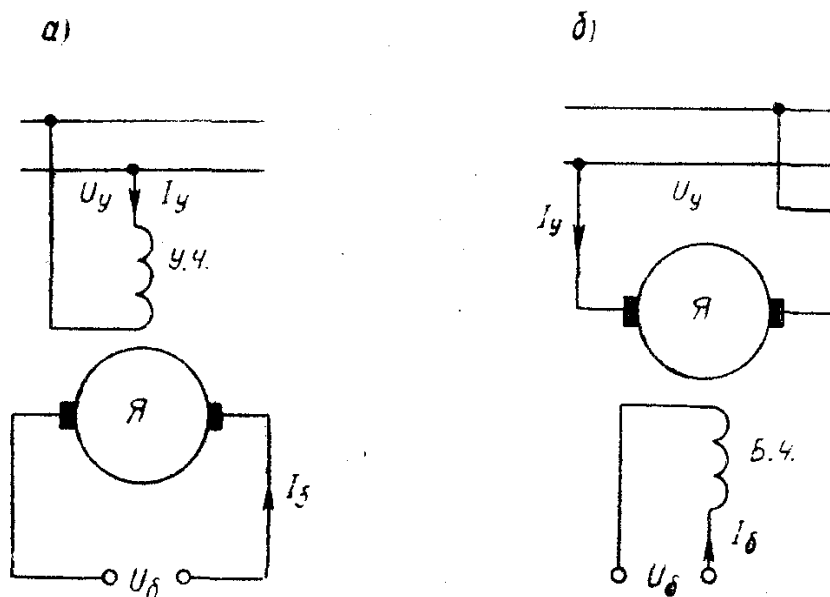
Қадамли двигателларнинг кўриб чиқилган турларидан ташқари реактив ва индукторли хиллари ҳам қўлланилади.

### 11.7. ЎЗГАРМАС ТОҚ ИЖРОЧИ ДВИГАТЕЛЛАР

Ўзгармас ток микродвигателлари автоматик бошқариш системаларида, кузатиш юритмаларида ижрочи двигателлар тарзида кенг ишлатилади. Чунки уларда айланиш тезлигини бир текис кенг доирада бошқариш имконияти бор. Ўзгармас ток микродвигателлари ҳам оддий ўзгармас ток двигателлари каби тузилган бўлиб, якорининг тузилишидагина ўзига хос томони бор. Якорнинг инерция моментини камайтириш учун, яъни двигателнинг тез ишлаб кетишини ошириш учун ижрочи двигателнинг якори пазларсиз, ичи бўш цилиндрсимон қилиб ясалади. Якорнинг чулғами эса босма равишда тайёрланади.

11.22 расм, а да якорь бошқаришли, 11.22- расм, б да эса қутб бошқаришли ижрочи двигателнинг электр схемаси кўрсатилган. Якорь бошқаришли двигателда уйғотиш чулғами ўзгармас ток манбаига доимо уланган бўлиб, якорь чулғамига бошқариш токи чўтка орқали бошқарувчи кучланиш манбаидан берилади.

Автоматик қурилмаларда якорь бошқаришли двигатель кўп ишлатилгани учун унинг механикавий хусусиятлари билан қисқача танишиб чиқамиз. Бошқарувчи кучланиш бўлмаганда якордаги ток нолга тенг бўлиб, двигатель айланмайди ва ўз-



11-22- расм.

Ўзидан ишлаб кетмайди. Ўзгармас ток машинасининг назария-сидан маълумки, уйғотиш чулғамидаги кучланиш  $U_y = \text{const}$  бўлганда магнит оқими

$$\Phi = K I_y = K' U_y,$$

якордаги ток эса

$$I_6 = \frac{U_6 - E}{r_a + r_n} = \frac{\alpha U_y - C_E K' U_y \cdot n}{r}.$$

Двигателнинг айлантирувчи моментни эса

$$M = C_M \Phi I_6 = C_M K' U_y I_6$$

ёки

$$M = \frac{C_M K' \alpha U_y^2 - C_E C_M K'^2 U_y^2 \cdot n}{\sum r}.$$

Двигателнинг механик характеристикасини қуриш учун иккита нуқтани белгилаймиз:

а) салт (юксиз) ишлаш ( $M_c = 0$ )

$$n_c = n_0 = \frac{1}{C_E K' \alpha}$$

$$\alpha = 1 \text{ бўлганда эса: } n_0 = \frac{1}{C_E \cdot K'};$$

б) ишга тушириш momenti

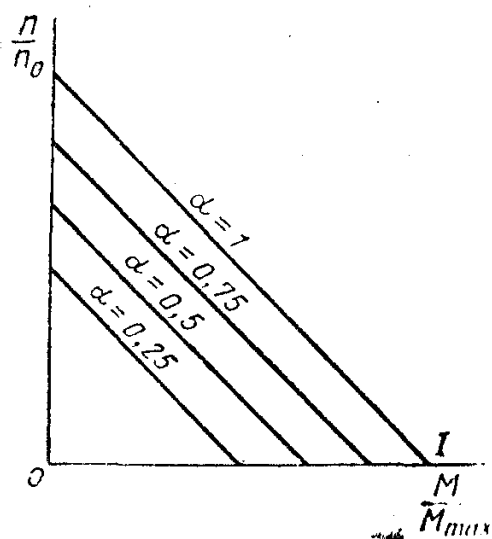
$$n_n = 0 \text{ да}$$

$$M_{и, т} = \frac{C_M K' \alpha U_y^2}{\sum r} = M_{\max}$$

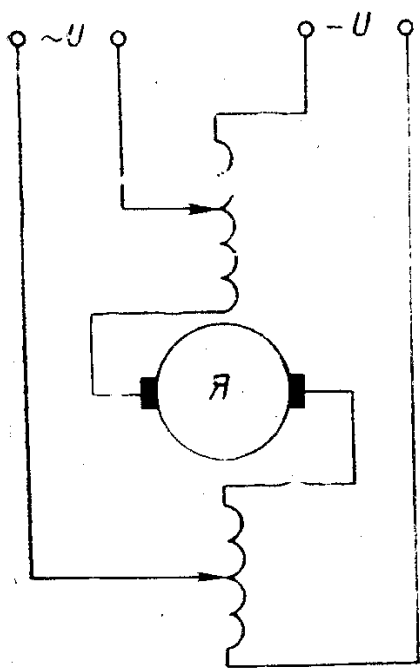
ёки

$$M_{\max} = \frac{C_M K' U_y^2}{\sum r}.$$

Якорь бошқаришли двигателнинг механик характеристикасининг тўпламини қурамыз, бунда нисбат  $\frac{n}{n_0}$  ни нисбат  $M/M_{\max}$  деб қараймиз. Сигнал коэффициентининг турли қийматларида механик характеристикаларнинг параллел эканлигини 11.23-расмдан куриш мумкин. Бундай кўринишдаги механик характеристикалар двигатель айланишининг тез ортиб кетишини ва унинг айлани-



11.23- расм.



11.24- расм.

шини тўғри чизиқли ростлаш мумкинлигини кўрсатади. Якорь бошқаришли двигателнинг камчилиги айлантурувчи моментнинг сигнал коэффициенти  $\alpha$  га боғлиқлиги ҳисобланади. Двигателнинг аниқ ишлаши учун келтирилган сигналнинг қуввати бирмунча катта бўлиши керак.

### 11.8. УНИВЕРСАЛ КОЛЛЕКТОРЛИ ДВИГАТЕЛЛАР

Универсал коллекторли двигателлар автоматик қурилмаларда ва маиший электр асбобларнинг юритмаларида ишлатилади. Уларнинг қуввати ваттнинг бир неча улушидан бир неча юз ваттгача бўлади. Булар ўзгармас ва ўзгарувчан ток (бир фазали) манбалари билан таъмин-

ланади. Универсал коллекторли двигателнинг тузилиши кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателининг тузилишидан деярли фарқ қилмайди. 11.24-расмда универсал коллекторли двигателнинг принципиал электр схемаси кўрсатилган. Маълумки, бир вақтда якордаги токнинг ва уйғотиш чулғамидаги токнинг йўналишини ўзгартириш билан айлантурувчи моментнинг йўналиши ўзгармайди. Демак, уни ўзгарувчан ток манбаига улаганда ҳам у айланаверади. Аммо, уйғотиш чулғамига ўзгарувчан ток берилганда унинг индуктив қаршилиги катта бўлади. Магнит занжирининг яхлит қисмларида катта иссиқлик исрофи юзага келади. Двигатель ўзгарувчан токда ишлаганда унинг индуктив қаршилигини камайтириш учун уйғотиш чулғами **секцияларга бўлинади** ва тармоққа чулғамнинг бир қисми уланади. Универсал коллекторли двигатель ўзгармас ток двигателидан шуниси билан фарқ қиладики, бунда унинг магнит системаси (станина ва қутблар) шихталанган электротехник пўлаг тунукалардан тайёрланади, шунингдек, уларнинг қўшимча қутблари йўқ.

Якорнинг иккала томонида симметрик жойлаштирилган уйғотиш чулғами двигатель ҳосил қиладиган (радиога халал берувчи) сигналларни камайтиришга имкон беради. Двигателнинг ўзгарувчан токда ишлаши унинг ўзгармас токда ишлашидан фарқ қилиб, бир қатор ўзига хос хусусиятларга эга. Бунга мисол тариқасида чўгқа, коллектор ва бутун машина хизмат муддатининг қисқаришини кўрсатиш мумкин.

## 12-БОБ. БОШҚАРИШ ВА ҲИМОЯ АППАРАТЛАРИ. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИ БОШҚАРИШ

### 12.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Электротехника қурилмаларини бошқариш ва ҳимоя қилиш турли хил аппаратлар ёрдамида амалга оширилади. Вазифасига қараб уларни иккита асосий гуруҳга: коммутацияловчи (улаш) ва ҳимоя аппаратларига бўлиш мумкин. Коммутацияловчи (улаш) аппаратларга турли хил узгичлар, ажратгичлар, контакторлар, магнитли ишга туширгич ва бошқалар киради. Ҳимоя аппаратларига ҳаволи автоматик узгичлар, эрувчан сақлагичлар ва турли хил релелар киради. Баъзи аппаратлар масалан, магнитли ишга туширгич автоматлар ҳам коммутациялаш, ҳам ҳимоялаш вазифаларини бажаради.

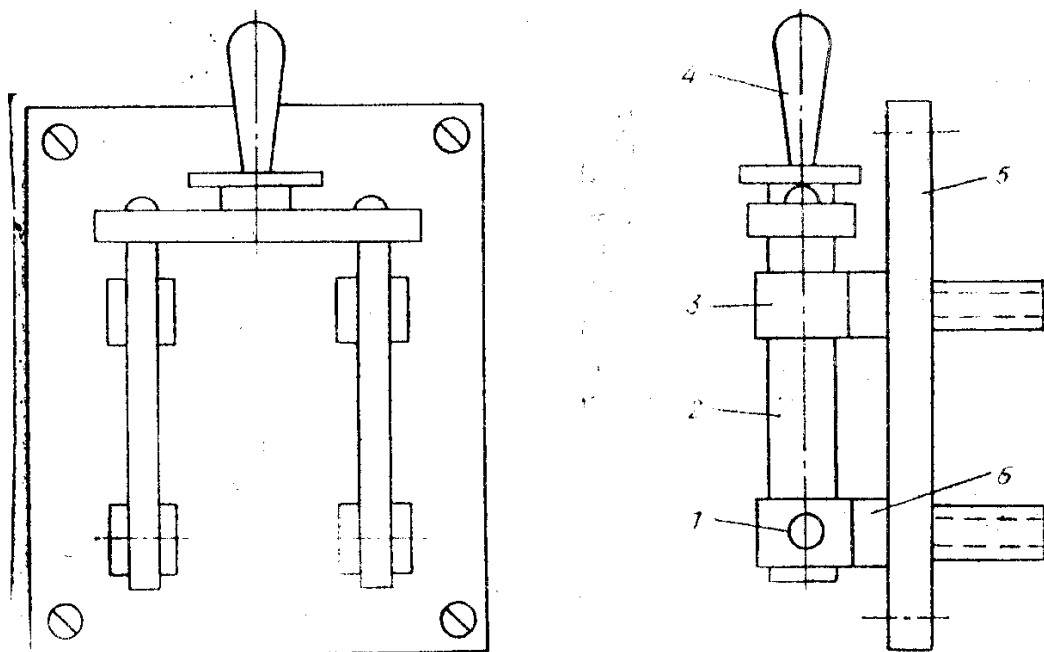
Электр аппаратлар орқали электр юритмадаги двигателларни ишга тушириш, тўхтатиш, бир тезликдан иккинчисига ўтказиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш ва бошқа мураккаб вазифалар бажарилади. Электр аппаратларнинг ишончли ишлашида контактлар муҳим ўрин эгаллайди. Контактлар қуйидаги уч турга: қаттиқ (ажралмайдиган), масалан, машиналар ва аппаратларнинг қисмаларига ўтказгичларни бириктириш; сурилувчи; коммутацияловчи (узувчи) аппаратларга бўлинади. Контактлар оғир шароитларда ишлайди, агар аппаратлар қисқа туташув тоқларини узиши керак бўлса, бу шароит яна ҳам оғирлашади.

Юқори кучли ва катта тоқли занжирларда маълум миқдорда ўзиндукция ЭЮК вужудга келади. Бу ЭЮК ва тармоқ кучлини таъсирида ажралувчи контактлар оралиғида электр разряд, яъни электр ёйи вужудга келади. Бунда юқори температура юзага келиши натижасида контактлар бузилади ёки эриб бир-бирига ёпишиб қолади. Шунинг учун кўпгина коммутацион аппаратлар ёй сўндиргичлар билан жиҳозланади.

Ўзгарувчан ток занжирини узиш анча осон, чунки ўзгарувчан ток даврий равишда ноль қийматлардан ўгиб туради. Бу эса ёйнинг сўнишини енгиллаштиради. Агар контактлар ток нолдан ўтаётган лаҳзада ажратилса ва улар катта тезликда керакли оралиққа узоқлаштирилса, ёй вужудга келмаслиги ҳам мумкин. Ҳозирги вақтда кўпгина коммутацион аппаратлар ярим ўтказгичли асбоблар асосида контактсиз қилиб ясалмоқда.

### 12.2. ҚЎЛ БИЛАН БОШҚАРИЛАДИГАН АППАРАТЛАР

Электр аппаратларни улаш ва узишни хизмат қилувчи ҳодим ёрдамида амалга ошириш қўл билан бошқариш деб аталади. Қўл билан бошқариладиган аппаратларга рубильниклар, қайта улагичлар, пакетли узгичлар, контроллёрлар, буйруқ



12.1- расм.

берувчи контроллерлар, ажратгичлар, кнопкалар ва ҳоказолар киради.

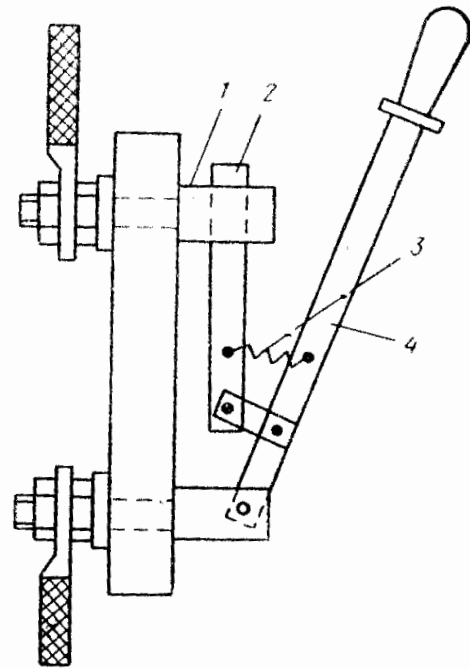
**Рубильниклар ва қайта улагичлар.** Битта занжирда уланган ва узилган ҳолатларга қўл билан ҳаракатлантирилиб эришиладиган ноавтоматик узгич *рубильник* деб аталади. Иккита турли занжирларга навбати билан улаш учун хизмат қилувчи рубильник *қайта улагич* деб аталади. Рубильник ва қайта улагичлар 500 В гача бўлган номинал кучланиш учун мўлжалланган бўлиб бир, икки ва уч қутбли қилиб ясалади.

Рубильник ва қайта улагичлар марказий дастали, ён дастали ва ричагли бўлади. Улар кичик (5—20 А) ва катта (100—600 А) тоқларга мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. 12.1-расмда кичик токка мўлжалланган рубильникнинг тузилиши кўрсатилган. Рубильникнинг барча деталлари изоляцион асосга ўрнатилади. Рубильникни узганда қўзғалувчан қисм (пичоқ) 2 ва қўзғалмас қисм (жағ) 3 контактлари орасида ёй ҳосил бўлади ва бу ёй ток нолдан ўтганда контактлар оралиғида зарядланган заррачаларнинг тез камайиши туфайли ўчади. Ёй ҳосил бўлганда контактларни куйишдан сақлаш учун рубильниклар иккита: асосий 4 ва ёрдамчи 2 пичоқлар билан таъминланади (12.2-расм). Бу пичоқлар шарнир воситасида пружина 3 билан ҳам боғланган. Рубильник ажратилганда қўзғалмас контакт 1 дан олдин асосий пичоқ чиқади, сўнгра ёрдамчи пичоқ пружина таъсирида жуда тез чиқади. Натижада, вужудга келган электр ёйи кичик қувватга эга бўлади ва тезда ўчади.

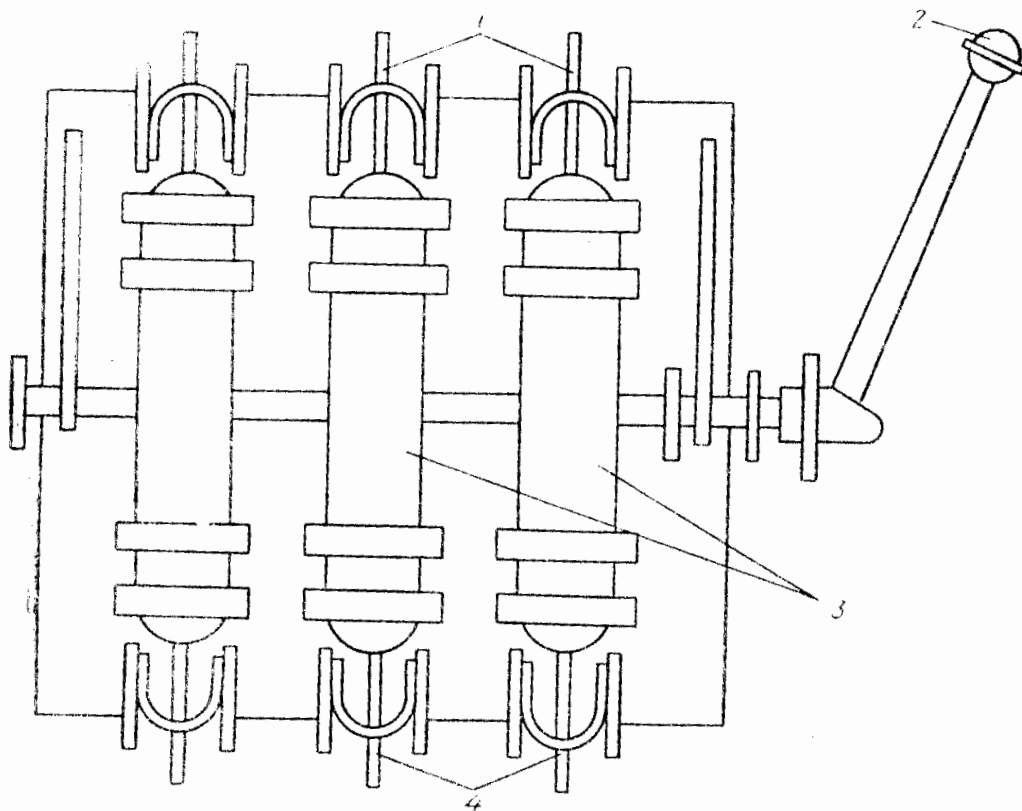
Катта тоқли рубильниклар ва қайта улагичлар ёй сўндирувчи қурилма билан жиҳозланади. Ёй сўндирувчи қурилмаси

бўлмаган рубильниклар токсиз занжирларни узиш ва очик узилишлар ҳосил қилишга мўлжалланган.

Баъзи ҳолларда битта аппарат бир неча вазифани бажариши мумкин. Масалан, баъзи замонавий рубильникларда пичоқлар сифатида сақлагичлардан фойдаланилади. Бундай рубильниклар бир вақтнинг ўзида ҳам коммутация, ҳам ҳимоя вазифаларини бажаради. Блокли рубильник-сақлагичлар учта сақлагич 3 дан иборат бўлиб, умумий траверсага маҳкамланади (12.3-расм). Уни улаганда сақлагичлар траверса билан бирга сурилади ва уларнинг пичоқлари таянч контактлар 1 ва 4 нинг жағларига киради. Ушбу рубильниклар ёпиқ қилиб ясалади. Бунда шу нарса аҳамиятлики, бир томонга очиладиган қопқоқ рубильник дастаси 2 билан механик қулф-калитга эга; қопқоқни очиш фақат узилган ҳолатдаги

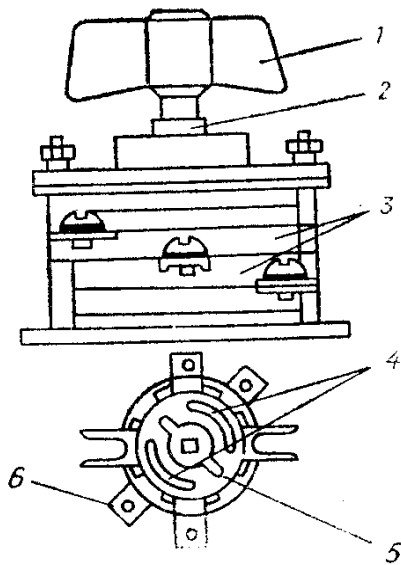


12.2- расм.

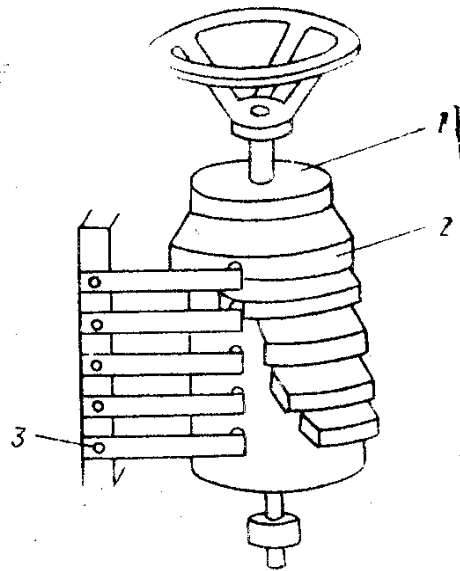


12.3- расм.





12.4- расм.



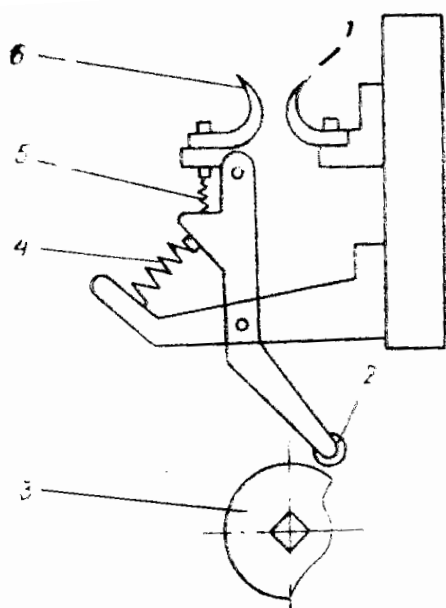
12.5- расм.

дастадагина мумкин, дастани улаш эса фақат қопқоқ ёпилган ҳолда амалга оширилади.

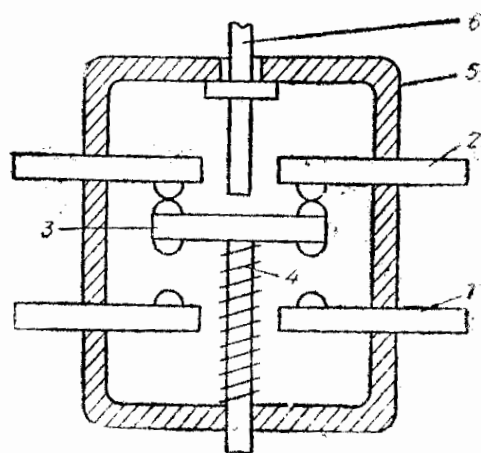
**Пакетли узгичлар ва қайта улагичлар** катта бўлмаган қувватли двигателларни ишга тушириш ва айланиш йўналишини ўзгартириш схемаларида, шунингдек, асинхрон двигателлар чулғамларини учбурчакдан юлдуз схемага қайта улашда ишлатилади. *Пакетли узгич* (12.4-рasm) бураб ишлатиладиган кичик ҳажмли аппарат бўлиб, умумий жойлаштирилган бир неча қатламлар (пакетлар) 3 дан иборатдир. Ҳар бир пакет ичида қўзғалувчан 5 ва қўзғалмас 4 контактлар бўлади. Қўзғалмас контактларга электр занжир симлари уланади. Қўзғалувчан контакт 5 ўқ 2 га маҳкамланган бўлиб, даста 1 ёрдамида айлантирилади ва белгиланган маълум ҳолатларга эга бўлади. Бунда пакетлардан бирининг қўзғалмас контактлари туташиб, истеъмолчи электр манбаига уланади. Қўзғалмас контактларнинг қисмалари 6 узгич асосига маҳкамланган. Пакетли узгичларнинг камчилиги қўзғалувчан (сурилувчи) контактларнинг ишончлилиги паст бўлишидадир.

**Контроллерлар** (инглизча *controller* — бошқариш) ишлаш принципи ва вазифасига кўра пакетли узгичларга яқин бўлиб, кучли электр занжирларини маълум дастур бўйича қайта улашда ишлатилади. Улар ёрдамида баъзи кўтарма кранлар ва бошқа механизмлар электр двигателларининг занжирларида токни улаш амалга оширилади.

Контроллерларнинг барабанли ва кулачокли хиллари бор. Барабанли контроллерда занжирнинг уланиши (12.5-рasm) барабан 1 нинг айланиб, қўзғалувчан 2 ва қўзғалмас 3 контактларнинг туташишида амалга ошади. Қўзғалувчан контактлар



12.6- расм.



12.7- расм.

мисдан ёки бронзадан ясалди ва барабандан диэлектрик материал билан ажратиб қўйлади. Сурилувчи контактнинг мавжудлиги, юқорида айтилганидек, аппаратнинг ишончлилигини кескин пасайтиради. Шунинг учун, кўпинча, кулачокли контроллерлар ишлатилади. Уларда сурилмайдиган контактлар бўлиб, уларга кулачоклар таъсир этади. Кулачокли контроллер секцияларидан бирининг тузилиши 12.6-расмда кўрсатилган. Кулачок 3 бурилганда ролик 2 ё кулачокда бўлади, ёхуд унинг ўйиқ жойига тушади. Ролик кулачокда бўлганда контактлар 1 ва 6 ажрагилган ҳолатда бўлади. Ролик ўйиққа тушганда контактлар пружиналар 4 ва 5 таъсири остида туташади.

**Командоконтроллерлар.** Кулачоги нисбатан кичик контроллерлар кичик қувватли бошқариш занжирларини улаш ва узиш учун ишлатилади. Улар буйруқ берувчи контроллерлар деб ҳам аталади.

**Кнопкалар** бошқариш схемаларида ёрдамчи электр занжирларни улаш ва узиш орқали электромагнит аппаратларни масофадан туриб бошқаради, Кнопкаларнинг тузилиши турлича бўлади (ҳар хил уловчи ва узувчи контактларнинг тўплами билан); бошланғич ҳолатга ўз-ўзидан қайтувчи; босилган ҳолатда қолувчи; махсус калит билан уланувчи ва бошқалар.

Икки контактли бошқариш кнопкасининг тузилиши 12.7-расмда кўрсатилган. Изоляцион материалдан ясалган асос 5 га қўзғалмас контактлар 1 ва 2 жойлаштирилган. Кнопканинг штифти 6 босилганда металл ўтказгичли кўприкча 3 ёрдамида қўзғалмас контактлар 1 туташади, контактлар 2 эса ажралади. Пружина 4 кнопкани дастлабки ҳолатга қайтариш учун

хизмат қилади. Битта асосга саккизтагача контактлар жуфтини жойлаштириш мумкин. Бунда уларни кнопка станцияси деб аталади. Бошқариш схемаларида иккита: юргизиш ва тўхтатиш кнопкалари қўлланилади. Агар юргизиш кнопкаси босилса, бошқариш занжири уланади ва, аксинча, тўхтатиш кнопкаси босилса, бошқариш занжири узилади. Бу кнопкалар битта асосга жойлаштирилади.

Қўл билан бошқариладиган аппаратлар вазифаси ва тузилишига кўра бир неча хилга бўлинади. Улар орасида турли хил узгичлар, тумблёрлар, йўл қайта улагичлар, йўл охиридаги узгичлар ва бошқалар бор. Ушбу аппаратлар ҳам бошқариш занжирини улаш ва узиш учун хизмат қилади. Уларнинг тузилиши ва ишлаши кнопкаларникидан кам фарқ қилади.

### 12.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТ КОНТАКТОРЛАР, МАГНИТЛИ ИШГА ТУШИРГИЧЛАР ВА АВТОМАТЛАР

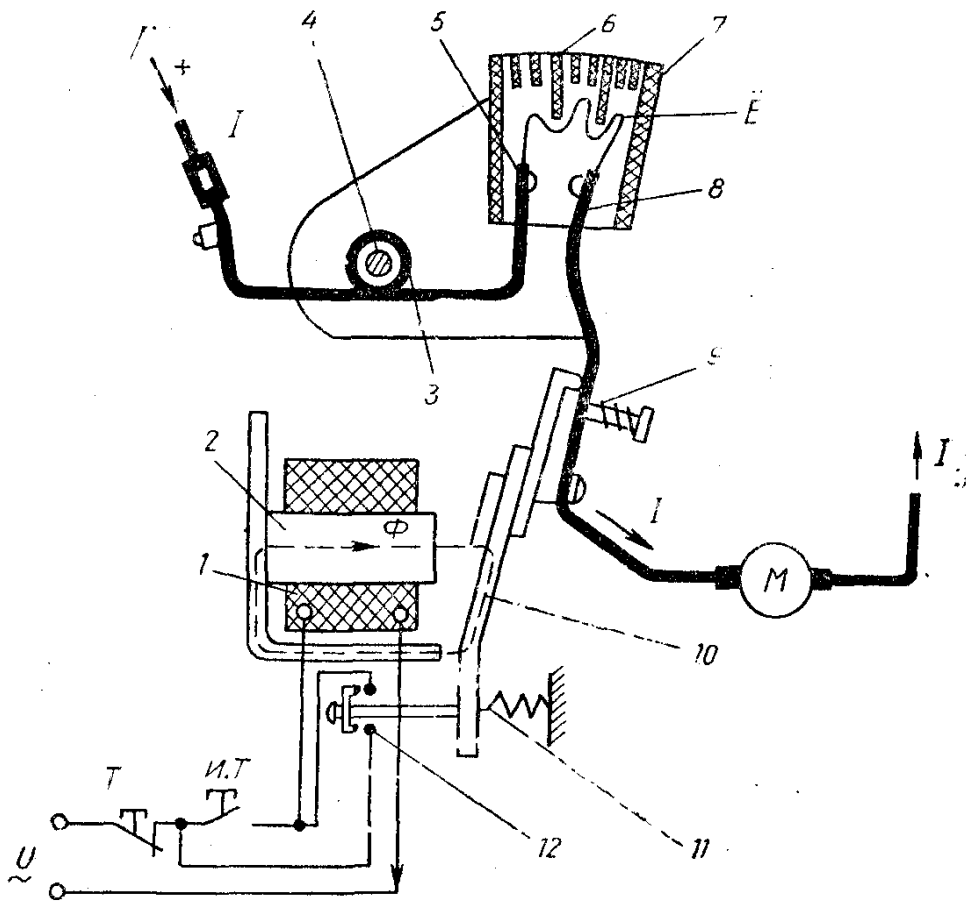
Ўзгармас ва ўзгарувчан ток электр двигателларини, ўзгартиргичларни, электр иситиш қурилмаларни ва бошқа ҳар хил электр энергия истеъмолчиларини электр манбаига улаш учун контактторлар, магнитли юргизгичлар, автоматлар ва бошқа электромагнит аппаратлардан фойдаланилади. Бу аппаратлар катта ток занжирларини автоматик ва масофадан туриб бошқариш имконини беради.

**Электромагнит контакттор.** Коммутацияловчи электромагнит аппарати *контакттор* деб аталади. Унинг бошқариш занжирини қайта улаш қўл билан амалга оширилиб, бунда асосий катта ток занжири автоматик ҳолда уланади ва узилади. Контактторлар токи бўлган электр қурилмани кўп марта ва тез улаш ва узиш учун хизмат қилади.

Контактторлар асосий куч занжиридаги токнинг қийматига кўра ўзгармас ва ўзгарувчан ток контактторларига бўлинади. Контактторлар 75—4000 А токка (ўзгармас токда кучланиши 220, 440, 650, 750 В га ва ўзгарувчан токда кучланиши 380, 500 ва 660 В га) мўлжаллаб ишлаб чиқарилади ва занжирни соатига 600—1500 марта узиб-улаш имконини беради.

Бир қутбли контактторлар тузилишининг принципиал схемаси 12.8-расмда кўрсатилган. Изоляция материалдан ясалган асосга қўзғалмас асосий контакт 5 маҳкамланган. Чулғам 1 нинг ўзаги 2 га ўқ орқали якорь 10 шарнирли тарзда маҳкамланган. Якорга ричаг воситасида қўзғалувчан контакт 8 ўрнатилган. Контакттор уланганда электр тармоғидан келаётган ток ўзак 4 атрофига ўралган чулғам 3 орқали қўзғалмас контакт 5 дан қўзғалувчан контакт 8 га, ундан эса мис тасмалардан ясалган қайишқоқ ричаг орқали болтга ва ундан сим орқали двигателга ўтади.

„Ишга тушириш“ кнопкасини босганда юритувчи электромагнитнинг чулғами 1 га кучланиш берилади ва чулғам орқа-

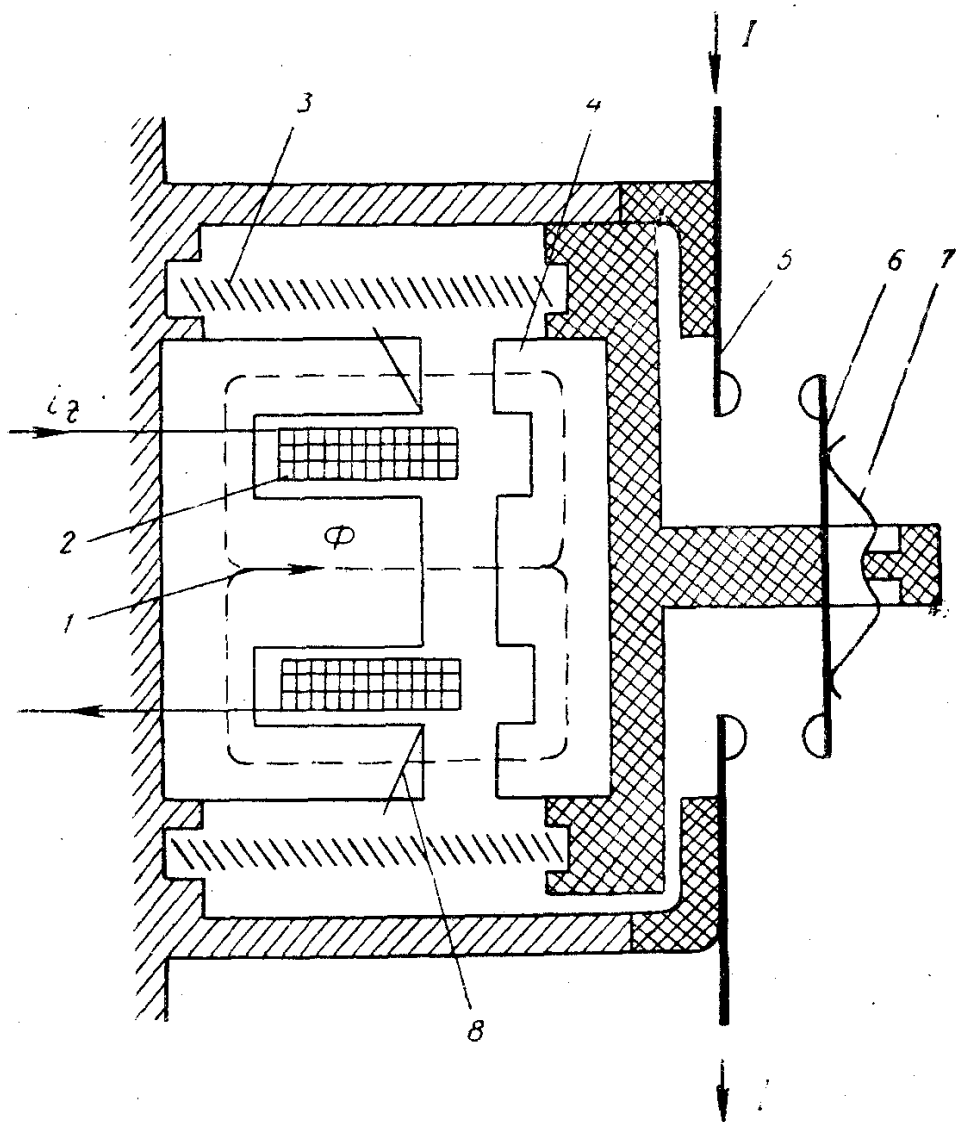


12.8- расм.

ли ток оқиб ўтиб, магнит оқим  $\Phi$  вужудга келади. Магнит оқими электромагнит кучни ҳосил қилади ва у қайтарувчи 11 ни контакт 9 пружиналарнинг кучини енгиб, якорь 10 ни ўзак 2 га тортади. Қўзғалувчан контакт 8 қўзғалмас контакт 5 га тортилади ва асосий контакт уланади, натижада истеъмолчи тирмоққа уланади. Шу вақтда ёрдамчи контакт 12 уланади ва у „Ишга тушириш“ кнопокасини шунтлайди. Сўнгра „Ишга тушириш“ кнопокасини қўйиб юборганда ҳам чулғам 1 занжири ушлмайди, контактор эса уланган ҳолатда қолади. Қўзғалувчан контакт 8 ни қўзғалмас контакт 5 га туташтириш учун контакторда контакт пружина 9 ўрнатилган. Бу пружина, шунингдек, қўзғалувчан контактни қўзғалмас контактга туташтиришдаги титрашни камайтиради.

Асосий контактлар узоқлашганда ёй „Е“ вужудга келади ва у ёй сўндирувчи камера 7 да сўнади. Ёй сўндирувчи камери изоляцион тўсиқларга эга бўлиб, ёйни чўзади ва унинг қиршилгини кўпайтиради. Ёйнинг камерага ўтиши учун магнитли пуфлаш системасидан фойдаланилган, у пўлат ўзак 4 га жоблаштирилган чулғам 3 дан иборат.

Ҳиллакни таъминловчи токнинг турига қараб (ўзгармас ва ўзгарувчан) магнит система ўз хусусиятига эга. Ўзгармас ток



12.9- расм.

контакторларида ўзак яхлит, ўзгарувчан ток контакторларида эса электротехник пўлат пластинкалардан йиғилган бўлади. Мазкур пластинкалар уярма тоқларнинг ва улар ҳосил қилувчи ўзгарувчан ток контакторининг ўзагидаги исрофларнинг камайишини таъминлайди. Ўзгармас ток контакторида тортувчи электромагнит куч ўзгармас магнит оқими, ўзгарувчан ток контакторида эса ўзгарувчан магнит оқими орқали вужудга келади. Якорь 4 нинг ўзгарувчан магнит оқими таъсири остида титрашининг олдини олиш учун магнит системада мис ёки жездан ясалган қисқа туташтирилган ўрам 8 кўзда тутилади (12.9- расм). Мазкур ўрам якорь ёки ўзакнинг бир қисмига кийгизилади. Ўзгарувчан магнит майдон оқими қисқа туташтирилган чулғам билан илашиб, унда ўзгарувчан ток ҳосил қилади. Бундай ўрамнинг мавжудлиги якорга таъсир қилувчи ўзгарувчан магнит оқимларида фаза силжишини ҳосил қилади ва якорнинг мустаҳкам тортилишини таъминлайди.

Магнитли ишга туширгич. Магнитли ишга туширгич 75 кВт гача бўлган асинхрон двигателларни автоматик бошқарувчи қурилма бўлиб, контакторлар асосида ишлаб чиқарилади ва уларга иссиқлик релелари ва ёрдамчи контактлар ўрнатилади.

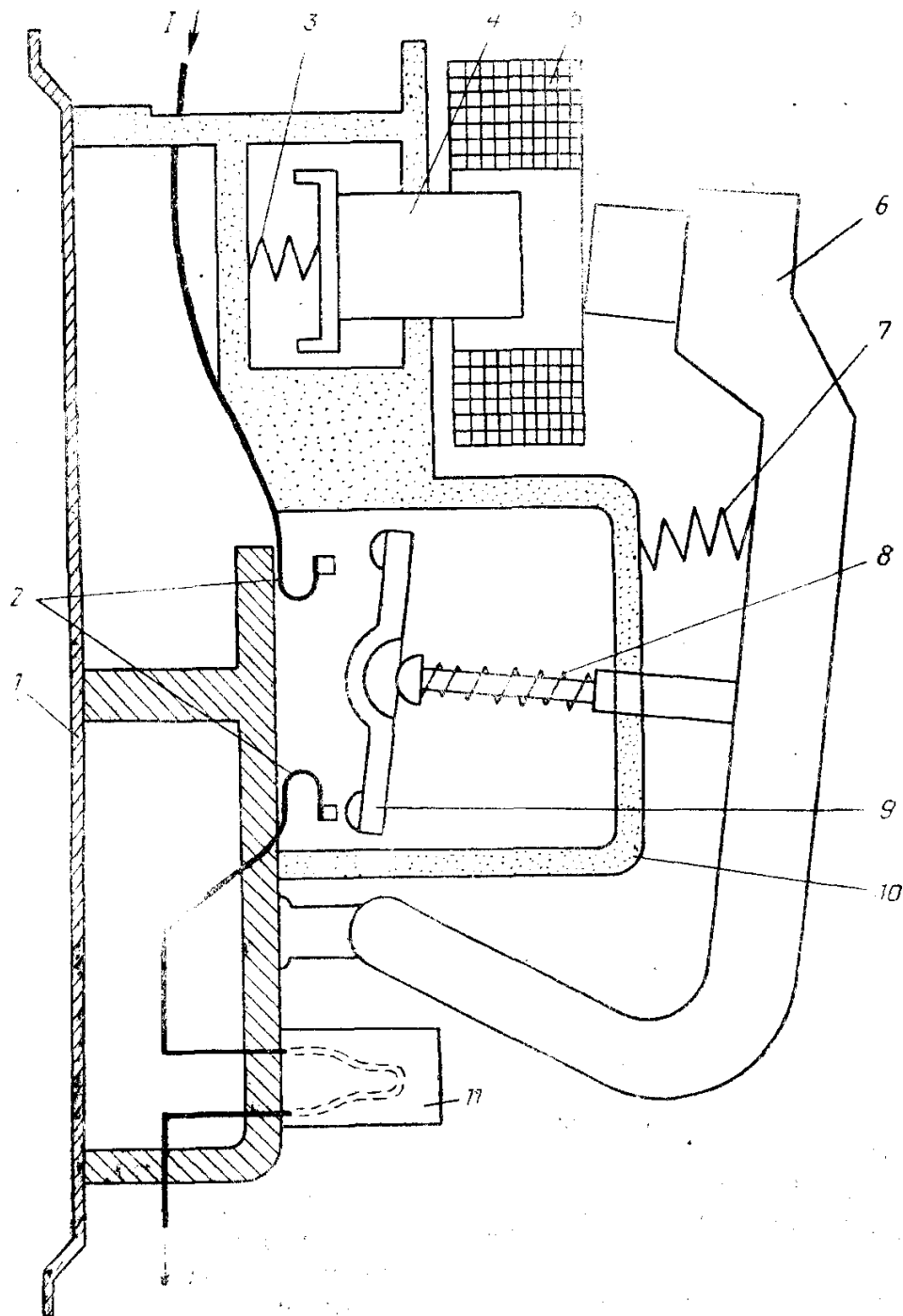
Кичик қувватли асинхрон двигателларни бошқариш учун тўғри йўлли магнит системали магнит юритгичлардан фойдаланилади (12.9-расм). Магнит ўтказгич 1 бошқариш чулғами 2 билан магнитли юритгич корпусига қўзғалмас қилиб маҳкамланади. Асоснинг изоляцион қисмига қўзғалмас контактлар 5 ва якорга қўзғалувчан контактлар 6 маҳкамланади. Бошқариш чулғамидан ток  $I_1$  ўтганда магнит системада магнит оқими  $\Phi$  вужудга келади. Унинг таъсири остида якорь 4 пружина 3 нинг сиқиш кучини енгиб, қўзғалмас магнит ўтказгичга тортилади. Якорь билан боғланган қўзғалувчан контактлар 6 қўзғалмас контакт 5 га уланади ва коммутацияланаётган занжирдан ток  $I$  ўтади. Контактлар қайишқоқ пўлат пластинкали яси пружина 7 орқали босилади.

Ўзгарувчан ток магнитли юритгичнинг бошқариш чулғамидаги ўрамлар сони ўзгармас ток юритгичининг чулғамидагига нисбатан кам. Шунинг учун магнит занжири ёпиқ бўлганда ўзгарувчан ток магнитли юритгичнинг бошқариш чулғамлари катта индуктив қаршиликка эга. Бошқариш чулғами уланган заҳоти унда ток катта бўлади, якорь тортилгандан сўнг ток камаяди. Ўзгарувчан ток магнитли ишга туширгичи уланганда титраш ҳосил бўлади. Бу титраш бошқариш чулғамини 50 Гц ли ўзгарувчан ток билан таъминлаганда чулғам токи ва магнит оқими ноль қийматлардан секундига 100 марта ўтишида вужудга келади. Бу вақтда якорни ўзакка тортиб турувчи электромагнит кучи ҳам нолга тенг бўлади. Бунинг натижасида якорь титрашининг вужудга келиши, дириллашни юзага келтиради. Шунинг учун ўзгарувчан ток магнитли ишга туширгичлари титрашни камайтирувчи махсус қурилма — қисқа туташтирилган ўрам 8 га эга. Қисқа туташтирилган ўрам якорь ёки ўзак учларига жойлаштирилади ва магнит ўтказгичнинг бир қисмини қамраб олади. Бошқариш чулғами ҳосил қилган ўзгарувчан магнит майдон оқимининг бир қисми қисқа туташтирилган ўрам билан илашиб, унда ЭЮК ҳосил қилади. Ушбу ЭЮК таъсирида ўрамдан ток оқиб ўтади ва ўрамда магнит ҳосил бўлади. Ўрам майдонининг оқими бошқарувчи чулғам майдонининг оқимидан фаза бўйича деярли  $90^\circ$  га кечикади. Шунинг учун бошқариш чулғамининг магнит оқими ноль қийматга эришганда якорь қисқа туташтирилган ўрамнинг магнит оқими ҳосил қилган электромагнит куч орқали ўзакка тортилиб туради.

Бошқариш чулғамининг токи узилганда магнит майдон оқими камаяди ва пружина 3 таъсири остида якорь чекка ўнг ҳолатга сурилади. Натижада якорга маҳкамланган қўзғалувчан контакт қўзғалмас контактдан ажралади.

Саноатда тўғри йўлли қўзғалувчан системали магнит ишга туширгичларнинг ПМЕ тури ва унинг ўрнини эгаллаётган ПМЛ тури кенг ишлатилмоқда.

ПМЛ турдаги магнитли ишга туширгичлар ротори қисқа туташтирилган уч фазали асинхрон двигателларни масофадан туриб тўғридан-тўғри электр тармоққа улаш билан ишга тушириш ва тўхтатиш учун хизмат қилади. Бу магнитли ишга туширгичлар двигателни рухсат этилмаган давомли ўта юкланишдан ва фазалардан бири узилганда вужудга келувчи тоқлардан иссиқлик релеси ёрдамида ҳимоя қилади. Ишга ту-



12.10- расм.

ширгичлар магнит ўтказгичларининг номинал кучланиш 380 В ва ток 10—63 А га мўлжаллаб ясалган хили III-симон турли тўғри йўлли системага эга, 80—200 А токка мўлжалланган хиллари эса II-симон турда бўлади.

Ўртача қувватли (17—75 кВт) асинхрон двигателларни номинал 380—500 В кучланишда бошқариш МАЕ серияли магнит юритгич ёрдамида амалга оширилади. У бурилувчи турдаги қўзғалувчан системага эга (12.10-расм). Юритгич металл асос 1 га эга. Қўзғалмас контактлар 2 изоляцион камера 10 ичига, кўприк турдаги қўзғалувчан контактлар 9 эса қўзғалувчан якорь 6 га жойлаштирилган. Контактлар контакт пружиналар 8 орқали босилади. Қўзғалмас магнит ўтказгич 4 чулғам 5 билан амортизацияловчи пружиналар 3 га ўрнатилган. Юритгичнинг қўзғалувчан системаси ўзининг массаси ва пружина 7 ҳисобига ажратилган ҳолатга қайтади. Якорь титрашининг олдини олиш учун электромагнит қутбига қисқа туташтирилган ўрам ўрнатилади. Двигателларни ўта юкланишдан ҳимоя қилиш учун юритгичларга ўрнатилган иссиқлик релелари 11 дан фойдаланилади.

**Автоматик ҳаво узгич.** Автоматик узгич (автомат) электр занжирларни ва электр жиҳозларни улаш ва узиш учун ҳамда уларни қисқа туташилардан ва ўта юкланишлардан ҳимоя қилиш учун ишлатилади (12.11-расм). Ҳозирги электр қурилмаларда А3100 серияли (600 А гача) автоматик узгичлардан фойдаланилади. Улар секин-аста янги сериялар (А3700 ва АЕ-2000) билан алмаштирилмоқда. А3700 серияли узгичлар 40 дан 630 А гача бўлган номинал тоқлар учун мўлжалланган. Улар 4000 дан 6300 А гача оний таъсир этувчи максимал токка мўлжалланган электромагнитли максимал ток ажратгичларга эга.

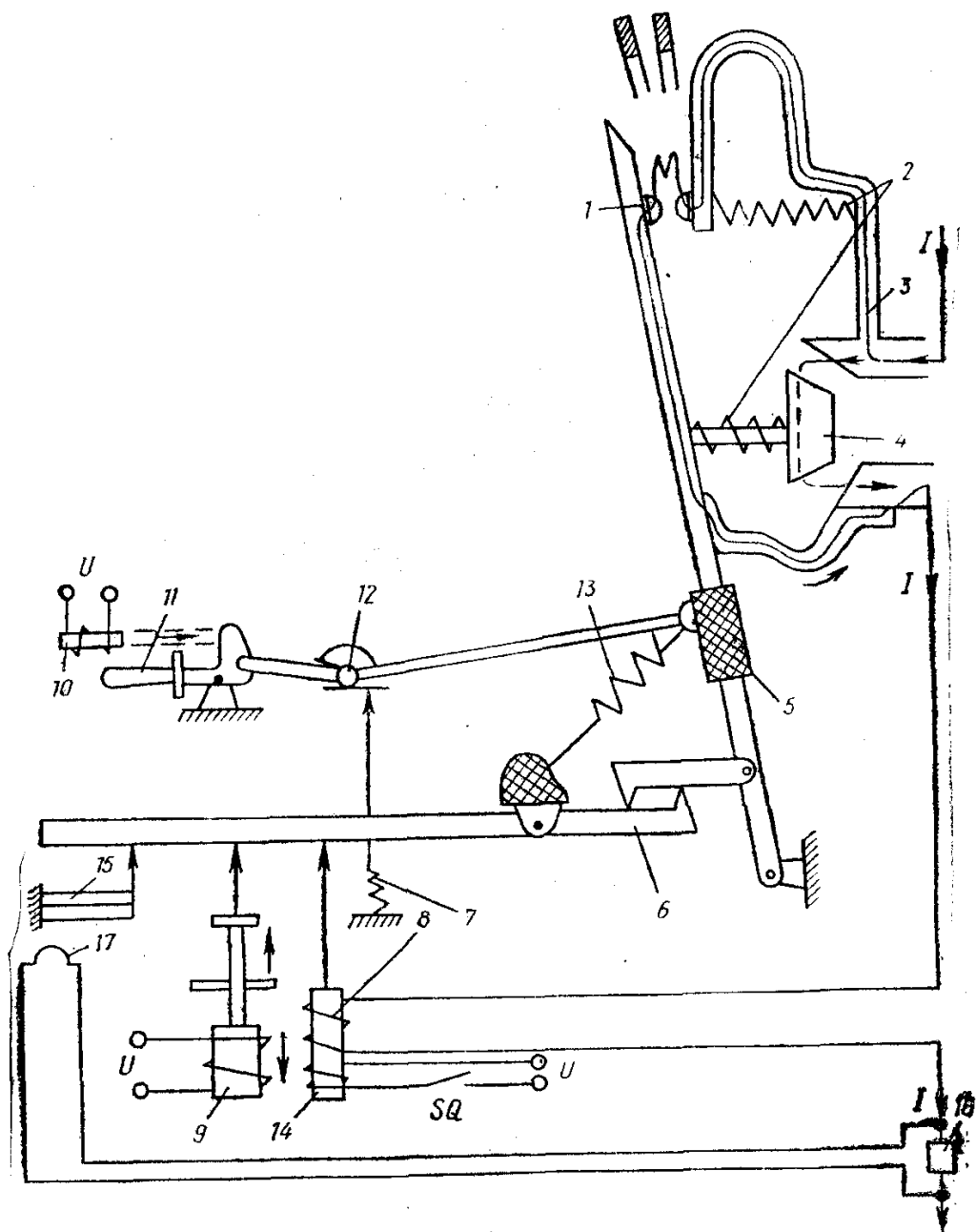
Автоматик ҳаво узгичнинг принципиал схемаси 12.11-расмда кўрсатилган. Автоматик ҳаво узгичларда ёйни сўндириш учун махсус муҳит ишлатилмайди, у ҳавода ўчирилади.

Қутблар сонига кўра автоматик ҳаво узгичлар бир, икки ва уч қутбли бўлади. Кузатиладиган катталиқ (ток кучи, кучланиш ва иссиқлик миқдори)нинг белгиланган қийматдан ортиш лаҳзасидан бошлаб контактларнинг ажралиш лаҳзасигача бўлган вақтга кўра, яъни ишлаб кетиш вақти  $t_n$  га кўра автоматлар қуйидагиларга бўлинади: нормал автоматлар ( $t_n = 0,02 \div 0,1$  с); тез таъсир қилувчи автоматлар ( $t_n \leq 0,005$  с); ишлаб кетиш вақти 1 с гача бўлган ростланувчи селектив автоматлар.

Автоматлар кучланиши ўзгарувчан токда 380, 660 В ва ўзгармас токда 110, 220, 440 В бўлганда 6000 А гача тоқлар учун мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Автоматларнинг узиш қобилияти 200—300 кА токкача етади. Автоматлар қуйидаги асосий элементлар: ёй сўндирувчи тузилма, контактлар, юритма, ёйнинг ажратиш механизми, ажраткичлар ва ёрдамчи контактлардан иборат.

Автоматнинг контактлари узоқ вақт қизимасдан номинал тоқларни ўтказиши ва қисқа туташув тоқларини узиш-





12.11-расм.

да ҳосил бўлувчи ёй таъсирига чидаши керак. Биринчи шартга мувофиқ контактларни солиштирма қаршилиги кичик материалдан, иккинчи шартга мувофиқ эса ёй таъсирига чидамли материалдан тайёрлаш керак. Ҳар иккала шартни бир вақтнинг ўзида бажариш мумкин бўлмаганлиги учун икки жуфт — бош 3 ва 4 ҳамда ёй сўндирувчи 1 контактлар қўлланилади (12.11-расм). Нормал режимда токнинг асосий қисми мис, кумуш ёки уларнинг қотишмасидан тайёрланган бош контактдан ўтади. Автомат узилганда аввал асосий контактлар ажралади, лекин ток занжири узилмайди, чунки токнинг ҳаммаси ёй сўндирувчи контактлар занжирига ўтади. Сўнгра ёй сўндирувчи контактлар ажралади ва уларда электр ёйи сўнади. Узилади-

ган токнинг қиймати унча катта бўлмаганда ёй сўндирувчи контактлар мисдан, катта токларда эса вольфрам, унинг қотишмасидан ёки метали чиннидан тайёрланади. Ёй сўндирувчи контактлар конструкцияси бўйича осон алмаштириладиган қилиб ясалади.

Автоматнинг ёй сўндирувчи тузилмаси автоматни ўчирганда ҳосил бўладиган ёйни сўндириш учун хизмаг қилади. Автоматларда пўлат пластинкали ёй сўндирувчи тузилмалаб кенг қўлланилади.

Автоматнинг юритмаси бевосита қўл билан ёки масофадан бошқарилувчи бўлиши мумкин. Қўл билан бошқарилганда занжирни улаш даста 11 ни бураш билан амалга оширилади. Масофадан бошқарилганда электромагнит 10 ёрдамида юритмага таъсир қилинади.

Эркин ажратиш механизми автоматни исталган вақтда ўчиришни таъминлайди, шўнингдек, улаш жараёнида ҳам ўчиришни (агар у лозим бўлса) амалга оширади. У таянчга шарнирли тарзда боғланган ричаг 12 дан иборат. Автоматик узгичнинг принципиал схемаси (12.11-расм) да автомат узилган ҳолатда турибди, чунки асосий контактлар 3 ва 4 ажратилган ва коммутация токи узувчи контактлар 1 нинг параллел занжири орқали ўтмоқда. Бундай конструкцияда ёй асосий контактларда вужудга келмайди ва улар куймайди. Узувчи (ёй сўндирувчи) контактлар бош контактлар 3 ва 4 дан етарли масофага узоқлашганда ажралади. Ток занжирининг узилиши натижасида электр ёйи ҳосил бўлади. У ёй сўндирувчи камерада сўндирилади. Контактлар охиши туташини учун узвий ва асосий контактлар пружиналар 2 билан таъминланган. Автоматни улаш учун даста 11 ни босиш ёки электромагнит 10 га кучланиш бериш керак. Улашда ҳаракат даста 11 ёки электромагнит 10 дан ричаглар 12 ёрдамида асосий тортувчи деталь (ричаг) 5 га узатилади. Бу ричаг аввал ёй сўндирувчи 1 ни, сўнгра эса асосий контактлар 3 ва 4 ни туташтиради. Бунда узувчи пружина 13 чўзилади ва бутун система илгак 6 да илиниб туради.

Ажраткичлар электромагнит ёки биметалли механизмлар бўлиб, электр занжирининг берилган параметрларини назорат қилади ва мазкур параметрлар (ток, кучланиш ва иссиқлик) белгиланган қийматларидан ошиб кетганда автоматни ўчиради. Ушбу автомат электр жиҳозларни қисқа туташувдан, ўта юкланишдан ва минимал кучланишдан ҳимоя қилади. Қисқа туташув токи максимал ажраткич ғалтаги 8 дан ўтганда унинг электромагнит кучи қўзғалувчан ўзакли ғалтакка таъсир қилади ва илгак 6 ни чиқариб юборади.

Минимал кучланишни ажраткич тармоқ кучланиши берилдиган ғалтак 9 га ва пружинага эга. Тармоқ кучланиши номинал бўлганда уларнинг кучлари мувозанатлашади ва соленоиднинг штоги автоматни ўчириш (узиш) га таъсир қилмайди. Тармоқ кучланиши номиналдан пасайганда қўзғалувчан

ўзак ҳосил қилаётган куч етарли бўлмайди ва унинг штоги пружина таъсирида илгак 6 ни чиқариб юборади. Автоматни масофадан кнопка SQ ёрдамида ўчириш учун мустақил ажраткич ғалтаги 14 қўлланиши мумкин.

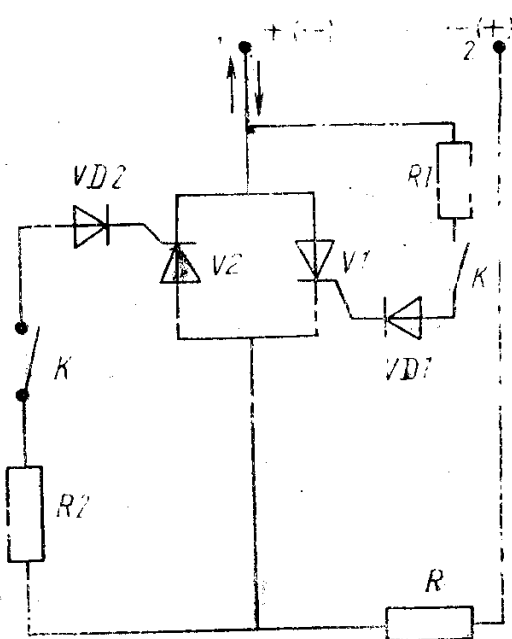
Биметалли (иссиқлик) ажраткич 15 иссиқликни электр тармоғига шунт 16 орқали уланган қиздирувчи элемент 17 дан олади. Чизиқли кенгайиш коэффициентини турлича бўлган иккита металл (биметалл) дан ташкил топган пластинка қизиганда эгилади. Бунда мазкур пластинканинг штоги илгак 6 ни чиқариб юборади. Иссиқлик ажраткич ёрдамида истеъмолчилар ўта юкланишдан ҳимоя қилинади. Ишлаб кетиш вақти ўта юкланиш токига боғлиқ, яъни ток қанча катта бўлса, биметалл пластинка шунча тез қизийди ва занжирни узиш шунча тезроқ амалга ошади. Иссиқлик инерцияси катта бўлганлиги учун иссиқлик ажраткичлар электр двигателларни ишга туширувчи токларнинг таъсирини сезмайди.

Баъзи автоматлар фақат электромагнит ёки иссиқлик ажраткичга эга бўлиши мумкин.

#### 12.4. ТИРИСТОРЛИ КОНТАКТОРЛАР

Куч занжирларини коммутацияловчи (узиб-уловчи) электромагнитли аппаратлар — контакторлар, магнитли ишга туширгичлар ва бошқа шунга ўхшаш элементларнинг энг муҳим камчилиги улардаги контактлар ишончлилигининг пастлигидир. Катта токларнинг коммутацияси контактлар орасида ёйнинг вужудга келиши билан боғланган. Бу эса уларнинг қизишига, эришига ва натижада коммутацияловчи аппаратларнинг ишдан чиқишига олиб келади. Куч занжирлари тез-тез улаб-узиб туриладиган қурилмаларда коммутацияловчи аппаратлар контактларининг ишончсиз ишлаши бутун қурилманинг ишлашига салбий таъсир қилади. Тиристорлар асосида яратилган тиристорли контакторлар юқорида кўрсатилган камчиликлардан холидир. Тиристорли контакторлар ўзгарувчан ва ўзгармас токда ишлайдиган хилларга бўлинади.

Бир фазали тиристорли ўзгарувчан ток контакторларининг схемаси 12.12-расмда кўрсатилган. Бу схемадан қаршилиги  $R$  бўлган истеъмолчини бир фазали ўзгарувчан ток тармоғига улаб-узишда фойдаланилади. Мазкур схеманинг ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз.



12.12- расм.

Контактор вазифасини ўзаро қарама-қарши уланган тиристорлар  $V1$  ва  $V2$  бажаради. Бунда  $V1$  нинг катода  $V2$  нинг анодига уланган.  $V1$  ва  $V2$  лар нагрузка қаршилиги  $R$  билан кетма-кет уланади. Тиристор  $V1$  нинг бошқарувчи электродиод  $VD1$ , калит  $K$ , резистор  $R1$  орқали тиристор  $V1$  нинг анодига, тиристор  $V2$  нинг бошқарувчи электродиод эса диод  $VD2$ , калит  $K$  ва резистор  $R2$  орқали тиристор  $V2$  нинг анодига уланган. Бундай улаш тиристор аноди мусбат бўлганда унинг бошқарувчи электродиод катодга нисбатан мусбат бўлишини таъминлайди. Бу эса тиристорнинг ишлашига (очилишига) қулай шароит яратади.

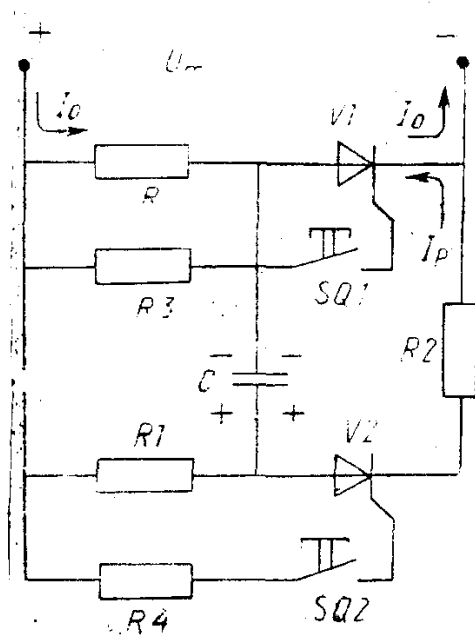
Контакторни улаш ва истеъмолчи занжирга кучланиш бериш учун калит  $K$  ни улаш керак, унинг контактлари тиристорлар ( $V1$  ва  $V2$ ) нинг бошқариш занжирларини улайди. Шу вақтда агар қисма  $I$  да мусбат потенциал (ўзгарувчан ток синусоидасининг мусбат ярим тўлқини) бўлса, у ҳолда тиристор  $V1$  нинг бошқарувчи электродиодга резистор  $R1$  ва диод  $VD1$  орқали мусбат кучланиш берилади. Тиристор  $V1$  очилади ва нагрузка  $R$  дан ток ўтади. Тармоқ кучланиши  $U_m$  нинг қутби алмашганда тиристор  $V2$  очилади. Шундай қилиб, нагрузка ўзгарувчан ток тармоғига уланади. Калит  $K$  ни узганда бошқарувчи электрод занжири узилиб қолади, натижада тиристорлар уланмайди ва нагрузка тармоқдан узиб қўйилади.

Кўриб чиқилган схемада тиристорни улаш калит ёрдамида амалга оширилишига қарамасдан, бу тиристорли контакторнинг ишлаш ишончилиги электромагнит контакторникидан анча юқори, чунки калит контактлари бошқарувчи электродлар занжирини коммутациялайди, уларга эса нагрузка токидан бир неча миллион мартагача кичик ток келади. Калит ўрнида реленинг контактидан фойдаланиш мумкин. Тиристорли контакторларни электрон схемалар ёрдамида контактсиз қилиш мумкин. Бир фазали тиристорли контакторлар асосида уч фазали тиристорли контакторларни яратиш ҳеч қандай қийинчилик туғдирмайди.

Тиристорли контакторлар каби ПТ ва ПТК серияли тиристорли юритгичлар ҳам ишлаб чиқилган. Тиристорли юритгичларнинг ПТ ва ПТК сериялари 16 ва 40 А тоқларга ва 380 В кучланишга мўлжалланган бўлиб, асинхрон двигателларни манбага улаб-узиш учун хизмат қилади. ПТК сериядагиси эса двигателларни ўта юкланишлардан ва фазаларнинг узилишидан ҳам ҳимоя қилади.

Тиристорли ўзгармас ток контактори ўзгарувчан ток тиристорли контакторидан фарқли ўлароқ мажбурий коммутация узелига эга бўлиши керак. Чунки, тиристорни ёпиш учун бошқарувчи сигналнигина ўчириш кифоя қилмай, балки тиристор тоқини ҳам нолгача пасайтириш керак.

Тиристорли ўзгармас ток контакторининг принципиал схемаси 12.13-расмда кўрсатилган. Тиристор  $V1$  нагрузка  $R$  ни улайди, тиристор  $V2$ , конденсатор  $C$ , резистор  $R1$  ва  $R2$  лар



12.13- расм.

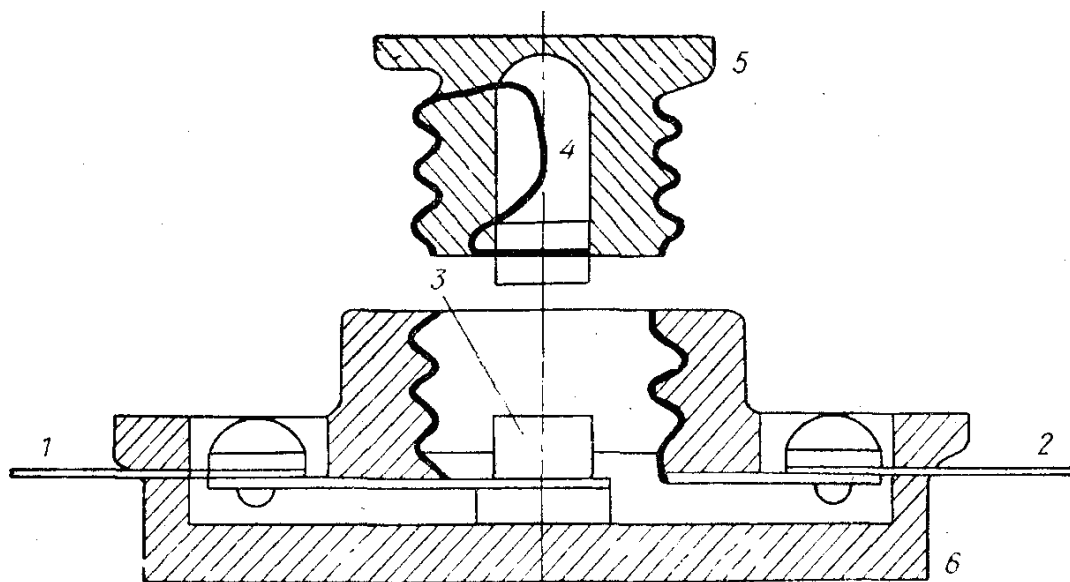
эса тиристор  $V1$  нинг мажбурий ёпилишини таъминлайди. Резисторлар  $R_3$  ва  $R_4$  тиристорларнинг бошқарувчи тоқларини чеклаш учун хизмат қилади. Нагрузкани улаш учун кнопка  $SQ1$  ни босиш керак, бунда тиристор  $V1$  нинг бошқарувчи электродига мусбат (катодига нисбатан) потенциал берилади ва у очилади, нагрузка  $R$  орқали эса ток  $I_0$  оқиб ўтади. Шу вақтда конденсатор  $C$  зарядлана бошлайди, натижада мажбурий коммутация занжири ишга тайёрлана боради. Нагрузкани тармоқдан узиш, яъни ток  $I_0$  ни нолгача камайтириш учун кнопка  $SQ2$  ни босиш керак. Бу вақтда тиристор  $V2$  очилади ва конденсатор  $C$

нинг резистор  $R2$  орқали зарядсизланиши бошланади. Зарядсизланиш токи  $I_p$  ток  $I_0$  га нисбатан қарама-қарши йўналишга эга. Шунинг учун тиристор орқали ўтувчи натижаловчи ток  $I_0 - I_p$  нолгача камайганда нагрузка  $R$  тармоқдан узилади. Нагрузкани қайтадан манбага улаш учун яна кнопка  $SQ1$  ни босиш керак.

## 12.5. ҲИМОЯ АППАРАТЛАРИ

Кучланиши 1000 В гача бўлган электр қурилмалари ва тармоқларининг занжирларини ўта юкланиш ва қисқа туташувларда автоматик ажратиш учун сақлагичлар, автоматлар, магнитли юритгичлар ва релелардан фойдаланилади.

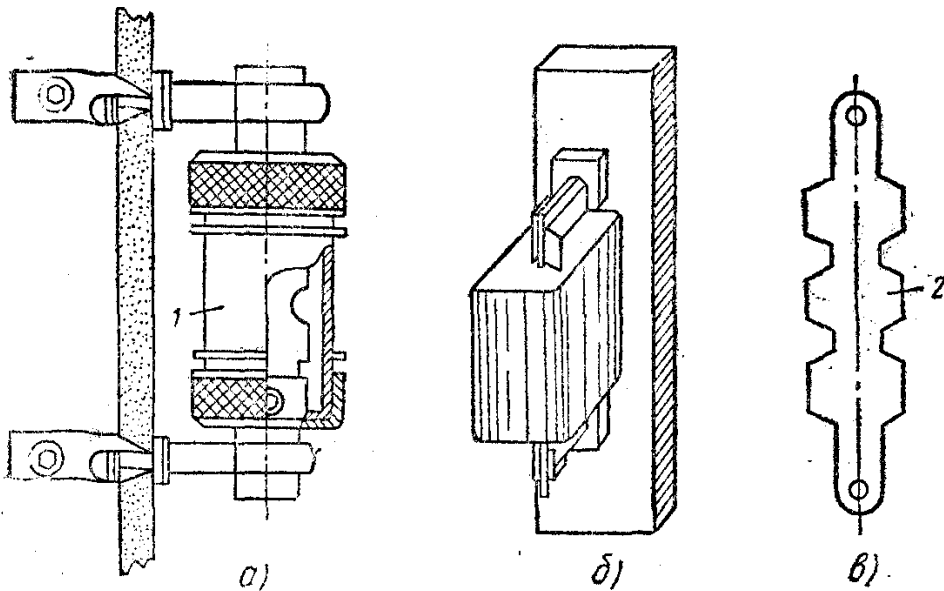
**Сақлагичлар.** Электр занжирида қисқа туташув ёки ўта юкланиш юзага келганда уни автоматик равишда бир марта узиш учун хизмат қиладиган аппарат сақлагич деб аталади. Занжирни сақлагич воситасида узиш эрувчан қўйманинг эриши туфайли амалга ошади. Бу эрувчан қўйма ўзидан муҳофазаланаётган занжирнинг токи оқиб ўтганда қизиб эрийди. Эрувчан қўймани қўлда алмаштириш мумкин. Конструкциясининг соддалиги ва арзонлиги сабабли эрувчан сақлагичлар саноат электр қурилмаларида, электр тармоқларида, электр станция ва подстанцияларда, радиотехника қурилмаларида ҳамда турмушда шу кунларда ҳам кенг қўлланилади. Сақлагичларнинг конструкцияси турлича бўлиб, миллиампердан то минглаб ампергача тоқларга мўлжалланади. Ҳамма сақлагичлар асосий элементлар *асос, эрувчан қўйма, контакт* ва *ёй сўндирувчи қурилма* ёки *ёй сўндирувчи муҳитдан* иборат бўлади.



12.14- расм.

Пробкали сақлагичлар 250 В гача кучланиш ва 60 А гача токка мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Пробкали сақлагич (12.14-расм) асос 6 дан ва унга бураб маҳкамланадиган резьбали пробка 5 дан иборат. Пробка чиннидан ясалади ва иккита металл контактлар билан таъминланади. Улар орасига эрувчан сим 4 пайвандланади. Кириш сими 1 қўзғалмас контакт 3 га уланган. Бу контакт алмашинувчи пробка 5 да жойлашган эрувчан қўйма 4 (маълум бир номинал ток учун мўлжалланган) орқали пробка 5 нинг бурама контакт ва чиқиш сими 2 уланган патрон орқали ёпиқ занжир ҳосил қилинади. Ток номинал қийматдан ортиб кетганда қўйма 4 эриб, занжир узилади.

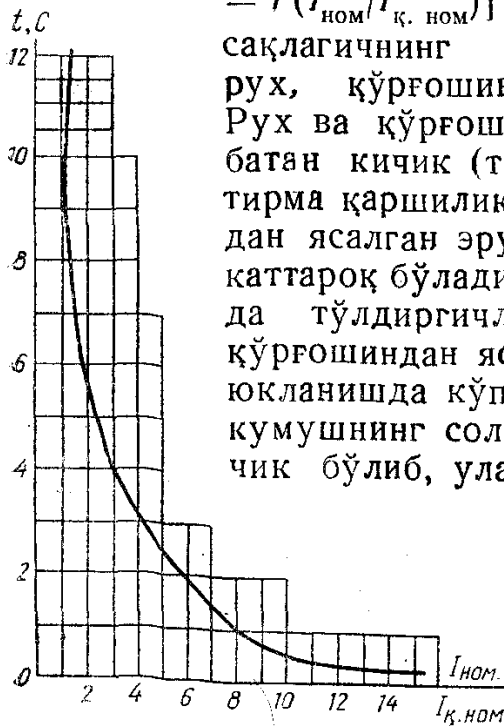
ПР ва НПР турдаги найчали сақлагичлар (12.15-расм). Бундай сақлагич газ ҳосил қилувчи фибрالي найча 1 дан иборат бўлиб, унинг ичига аниқ ток кучига мўлжалланган рухли эрувчан қўйма 2 жойлаштирилган (12.15-расм, в). Қўйма эришда унинг торайган жойларида бир нечта кетма-кет уланган ёйлар ҳосил бўлиб, уларнинг таъсирида фибрالي найча ички юзасининг айрим қисмлари парчаланadi ва катта миқдорда газ ажратади. Бунда найча ичида ҳосил бўлган юқори босим ёйнинг тез сўнишига имкон беради. ПР сақлагичларнинг патронлари 15, 60, 100, 200, 350, 600 А номинал тоқларга мўлжалланади (12.15-расм, а). Тўлдиргичли НПР турдаги ёпиқ сақлагичларда эрувчан қўймалар кварц қуми билан тўлдирилган ва кавшарлаб (қалайлаб) зич беркитилган чинни найчаларга жойлашган (12.15-расм, б). Бу сақлагичлар жуда катта узиш қобилиятига эга бўлиб, уларда ток товушсиз ва алангасиз узилади. Мазкур сақлагичларнинг асосий техник параметрлари номинал кучланиш ( $U_{ном}$ ) ва номинал ток ( $I_{ном}$ ) ҳисобланади.



12.15- расм.

Эрувчан қўйманинг узоқ вақт эримасдан ишлашини таъминлайдиган токнинг максимал қиймати эрувчан қўйманинг номинал токи  $I_{ном}$  деб аталади. Қўймадан ўтадиган ток  $I_{ном}$  нинг қиймати қўйма учун мўлжалланган токнинг номинал қиймати  $I_{қ.ном}$  га нисбатан қанча катта бўлса, қўйманинг эриш вақти, яъни ҳимоя қилинаётган занжирнинг узилиш вақти шунча кичик бўлади.

12.16- расмда эрувчан қўймаларнинг характеристикаси  $[t = t(I_{ном}/I_{қ.ном})]$  келтирилган. Эрувчан қўйма



12.16- расм.

сақлагичнинг асосий элементи бўлиб, мис, рух, қўрғошин ёки кумушдан тайёрланади. Рух ва қўрғошиннинг эриш температураси нисбатан кичик (тегишлича 419 ва 327°C), солиштирма қаршиликлари эса катта бўлгани учун улардан ясалган эрувчан қўйманинг кўндаланг кесими каттароқ бўлади. Бундай қўймаларни сақлагичларда тўлдиргичларсиз ишлатиш мумкин. Рух ва қўрғошиндан ясалган қўймали сақлагичлар ўта юкланишда кўпроқ вақт ишлай олади. Мис ва кумушнинг солиштирма қаршилиги нисбатан кичик бўлиб, улардан ясалган қўйманинг кўндаланг кесими катта эмас, бу уларнинг тез ишлаб кетишини таъминлайди. Бундай қўймалар қўйманинг ҳажмини кичрайтириш муҳим аҳамиятга эга бўлган тўлдиргичли сақлагичларда қўлланилади. Ишлатиш жараёнида оксидланишни камай-

гириш учун, одатда, сиртига қалай суви юритилган мис қўймалар қўлланилади. Кумуш оксидланмайди, шунинг учун уларнинг характеристикалари барқарордир. Лекин нархи қиммат бўлганлиги учун улар зарур ҳоллардагина қўлланилади.

Айрим истеъмолчиларни (масалан, двигателларни) ҳимоя қилувчи қўйма ва сақлагичларни танлашда иккита шартга риоя қилиш керак:

1) улардан узоқ вақт давомида нормал ток (иш токи  $I_{иш}$ ) ўтганда қўймалар эримаслиги, яъни  $I_{қ, ном} \geq I_{иш}$ ;

2) қўймалар ҳимоя қилинаётган двигателларнинг қисқа муддатли (ишга тушириш) токига чидамли бўлиши, яъни  $I_{қ, ном} \geq \frac{I_{и, т}}{(1,5 \div 2,5)}$ .

Оғир шароитда ишга тушириладиган электр юритмаларда 1,5 ÷ 2 коэффициент, енгил шароитда эса 2,5 коэффициент олинади.

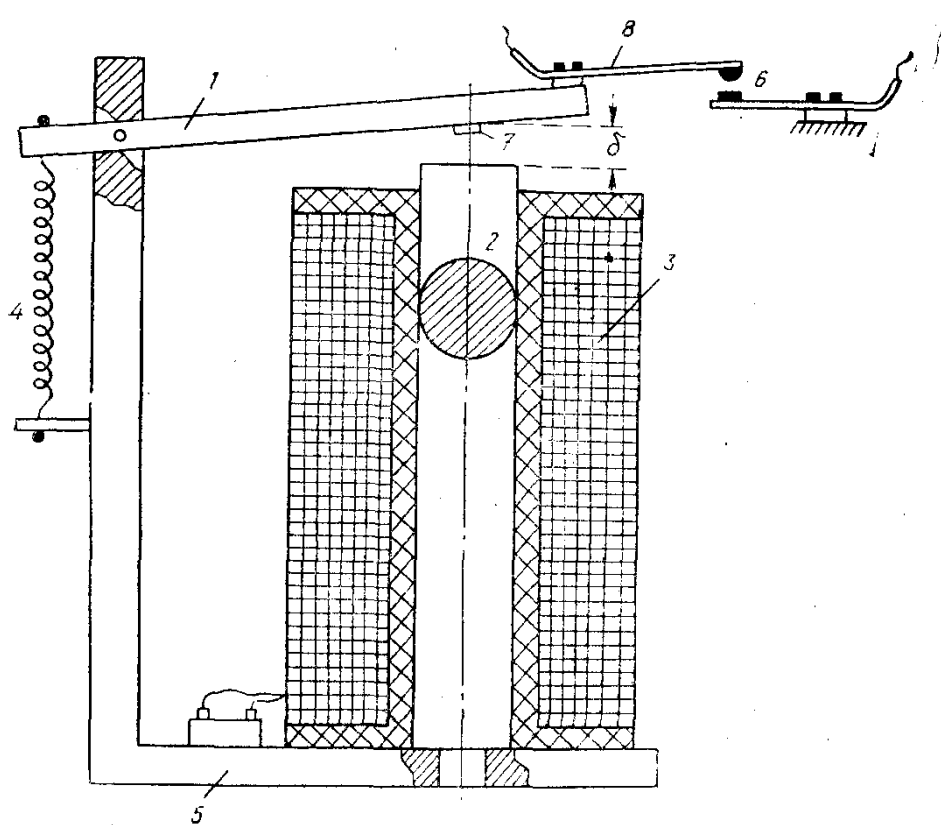
**Реле.** Ҳозирги замон мураккаб электр системаларида ҳамда электр машиналар ва аппаратлар автоматикасида такомиллашган ва мустаҳкам қурилмалар — релелар кўп ишлатилади. Уларда кириш (бошқариш) катталиги ўзгарганда чиқиш катталиги дарҳол ўзгаради, натижада чиқиш контактлари ё уланади (бошқарилаётган занжирда ток пайдо бўлади), ёки узилади.

Бошқариш аппаратлари билан биргаликда ишлайдиган ҳимоя релеларининг вазифаси бузилишга олиб келувчи иш режимларида электр системаларни, двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни бузилишдан сақлашдир. Қабул қилиш элементларининг ишлаш принципага кўра релелар: электромагнит, индукцион, қутбланувчи, магнитоэлектрик, электродинамик ва электрон турларга бўлинади. Кириш параметрларига қараб релелар: ток релеси, кучланиш релеси, иссиқлик релеси ва бошқа турларга бўлинади.

Айрим ҳолларда битта реле ёрдамида бир-бирига боғлиқ бўлмаган бир нечта занжирларни бошқариш керак бўлади. Бунда оралиқ релелар ишлатилади. Реленинг ишга тушиш вақти 0,05 — 0,25 с.

Электромагнитли релелар кўпроқ тарқалган бўлиб, улар бошқариш чулғамидаги ток (кучланиш) ўзгаришидан таъсирланади. Автоматикада жуда кўп ишлатиладиган электромагнитли реленинг содда кўриниши 12.17-расмда тасвирланган. У қўзғалувчан якорь 1, ўзак 2, электромагнит чулғами 3, магнит ўтказгич 5, қайтарувчи пружина 4, нормал очик контактлар 6 ва магнитсиз ўзакча 7 дан иборат. Электромагнит чулғамидан ўзгармас ёки ўзгарувчан ток ўтганда якорни тортувчи электромагнит куч вужудга келади. Бу вақтда қайтарувчи пружина тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилиди. Қўзғалувчан контакт ясси контакт пружина 8 орқали якорга маҳкамланган. Электромагнит чулғами бошқариш зан-





12.17- расм.

жирининг бир қисми бўлса, контактлар эса ижрочи занжирнинг бир қисмидир.

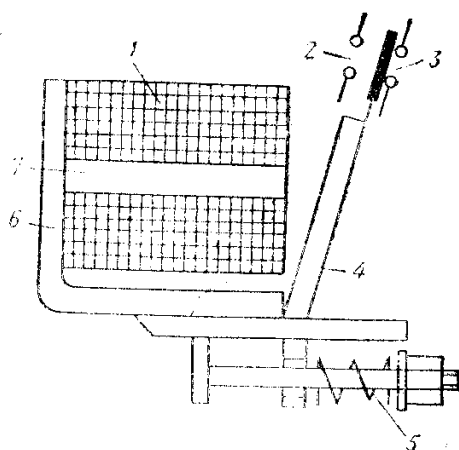
Электромагнит чулғамидан ток оқиб ўтганда магнит майдони вужудга келади. Майдоннинг магнит оқими ўзак, магнит ўтказгич ҳамда якорь орқали туташади ва якорни ўзакка тортади. Бу вақтда ўзакка маҳкамланган қўзғалувчан контакт қўзғалмас контактга уланади. Натижада ижрочи занжирда контактлар уланади ва ижрочи механизм ишга тушади. Контакт пружина  $\delta$  босим ҳосил қилиб, контактлар  $\delta$  нинг ишончли уланишини таъминлаш учун хизмат қилади. Электромагнит чулғамида кучланиш ёки ток узилганда реленинг якори қайтарувчи пружина  $4$  таъсирида нормал (дастлабки) ҳолатга қайтади ва контактлар  $\delta$  ажралади. Якорнинг паст томонидаги магнитсиз ўзакча  $7$  чулғамдаги ток узилганда якорнинг ўзакдан осон ажралишини таъминлаш учун хизмат қилади. Бунда қолдиқ магнетизм таъсири кескин камаёди. Релелар тузилишига қараб бир нечта уланувчи ва узилувчи контактларга эга бўлиши мумкин.

Кўриб чиқилган электромагнит релени оралиқ реле, баъзи ҳолда кучланиш релеси деб юритилади. У максимал ва минимал кучланиш релеларига бўлинади.

Максимал кучланиш релеси шундай ростланадики, агар кучланиш номинал, яъни белгиланган қийматдан ошиб кетса, у осон боғлиқ чулғам токи ҳам ошади. Натижада магнит оқи-

ми ошиб, якорни ўзакка тортади. Бунда реленинг нормал ёпиқ контаклари узилиб, ҳимоя қилинаётган электр қурилмани узишга автоматик ҳолда ахборот беради.

Минимал кучланиш релесининг нормал ёпиқ контакти номинал кучланишда очик бўлади. Агар кучланиш белгиланган қийматдан камайса, реле чулғамидаги ток ва магнит оқими камаяди. Бу оқим якорни тортиб туролмайди. Натижада якорь ўзакдан узоқлашади ва нормал ёпиқ контакт улачиб, ҳимоя қилинаётган электр қурилмани узишга ахборот беради.



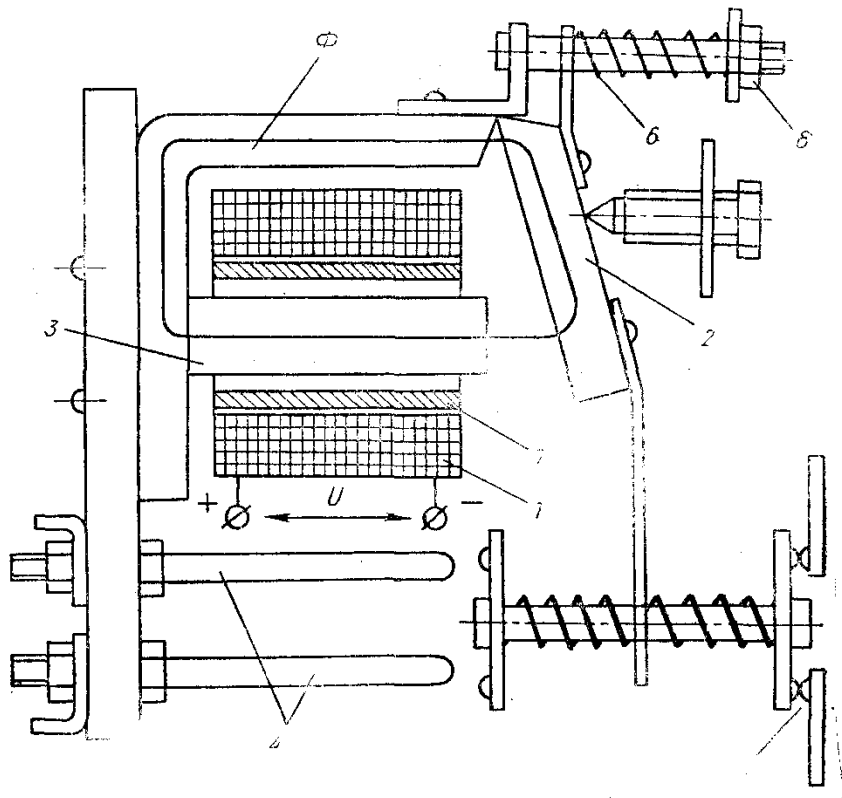
12.18- расм.

Оралик реле номинал кучланишда ишлайди. Унинг контаклари бир неча ампер ток кучига мўлжалланади.

Максимал ток релеси электр двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни қисқа туташув тоқларидан ҳимоя қилиш учун хизмат қилади (12.18- расм). Реленинг чулғами 1 ҳимояланаётган занжир билан кетма-кет уланади, шунинг учун ундан электр двигатель ёки бошқа қурилманинг иш токи оқиб ўтади. Реле чулғамининг қаршилиги кичик бўлиши учун, у йўғон симдан кам ўрамли қилиб ясалади. Ток ҳосил қилган магнит оқим ўзак 7, магнит ўтказгич 6 ва якорь 4 бўйича туташади. Реле чулғамидан номинал токдан икки-уч марта катта ток ўтганда, яъни  $I = (2 \div 3) I_{\text{ном}}$  да вужудга келган электромагнит куч  $E_s = IW$  пружина 5 нинг қайишқоқлик кучи  $F_{\text{п}}$  дан кичик бўлади. Бу вақтда якорь ўзакка тортилмайди, натижада контакт 3 уланган, контакт 2 эса уланмаган ҳолда бўлади.

Агар электр занжирида қисқа туташув содир бўлса, занжир токи номинал қийматдан бир неча марта катта бўлади. Бу вақтда вужудга келган электромагнит куч ҳаддан ташқари катта бўлганлиги учун пружина 5 нинг қаршилик кучини енгиб, якорь 4 ни ўзак 7 га тортади. Бунда контакт 3 узилади, контакт 2 эса уланади. Реленинг 3 контакти контактор ёки бошқа аппаратнинг бошқарини занжирига уланган. Шунинг учун контакт 3 нинг узилиши контактор ёки бошқа аппарат ёрдамида электр двигателни ёки бошқа электр қурилмани электр манбаидан узади.

Максимал ток релесининг ишлаб кетиш тоқини пружина 5 ни таранглаш билан ростлаш мумкин. Одатда, ишлаб кетиш тоқи  $I_{\text{н}} = (2 \div 3) I_{\text{ном}}$  оралиғида таъланеди. Чулғамда катта токнинг пайдо бўлишидан контакт 3 нинг узилишигаче кетган вақт 0,05 — 0,30 с бўлиб, реленинг *ишлаб кетиш вақти* деб аталади. Токнинг қиймати қанча катта бўлса, ишлаб кетиш



12.19- расм.

вақти шунча кичик бўлади. Реле ишлагандан ва контакт орқали двигатель манбадан узилгандан кейин реледа магнит оқими бўлмайди ва якорь пружина таъсири остида дастлабки ҳолатга қайтади.

Агар юқоридаги релелар ўзгарувчан токда ишлатиладиган бўлса, уларнинг ўзагига, худди магнитли ишга туширгичдаги каби, қисқа туташтирилган чулғам жойлаштирилиши керак,

Вақт релеси автоматик бошқариш системаларида аппаратларни маълум кетма-кетликда ва маълум вақт оралиғида ишлашини таъминлаш ва ҳаяллаш вақтини юзага келтириш учун хизмат қилади. Вақт релеси ишлаши ва тузилишига кўра электромагнитли, электронли, пневматик ва бошқа турларга бўлинади.

Қуйида 12.19- расмда кўрсатилган электромагнитли вақт релесининг тузилиши ва ишлашини кўриб чиқамиз. Реленинг чулғами 1 ўзгармас ток тармоғига уланганда ўзакда магнит оқим  $\Phi$  вужудга келади ва унинг таъсирида якорь 2 дарҳол ўзак 3 га тортилади. Бунда контактлар 4 уланади ва контактлар 5 эса узилади. Агар чулғам 1 ни ўзгармас ток манбаидан узилса реледа ҳаяллаш вақти бошланади. Бунда чулғамда ток нолга тенг бўлади ва магнит оқим  $\Phi$  магнит ўтказгичда камая бошлайди. Мазкур магнит оқими қисқа туташтирилган ўрам (ёки мис гильза) 7 да ўзиндукция ЭЮК ни ҳосил қилади. Бу ЭЮК таъсири остида қисқа туташтирилган ўрамдан ток оқиб ўтади ва у магнит оқим  $\Phi_k$  ни вужудга келтиради. Бу оқим

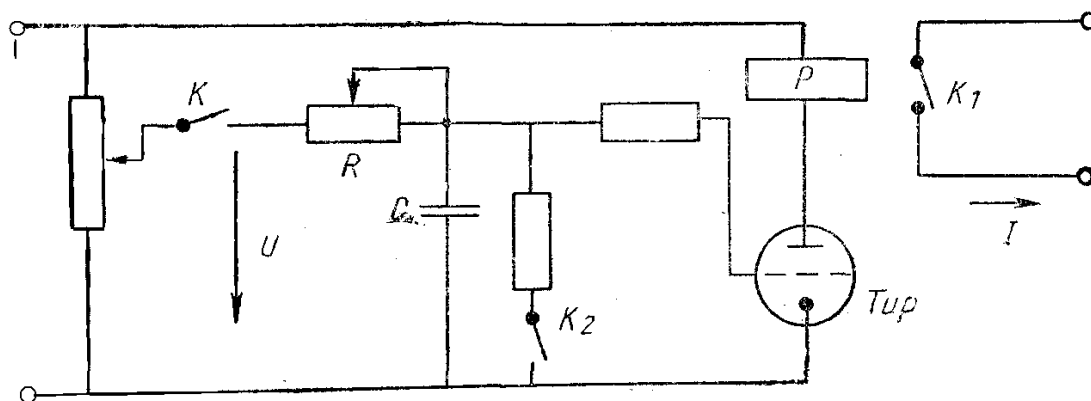
Ленц қондасига мувофиқ магнит ўтказгичдаги магнит оқимининг қийматини ўзгартирмасликка интилади. Аммо қисқа туташтирилган ўрамдаги қувват исрофи туфайли магнит оқими секин-аста камая бошлайди ва у ҳосил қилган электромагнит куч пружина  $b$  нинг кучидан кичик бўлганда реленинг якори ўзакдан узоқлашади. Бунда контактлар  $4$  узилади, контактлар  $5$  эса уланади.

Шундай қилиб, реле чулғамини узган вақтдан бошлаб, контактларнинг қайта уланиши бирданига эмас, балки маълум вақтдан кейин содир бўлмоқда. Бу вақт *ҳаяллаш вақти* деб аталади. Ушбу турдаги реледа ҳаяллаш вақти секунднинг улушидан то  $5-12$  секундгача бўлиши мумкин. Ҳаяллаш вақтини пружина  $b$  нинг таранглигини ўзгартириш билан ростлаш мумкин. Бунинг учун гайка  $8$  дан фойдаланилади.

Электрон реледа ўзгармас кучланиш  $U$  да конденсатор  $C$  нинг резистор  $R$  орқали зарядланиши ҳаяллаш вақтини вужудга келтиради (12.20-расм). Дастлаб тиратрон (Тир) ёнмайди, чунки унинг тўр кучланиши бўлмаганда анодига берилган кучланиш тиратороннинг ишлаши учун етарли эмас. Зарядланадиган конденсаторнинг кучланиши тиратроннинг тўр кучланишига тенгдир.

Конденсаторнинг зарядланиши калит  $K$  уланган лаҳзада бошланади. Конденсатор секин-аста зарядлана бошлайди ва унинг кучланиши тиратроннинг ишга туширувчи тўр кучланиши қийматига етмагунча кўпаяди. Конденсатор кучланиши тўр кучланишининг ишга тушириш қиймати  $U_{и.т}$  га етганда ( $U_m = U_{и.т} = U_c$ ) тиратрон очилади ва тиратроннинг анодига уланган реле  $P$  чулғамида ток пайдо бўлади. Натижада реле ишга тушади ва калит  $K1$  бошқарув занжирини улайди ва калит  $K2$  ни улаб, конденсаторни зарядсизлайди. Тиратрон очилгани кейин тўр ўзининг бошқариш вазифасини йўқотади. Конденсаторнинг зарядсизланиши вақт релесини қайтадан ишлашга тайёрлайди.

Шундай қилиб, реленинг ҳаяллаш вақти зарядланаётган конденсатор кучланишининг ошиш тезлиги билан аниқланади. Тезлик конденсатор зарядланиш контурининг доимий вақти



12.20- расм.

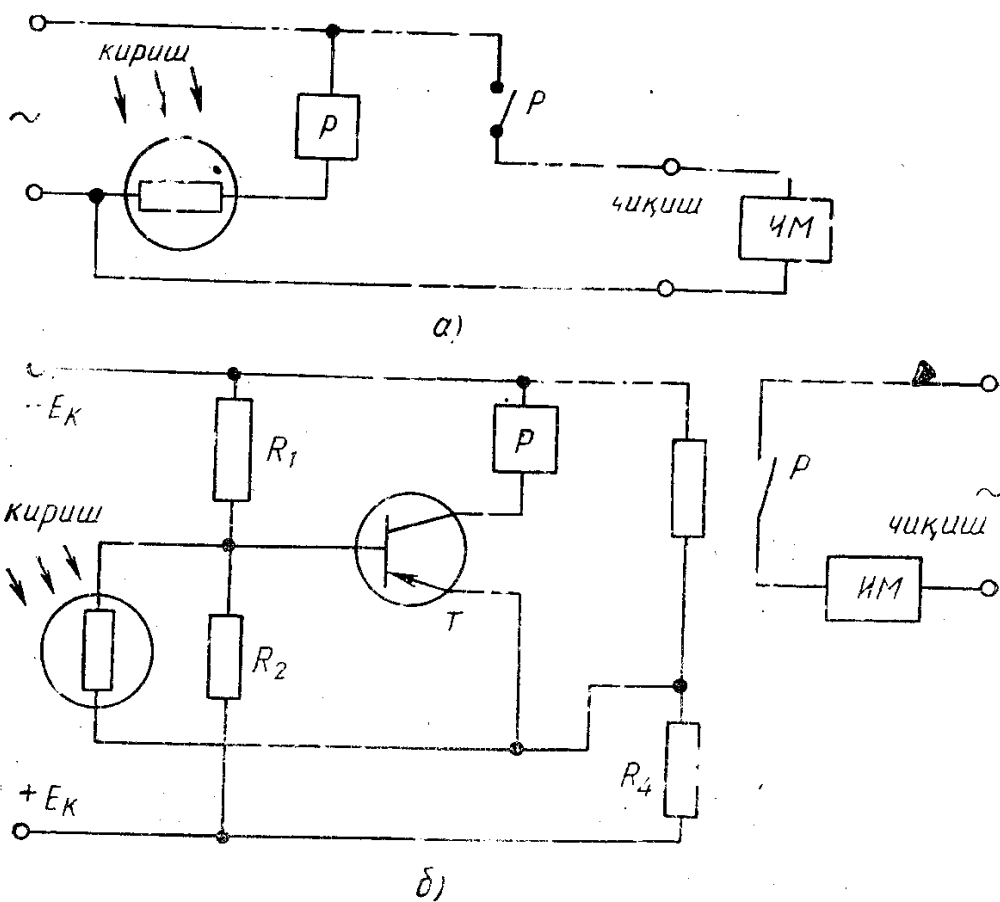
$\tau = RC$  га боғлиқ. Вақт  $t = RC$  давомида конденсатор кучла-  
ниши деярли  $U$  га тенг бўлади.

Тиратрон токи анча катта 1—100 А бўлгани учун анод зан-  
жирига реле эмас, балки катта қувватли технологик жараёни  
бошқарувчи аппарат, масалан, ўзгармас ток двигателини улаш  
мумкин. Бу эса контактсиз тиратронли реленинг асосий афзал-  
лигидир.

Фотореленинг кириш элементи фотоэлектрон асбобга  
тушаётган ёруғлик оқимининг ўзгариши таъсирида ишлайди.  
Фотоэлектрон асбобларга фоторезисторлар, фотодиодлар, фо-  
тотранзисторлар, фототиристорлар, электронли ва ионли фото-  
элементлар киради. Фоторезистор тузилиши ва ишлатилишига  
кўра фотоэлектрон асбоблар ичида энг оддийси ҳисобланади.

Фоторезисторли фоторелелар уй-рўзгор электр аппаратла-  
рида, кўча чироқларини ёқиб-ўчиришда ва бошқа соҳаларда-  
ги технологик жараёнларни автоматлаштиришда ишлатилади.  
Фотореле фоторезисторнинг турига ва бошқарилаётган жара-  
ённинг хусусиятларига қараб кучайтиргичсиз (12.21-расм, а)  
ҳамда битта кучайтиргичли (12.21-расм, б) ёки бир нечта ку-  
чайтиргичли бўлиши мумкин.

Фоторезистор ўзи бошқарадиган қурилма ва электр энер-  
гияси манбаи билан кетма-кет уланади (12.21-расм, а). Ёри-  
тилмаган фоторезисторнинг қаршилиги катта бўлганлиги учун



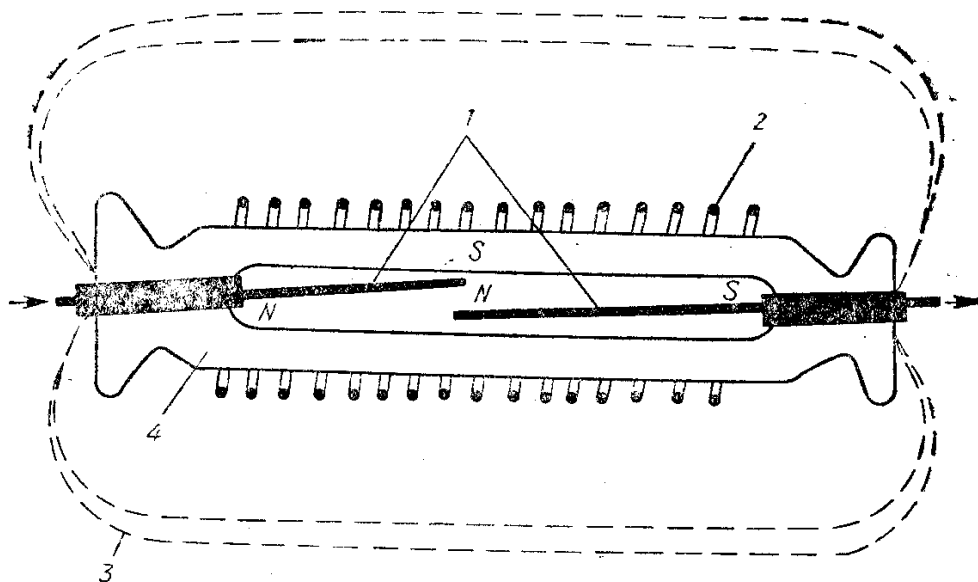
12.21- расм.

электр энергияси манбаи таъсирида фоторезисторли занжирда ток жуда кичик бўлади. Агар фоторезистор ёритилса, унинг қаршилиги дарҳол камаяди, натижада занжирда ток кўпаяди ва реле ишга тушади. Реленинг контакти ижрочи механизмни улайди. Кўпгина ҳолларда фоторезистор токидан тўғридан-тўғри ижрочи механизмни ишга тушириш учун фойдаланиш мумкин.

Фоторезисторли ва битта транзисторли кучайтиргичи бўлган фотоэлектрон реленинг схемаси 12.21-расм, б да кўрсатилган. Фоторезистор ёритилмаганда транзистор  $T$  нинг база ва эмиттер потенциаллари коллектор манбаига уланган кучланиш бўлгичлар  $R1R2$  ва  $R3R4$  билан белгиланади. Бу бўлгичлар қаршиликларининг қиймаглари шундай танланганки, агар фоторезистор ёритилмаган бўлса, транзистор базасининг потенциали эмиттер потенциалига нисбатан мусбатроқ бўлади. Бунда транзистор ёпиқ бўлади. Агар фоторезистор ёритилса, унинг қаршилиги бирданига камайиб кетади, натижада база потенциали эмиттер потенциалига нисбатан манфий бўлади ва транзистор очилади. Транзисторнинг коллектор занжирига уланган электромагнит реле ишга тушади ва ўзининг контактларини улаб, кузатилаётган ёруғлик оқимининг қиймати маълум миқдорга етганлиги тўғрисида ахборот беради ёки шу ёруғлик оқимига тегишли занжирни бошқаради. Ушбу фотоэлектрон реледан кўчанинг электр чироқларини куннинг ёруғлиги маълум қийматга эришганда автоматик ҳолда ўчириш ёки ёқишда фойдаланиш мумкин. Бу ҳолда фотоэлектрон реленинг коллектор занжирига вақт релеси уланади. Вақт релеси бўлган фоторезистор кечаси қисқа муддатли ёритилганда (чақмоқ пайтида) кўча чироқлари ўчишининг олдини олади. Бу релелаги бўлгичлар  $R1R2$  ва  $R3R4$  нинг қаршиликларини ўзгартириб, фоторезистор ёритилмаганда эмиттер потенциални база потенциалига нисбатан мусбатроқ қилиш орқали транзисторнинг очилишига эришиш ва шу билан кўча чироқларини ёқиш ҳам мумкин.

Герконли релелар электр автоматикада жуда кўп ишлатилмоқда. Улар электромагнит реледан бошқариладиган магнитли контактларга эга эканлиги билангина фарқ қилади (12.22-расм). Ҳавоси сўриб олинган шиша баллон  $A$  га инерт газ тўлдирилган ва ферромагнит материалдан ясалган контактлар  $1$  кавшарланган. Баллон атрофига бошқариш чулғами  $2$  жойлаштирилган. Релени ўзгармас ток манбаига улаганда бошқариш чулғамидан ўзгармас ток оқиб ўтиб, магнит майдони  $3$  ни ҳосил қилади. Бу магнит майдони ферромагнитли контактлар  $1$  ни магнитлайди, натижада улар бир-бирига тортилади ва бошқариш занжирини улайди.

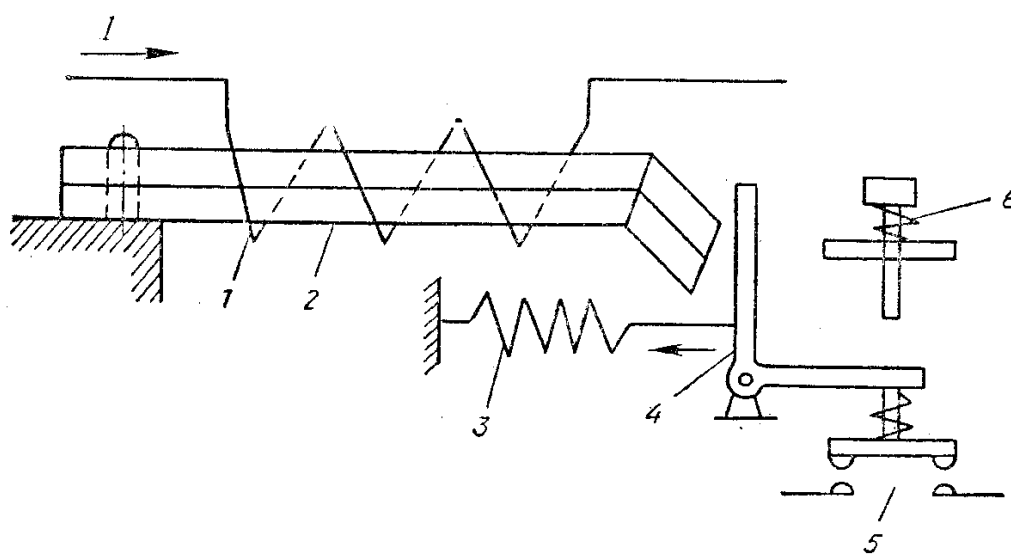
Агар бошқариш чулғами ўрвида ўзгармас магнит ишлатилса, герконли реледан турли „сирли“ калиб ва ижрочи механизмлар сифатида фойдаланиш мумкин. Бунинг учун герконли релега ўзгармас магнит яқинлаштирилса, унинг бошқариш занжири уланади (масалан, унинг кириш эшиги очилади).



12.22- расм.

Иссиқлик релеси электр двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни узоқ вақт давом этадиган 10—20% ли ўта юкланишдан ҳимоялаш учун хизмат қилади.

Иссиқлик релесининг соддалаштирилган тузилиши 12.23-расмда келтирилган. Реле ҳимояланувчи двигатель ёки бошқа электр қурилма занжири билан кетма-кет уланган қиздириш элементи 1 дан иборат. Қиздириш элементининг ичига биметалл пластинка 2 жойлаштирилган. У чизиқли кенгайиш коэффициенти турлича бўлган иккита металл пластинкалардан иборат бўлиб, уларнинг бир томондаги учлари ўзаро кавшарланган, иккинчи учлари эса асосга қўзғалмас қилиб маҳкамланган. Қиздириш элементидан ажралиб чиқаётган иссиқлик таъсирида биметалл пластинка қизийди. Истеъмолчининг токи






12.23- расм.

Ўзининг номинал қийматидан маълум миқдорга, масалан 20% га ошганда биметалл пластинка кўпроқ қизиб, маълум миқдорга букилади ва ричаг 4 ни қўйиб юборади. Пружина 3 нинг таъсири остида ричаг бурилади ва иссиқлик релесининг нормал ёпиқ (уланган) контактлари 5 ни очади. Контакт 5 магнитли ишга туширгичнинг бошқариш занжирига уланади, шунинг учун юритгич чулғамининг занжири узилади ва магнитли юритгичнинг асосий контактлари ажралади, яъни электр двигатель ёки бошқа электр қурилма электр тармоқдан узилади. Иссиқлик релесини дастлабки ҳолатга қайтариш учун кнопка 6 дан фойдаланилади.



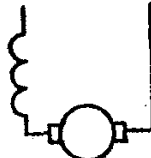

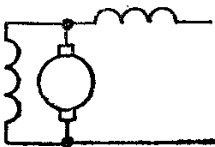
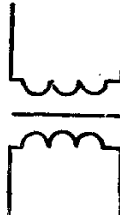
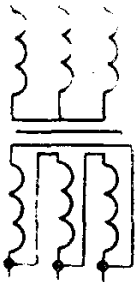
### 12.6. ЭЛЕКТР ТУЗИЛМА ВА ЭЛЕМЕНТЛАРНИНГ СХЕМАДА ТАСВИРЛАНИШИ

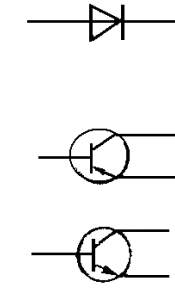
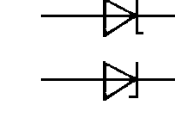
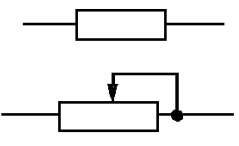
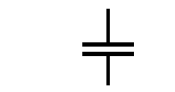

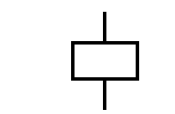
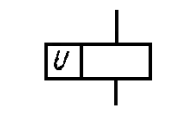
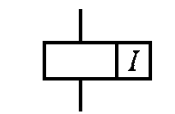
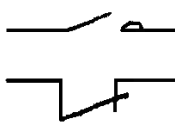
Аппаратларнинг тузилиши ва ишлаши билан танишгандан сўнг двигательни ишга тушириш ва тўхтатишда фойдаланиладиган автоматик бошқариш схемаларининг ишлаш принципини кўриб чиқиш мумкин. Лекин схеманинг ишлашини кўриб чиқишдан олдин электр машиналар, аппаратлар ва бошқа баъзи электр қурилмаларнинг ГОСТ 2.722 — 68, 2.728 — 74, 2.756 — 76 бўйича тасвирланиши билан танишмоқ керак. Энг кўп ишлатиладиган элементларнинг схемаларда белгиланиши 7-жадвалда келтирилган. Бу жадвалда келтирилган барча элементлар занжирда ток ёки кучланиш бўлмаган ҳол учун кўрсатилган.

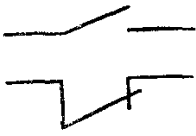

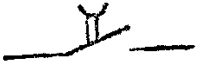


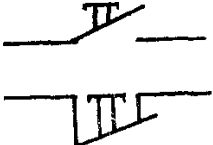


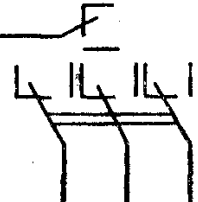
7-жадвал



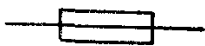
Номи	Белгиланиши
Ротори қисқа туташтирилган уч фазали асинхрон машина	
Фазали ротор чулғами ёлдуз, статор чулғами эса учбурчак шаклида уланган фаза роторли уч фазали асинхрон машина	
Ротори қисқа туташтирилган икки фазали асинхрон машина	



Номи	Белгиланиши
Уч фазали синхрон машина	
Мустақил уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Параллел уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Аралаш уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Бир фазали трансформатор	
Уч фазали ферромагнит ўзакли трансформатор (бирламчи чулғами юлдуз, иккиламчи чулғами эса учбурчак шаклида уланган)	

Номи	Белгиланиши
Ярим ўтказгичли асбоблар: Диод Транзистор ( <i>p-n-p</i> турдаги) Транзистор ( <i>n-p-n</i> турдаги)	
Тиристор Стабилитрон	
Резистор: ростланмайдиган занжирни узмай ростланадиган	
Конденсатор	
Ферромагнит ўзакли дроссель	
Контактгор, магнитли юритгич ёки реле чул- гми	
Кучланиш релесининг чулгами	
Тоқ релесининг чулгами	
Контактгор, магнит юритгич, контроллерлар- нинг контактлари: уловчи узувчи	

Номи	Белгиланиши
Реле контактлари: уловчи узувчи	
Уланишда ҳаялловчи уланувчи контакт	
Узилишда ҳаялловчи уланувчи контакт	
Уланишда ҳаяллаш вақтли узувчи контакт	
Узилишда ҳаяллаш вақтли узувчи контакт	
Кн пка контактлари: уловчи узувчи	
Йўл ёки охириги узгичнинг уловчи контакти	
Автоматик узгич (автомат) ларнинг контакт-лари: бир қутбли уч қутбли	
Қайга улагич контактлари: бир қутбли уч қутбли	

Номи	Белгиланиши
Иссиқлик релесининг қиздириш элементи	
Иссиқлик релесининг узувчи контакти	
Сақлагич	

### 12.7. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ СХЕМАЛАРИДАН НАМУНАЛАР

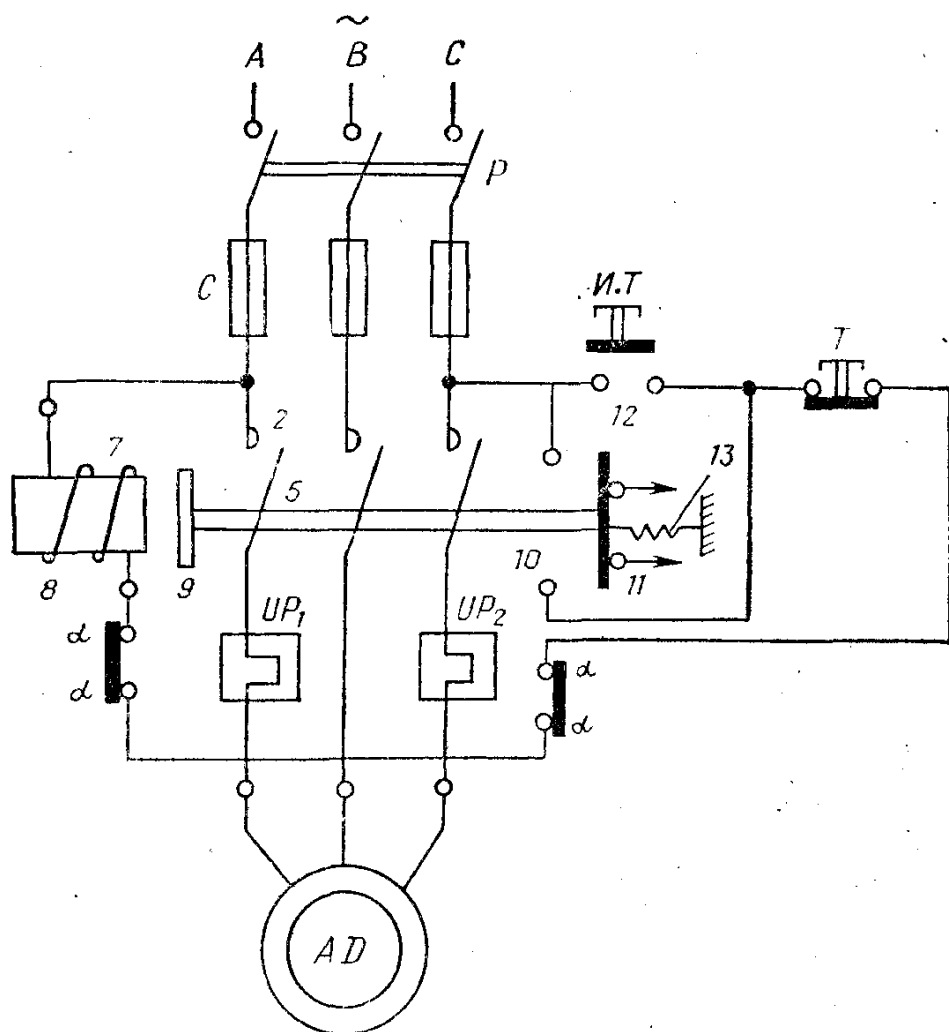
Электр юритмани бошқариш — электр юритмани ишга тушириш, тезлигини ростлаш, тўхтатиш, йўналишини ўзгартириш ва иш режимини ушлаб туришдан иборат. Электр юритмани бошқариш қўл билан, автоматик ва ярим автоматик тарзда бўлиши мумкин. Ҳозирги вақтда саноат электр юритмалари асосан автоматик бошқарилмоқда.

Автоматика системаларида схемалар ишламаётган ҳолатда тасвирланади, яъни барча рубильник ва автоматлар узилган, чулғамлар токсиз, электр машиналар тўхтаган ва иш механизмлари бошланғич ҳолатда бўлади. Схемалар принцинал, ёйилган ва монтаж кўринишда бажарилади.

Принципиал схемаларда ҳар бир машина ва аппаратларнинг чулғамлари, контактлари ва бошқа қисмлари бир жойда жойлаштирилади. Бунда ушбу қурилманинг ишлашини тушунишни осонлаштирувчи туташтирувчи симларгина кўрсатилади.

Монтаж схемаларда электр жиҳозларнинг жойлашиши ва элементларнинг симлар ҳамда кабеллар билан уланиши ҳақиқий қурилмада қандай бўлса, шундай кўрсатилади. Бундай схемаларни тушуниб олиш қийинроқ, аммо қурилмани йиғишда, ишлатишда ва тузатишда улардан фойдаланиш қулай.

**Асинхрон двигателларнинг схемаларидан намуналар.** Кичик ва ўртача қувватли (1000 кВт гача), ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателлар, одатда, тўғридан-тўғри электр тирмоғига улаб ишга туширилади. Двигателни бошқариш схемаси коммутацияловчи аппаратга, турли ҳимоя ва блокировка қурилмаларига эга. Қисқа туташтирилган асинхрон двигателни



12.24- расм.

автомат, контактор ёки магнитли юритгич орқали бошқариш схемаси содда бошқариш схемаси ҳисобланади.

Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателни магнитли юритгич орқали ишга туширишнинг монтаж схемаси 12.24-расмда кўрсатилган. Ушбу схемада ҳар бир элементларнинг жойлашиши уларнинг асл ҳолдаги жойлашишига мос келади. Схемада, шунингдек, магнитли юритгичнинг ҳар бир элементлари орасидаги механик боғланишлар ҳам кўрсатилган.

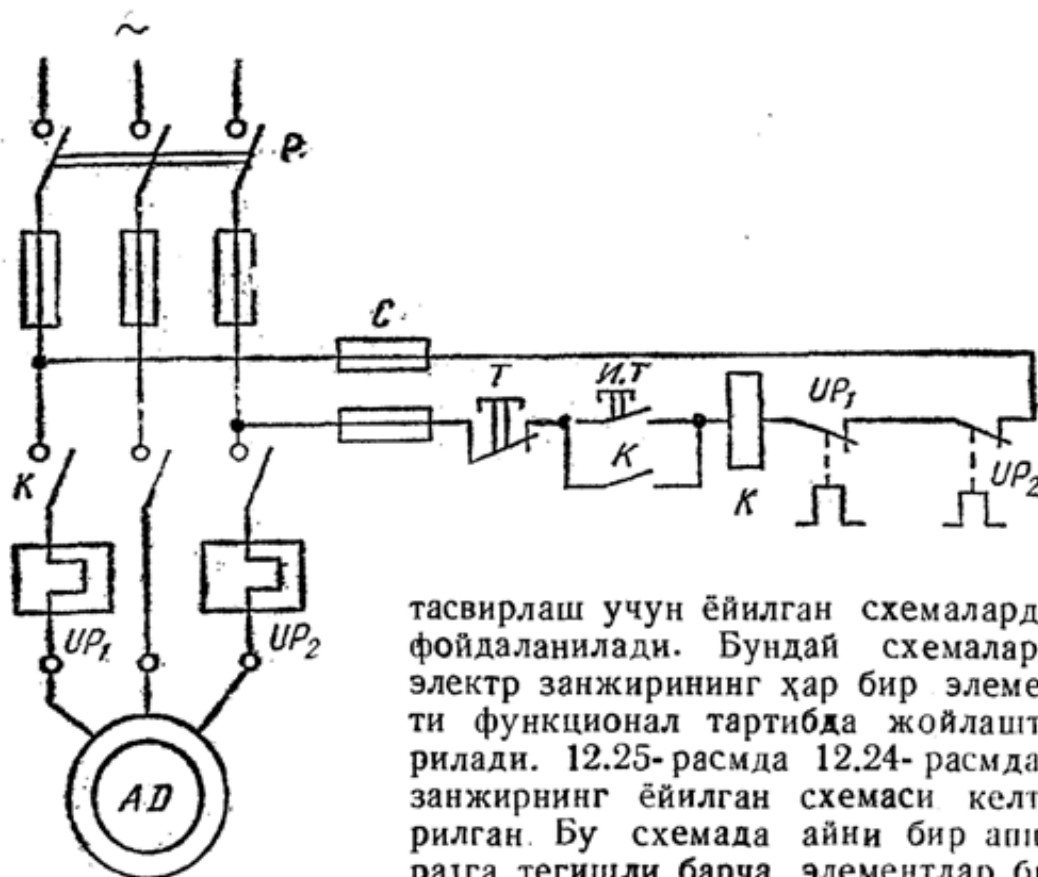
Юритгични улаш ва узишни бошқариш учун схемада иккита кнопка („Ишга тушириш“ ва „Тўхтатиш“ кнопкалари) бор. „Ишга тушириш“ (ИТ) кнопкаси нормал ҳолатда очиқ контактга эга, яъни кнопка босилмагунгача бошқариш занжири туташмаган ҳолда бўлади.

Магнитли юритгич қуйидаги тартибда ишлайди. ИТ кнопкаси уланганда электромагнит ғалтаги 7 миғг занжири иссиқлик релелари  $UP_1$  ва  $UP_2$  ларнинг нормал ёпиқ контактлари „a — a“ орқали уланади. Бунда электромагнит чулғамидан ток оқиб ўтиб, ўзак 8 да магнит майдони ҳосил қилади. Натижа-

да ўзак 8 га якорь 9 тортилади ва юритгич контактлари 2 ва 5 ларни улайди. Бунда контакт кўприкча 12 нормал ҳолда очиқ блок-контакт 10 ни улайди, у эса „ИТ“ кнопокасини шунтлайди, яъни ИТ кнопокаси ажралган нормал дастлабки ҳолатга қайтганда электромагнит занжири бу блок-контактлар орқали уланган ҳолатда қолади. Бу вақтда блок-контакт 11 узилади ва у двигателнинг ишга тушганлиги тўғрисида ахборот бериши ёки бирор бошқа занжирни блокировка қилиши мумкин.

Тўхтагиш кнопокаси (Т) босилганда ғалтак 7 нинг занжири узилади, натижада электромагнит якорни қўйиб юборади ва пружина 13 таъсирида якорь ўнгга тортилади. Бу вақтда контактлар 2 ва 5 ажралиб, двигатель занжирини узади. Бу вақтда блок-контакт 10 узилади, 11 эса ёпилади.

Двигатель белгилангандан ортиқ ток билан юкланганда иссиқлик релеси  $UP_1$  ва  $UP_2$  лар ишга тушиб, „а — а“ контактларни ажратади. Бунда ҳам ғалтак 7 нинг бошқариш занжири узилиб, асинхрон двигатель манбадан ажратилади. Асинхрон двигателда ёки унинг таъминловчи куч занжирида ёки бошқариш занжирида қисқа туташув содир бўлса, бу вақтда сақлагич С нинг қўймаси куйиб, асинхрон двигатель ва унинг занжири ҳимояланади. 12.24-расмда содда схема тасвирланган. Агар электр занжирларининг сони кўп бўлса, схема мураккаблашиб кетади. Занжирларнинг бошқарилишини тўлароқ



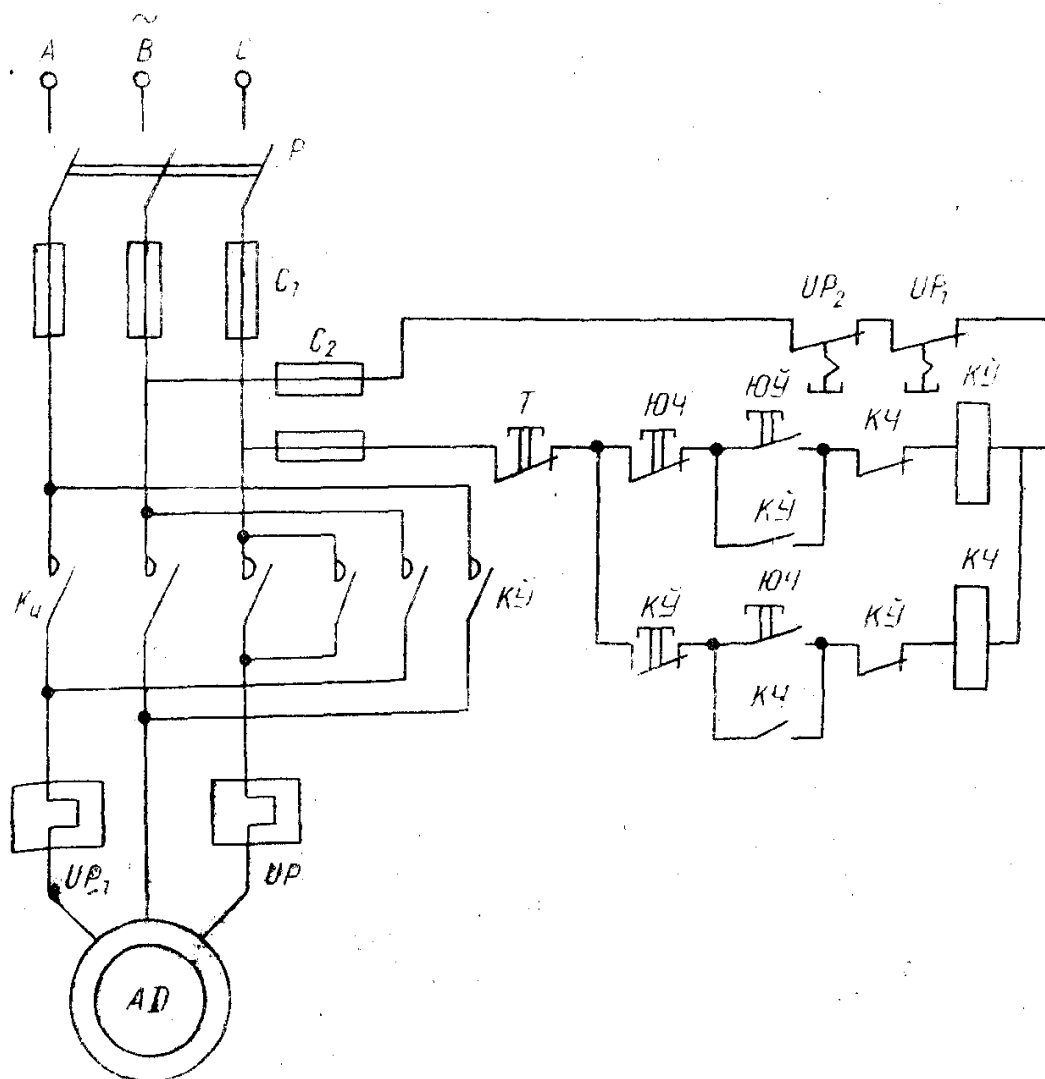
12.25- расм.

тасвирлаш учун ёйилган схемалардан фойдаланилади. Бундай схемаларда электр занжирининг ҳар бир элементи функционал тартибда жойлаштирилади. 12.25-расмда 12.24-расмдаги занжирнинг ёйилган схемаси келтирилган. Бу схемада аynи бир аппаратга тегишли барча элементлар бир хилда белгиланган.

Саноат корхоналарида кўпгина ме-

ханизмлар ўз ҳаракат йўналишини узлуксиз ўзгартириб туради. Бунинг учун уларни ҳаракатлантираётган двигателларнинг ҳаракат йўналишини ўзгартириш, яъни статор чулғамига уланган иккита фазаларнинг ўзаро ўрнини алмаштириш етарли бўлади. Электр двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартирувчи (реверсловчи) магнитли реверсив ишга туширгич иккита нореверсив ишга туширгичлардан иборат. Улар ўзаро механик тарзда шундай боғланганки, бунда фақат битта магнитли юритгич уланган бўла олади. Агар иккита нореверсив магнитли ишга туширгичлардан фойдаланилса, у ҳолда уларнинг ва ишга тушириш кнопокларининг нормал ёпиқ контаклари бошқариш занжирларини ҳам электр, ҳам механик тарзда ажратади, яъни ўнгга бошқариш занжири уланганда чапга бошқариш занжири автоматик тарзда манбадан ажралади.

Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателнинг айланиш йўналишини бошқариш схемаси 12.27-расмда келтирилган. Уч қутбли рубильник  $P$  улангандан кейин ўнгга юрги-



12.27-расм.

зиш кнопокasi ЮУ босилса, уч қутбли магнитли ишга туширгичнинг ҚУ (ўнгга) чулғами уланади. Бу чулғам чапга йўналтирувчи магнитли юритгич ва юргизиш кнопокasининг нормал ёпиқ контактлари КЧ ва ЮЧ ҳамда иссиқлик релеларининг контактлари  $UP_1$  ва  $UP_2$  орқали уланади. Бунда асинхрон двигателнинг ротори ўнгга айланади. Бу вақтда ўнгга юргизиш кнопокasi ЮУ ишга туширгич КУ нинг ёрдамчи блок-контакти КУ билан уланади (шунтланади).

Тескари томонга, яъни „чапга“ айлантириш учун дастлаб тўхтатиш кнопокasi Т ни, сўнгра чапга юргизиш кнопокasi ЮЧ ни босиш керак. Бу вақтда дастлаб магнитли ишга туширгич чулғами КУ узилади, сўнгра ишга туширгичнинг КЧ чулғами уланади. Бунда асинхрон двигатель уланган фазаларнинг кетма-кетлигини ўзгартиради. (А ва В фазалар ўзаро ўрин алмашади.) Натижада асинхрон двигателнинг ротори тескари йўналишда, яъни чапга айлана бошлайди. Асинхрон двигателни тўхтатиш учун тўхтатиш кнопокasi Т ни босиш керак. Бунда дастлаб бошқарув занжири манбадан ажралади ва юритгич контактлари двигателни таъминловчи манбадан ажратиб қўяди.

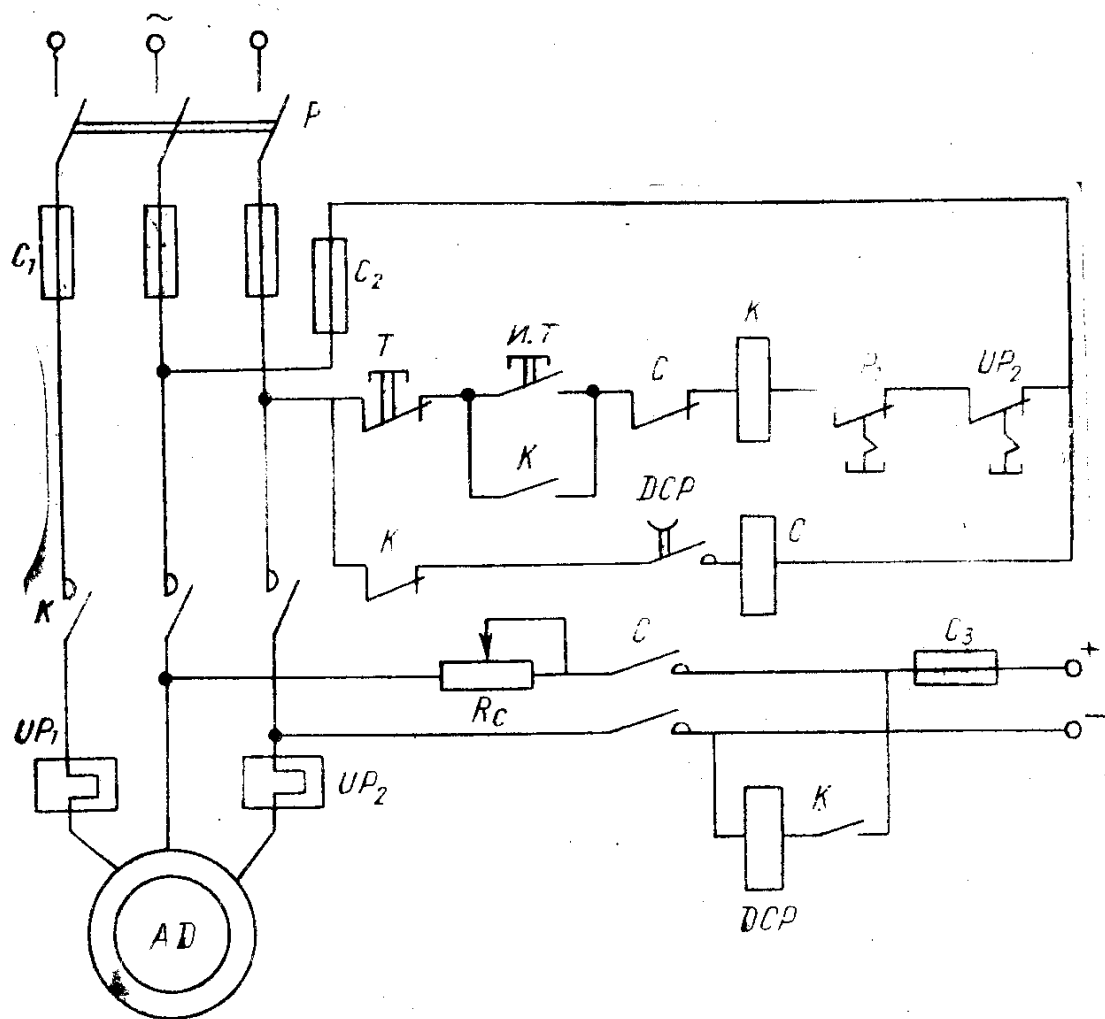
Иккала ишга туширгич бараварига уланмайди. Чунки битта ишга туширгичнинг уланиши унинг нормал ёпиқ блок-контактининг очилиши натижасида иккинчи ишга туширгич бошқариш занжирининг очиқ бўлишига олиб келади. Шунингдек, ишга тушириш кнопкалари механик жиҳатдан ҳам блокировкаланган.

Кўп ҳолларда двигателни тез тўхтатиш талаб қилинади. Бу мақсад учун асинхрон двигателнинг статор чулғамига ўзгармас ток берилади ва бу токнинг магнит майдони таъсирида двигатель тез тўхтайдди.

Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателни динамик секинлатишли бошқариш схемаси 12.27-расмда кўрсатилган. ИТ кнопокasi босилганда контактор К чулғамидан ток ўтади ва у ишлай бошлайди. Контактор двигателни ва динамик секинлатиш релеси ДСР ни улайди. Бунда ДСР нинг контакти уланади, аммо секинлатиш контактори С уланмайди. Чунки унинг занжирида конденсаторнинг ёрдамчи контакти К очиқ бўлади. Бу контакт тўхтатиш кнопокasi Т босилиб, контактор К нинг занжири уланганда ва у двигателни электр тармоғидан узганда уланади. Бунда секинлатиш контактори С ишга тушиб, статор чулғамига ўзгармас ток беради ва динамик секинлатиш бошланади. Қаршилиқ  $R_c$  мазкур токнинг қийматини ростлаш учун хизмат қилади. ДСР нинг ҳаяллаш вақти двигателни динамик секинлатиш, яъни тўхтатиш вақтини белгилайди.

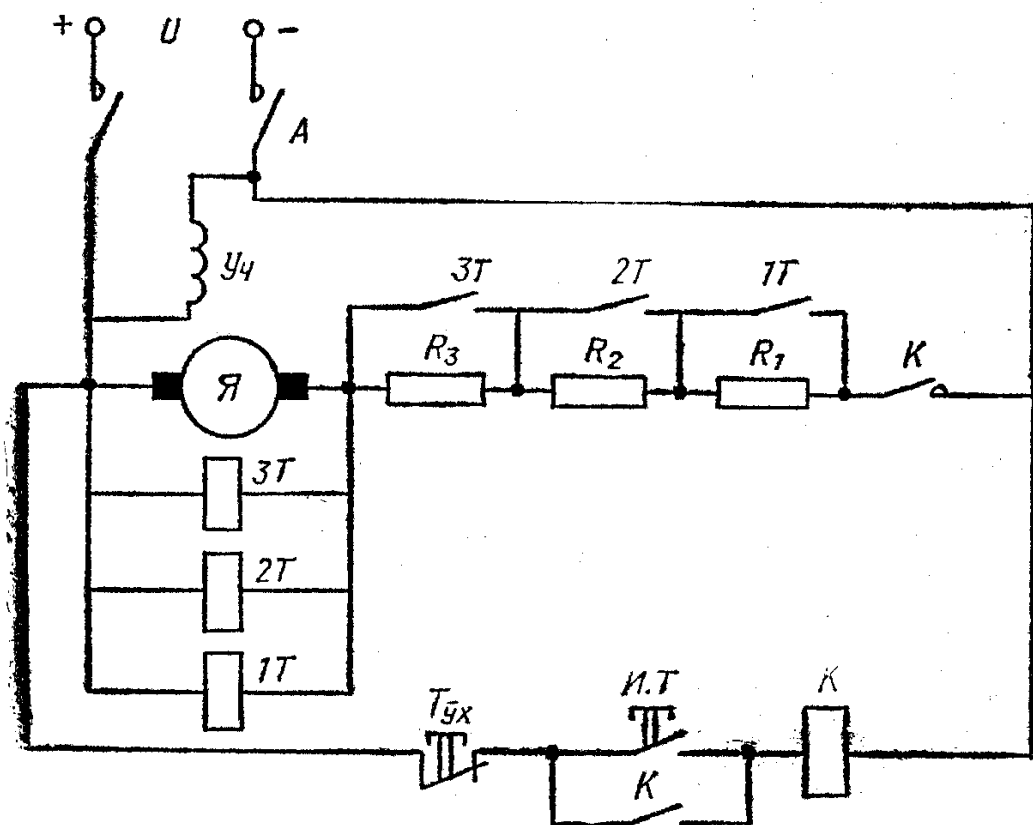
Ўзгармас ток двигателини ишга туширишни ЭЮК, ток ёпиқ функцияси асосида автоматик бошқариш мумкин. Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателини ЭЮК функцияси асосида автоматик ишга тушириш схемаси 12.29-расмда кел-





12.27- расм.

тирилган. Якорга параллел қилиб учта тезлатиш релесининг ғалтаклари 1Т, 2Т, 3Т уланган. Бу релеларнинг контактлари мос ҳолда ишга тушириш қаршиликлари ( $R_1, R_2, R_3$ ) ни двигателнинг якорь занжиридан чиқариб ташлайди. Ўзгармас ток двигателини ишга тушириш учун автоматни улаб, ИТ кнопокасини босиш кифоя. Бу вақтда контактор К ишга тушиб, унинг асосий контакти К якорь занжирини улайди, ёрдамчи контакти эса ИТ кнопокасини шунтлайди. Асосий контактнинг уланиши двигателни  $R_1, R_2$  ва  $R_3$  лар орқали таъминловчи манбага улайди. Бунда двигателда максимал ишга тушириш токи  $I_{ит\ max} = 2I_{ном}$  ҳосил бўлади ва двигател ишга тушади. Якорь тезлиги орта бориб, якорь токи камаяди, яъни  $I_{ит\ min} = 1,1I_{ном}$  бўлади. Бу вақтда якорь тезлиги  $n'$  ва якорь ЭЮК  $E'$  бўлиб, тезлатиш релеси 1Т ишга тушади ва унинг контакти  $R_1$  қаршиликни шунтлайди. Бу яна якорь токининг максимумгача ортишига олиб келади. Токнинг ортиши тезликни  $n''$  гача, тезликнинг ортиши эса ЭЮК ни  $E''$  гача оширади. ЭЮКнинг ортиши токни яна минимумгача камайтиради.  $E''$  да тез-



12.29- расм.

латиш релеси  $2T$  ишга тушади ва унинг контакти  $R_2$  қаршиликни шунтлайди. Худди шунингдек, тезлатиш релеси  $3T$  ишга тушиб, унинг контакти  $R_3$  қаршиликни шунтлайди. Шундай қилиб, двигатель тезлиги номинал тезликкача ошади ва у номинал режимда ишлайди. Одатда, реле  $1T$  кучланиш  $U = 0,3U_{\text{ном}}$  бўлганда, реле  $2T$   $U = 0,6U_{\text{ном}}$  бўлганда ҳамда реле  $3T$  эса  $U = 0,9U_{\text{ном}}$  бўлганда ишга тушишга ростланган. Агар тўхташиш кнопки босилса, двигатель секин-аста тўхтади ва тезлатиш релеларининг контактлари ажралиб, улар двигателни қайтадан ишга тушириш учун  $R_1, R_2, R_3$  қаршиликларни якорь занжирига киритади.

## 13- БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМА АСОСЛАРИ

### 13.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларини электрлаштириш жисмоний меҳнатни енгиллаштиради ва меҳнат шароитини яхшилайди. Шунинг учун халқ хўжалигининг барча соҳаларида электр энергиясини истеъмол қилиш тобора ортиб бормоқда. Электр станциялари ишлаб чиқарган электр энергиянинг 60% идан кўпроғи электр двигателлар ёрдамида механик энергияга айлантирилади.

Ҳозирги кўпгина машина ёки механизмлар электр двигателлар ёрдамида юритилади. Ҳар қайси фабрика, завод, цех, механизациялашган транспорт ва қишлоқ хўжалигини иш механизмларисиз тасаввур қилиш қийин.

Электр двигателларининг халқ хўжалигида кўп қўлланилишига уларнинг фойдали иш коэффициенти нисбатан юқори бўлиши ишга тушириш ва тўхтатиш учун кам вақт сарф бўлиши сабаб бўлмоқда.

Замонавий электр машинаси кўп сонли турли қисмлардан иборат. Уларнинг ҳар бири турли вазифани бажарса-да, уларнинг биргаликда ишлаши маълум ишлаб чиқариш жараёнини амалга оширишга қаратилгандир. Ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш ва механизациялашни замонавий бошқариш воситаларига эга бўлган электр юритмаларни қўлласдан амалга оширишни тасаввур қилиш қийин.

Автоматлашган электр юритмаларнинг ҳозирги пайтда ривожланган автоматик бошқариш, назорат қилиш ва ростлаш назариясига ва воситаларига эга бўлиши якка ва боғланмаган автоматизациялашдан комплекс, яъни жамланган ва ўзаро боғланган автоматик системага ўтиш имкониятини беради. Ҳозирги вақтда автоматлаштирилган дастгоҳлар, қатор мураккаб машиналар, цехлар ва ҳатто заводлар бор. Уларда бутун иш жараёни ва бошқариш автоматлаштирилган бўлиб, хом ашё гайёр маҳсулот даражасига етказилади. Автоматлаштирилган электр юритмани қўллаш меҳнат унумдорлигини ортишига, маҳсулот сифатининг яхшиланишига ва таннархининг камайишига ҳамда ишлаб чиқариш майдонининг қисқаришига олиб келади.

Ҳозирги вақтда ва яқин келажак учун электр юритмаларнинг қуйидаги асосий ривожланиш йўналиши белгиланган: деҳқончилик ва чорвачилик хўжаликларида ҳамда транспортда электр юритмадан фойдаланишни кенгайтириш; замонавий электротехника материаллари ва воситаларини қўллаш асосида мавжуд электр юритмаларни такомиллаштириш ва уларнинг янги турларини яратиш.

Иш механизми (машина), механик узатма, электр двигатель ҳамда унинг бошқариш аппаратлари биргаликда электр юритма деб аталади. Электр двигатель узатиш системаси орқали иш механизмининг ижрочи қисмини ҳаракатга келтиради. Бошқариш аппаратлари ёрдамида двигатель, иш механизмининг баъзи элементлари ва ёрдамчи қурилмалар (агар машина ёки иш механизми мураккаб бўлса) бошқарилади. Замонавий электр юритмаларни якка ва кўп двигатели электр юритмага ажратиш мумкин. Битта электр двигатель ёрдамида ҳаракатга келувчи машина якка двигателли электр юритма деб аталади. Бунга бир шпинделли пармалаш дастгоҳи металлга оддий ишлов берувчи дастгоҳлар, вентилятор ва бошқалар мисол бўла олади. Мураккаб ишлаб чиқариш агрегатининг айрим ишчи органларини ҳаракатга келтирувчи бир нечта якка электр юрит-

малар мажмуи кўп двигателли электр юритма деб аталади. Бунга мисол тариқасида металлга мураккаб ишлов берувчи ластгоҳлар, шнеклар, тўқимачилик машиналари, прокат станлари ва бошқаларни кўрсатиш мумкин.

Электр юритмаларни бошқаришдаги автоматлаштирилганлик ҳажмига қараб автоматлаштирилмаган, автоматлаштирилган ва автоматик хилларга ажратиш мумкин.

Агар электр юритмани ишга тушириш, тўхтатиш ва у ёрдамида технологик жараёни бошқаришни одам бажарса, бундай юритма *автоматлаштирилмаган электр юритма* деб аталади. Агар одам фақат бошланғич бошқариш таъсирини ҳосил қилишдагина иштирок этса, бундай юритма *автоматлаштирилган электр юритма* деб аталади. Бунда мураккаб ишлаб чиқариш жараёнлари автоматик бажарилади. Масалан, операцияларни маълум кетма-кетликда бажариш, андаза бўйича ишлаш, катта қувватли ва мураккаб электр юритмаларнинг тезлигини бошқариш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш ва бошқалар мисол бўлади. Автоматлаштирилган электр юритмага турли прокат станлари, лифтлар, минорали кранлар киради. Автоматлаштирилган электр юритма асосан кўп двигателли бўлади. Агар одам фақат автоматик бошқариш ва электромеханик системаларнинг ҳолатини кузатишдагина иштирок этса, бундай юритма автоматик электр юритма ёки машиналарнинг *автомат линиялари* деб аталади. Автомат линиялар саноат корхоналарини автоматлаштиришда янги босқич бўлиб, унда бир қанча машиналар гуруҳи ишлайди. Машиналар деталга ёки буюмга ишлов беришдаги бир қанча операцияларни бирин-кетин бажаради ҳамда мазкур деталь ёки буюмлар бир машинадан иккинчисига автоматик равишда узатилади.

### 13.2. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ ҲАРАКАТ ТЕНГЛАМАСИ

Электр юритманинг бир турғун ҳолатдан иккинчисига ўтиши ҳамда уни ишга тушириш, тўхтатиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш электр юритманинг ўтиш режими деб аталади. Бунда унинг тезлиги, моменти ва ундаги токнинг қиймати ўзгаради.

Электр двигателнинг қувватини бошқариш схемасини ва аппаратларни тўғри танлаш, двигателни ишга тушириш ва тўхтатиш вақтида электр энергия сарфини камайтириш каби масалалар катта аҳамиятга эга. Масалан, механизмнинг иш унумини ошириш учун оптимал тезликни танлаш етарли бўлмай, балки электр юритманинг ўтиш режимининг вақтини камайтириш ҳам керакдир. Электр юритманинг ўтиш режими электр двигателнинг ва иш механизмнинг ишлаш динамикаси билан боғлангандир.

Электр двигатель ишлаганда ҳосил бўлувчи айлантириш моменти  $M$  электр юритманинг турли қисмларига таъсир этув-

чи қаршилик momenti билан мувозанатлашади. Қаршилик моментларини пайдо бўлиш сабабларига кўра қуйидаги уч гуруҳга бўлиш мумкин:

1. Иш машинаси ижрочи қисмининг фойдали иш бажаришда (масалан, кесиш, юк кўтариш, қисиш, чўзиш, эзиш ва бошқалар) ҳосил бўлувчи моментлар.

2. Иш машинаси ва узатиш қурилмаси ҳаракатланувчи қисмларининг ишқаланишидан ҳосил бўлувчи моментлар.

3. Иш машинаси ва узатиш қурилмаси ҳаракатланувчи қисмларининг инерциясидан ҳосил бўлувчи моментлар.

Биринчи ва иккинчи гуруҳ моментларини статик қаршилик momenti ( $M_k$ ), учинчи гуруҳ моментини эса *динамик қаршилик momenti* ( $M_{дин}$ ) дейилади.

Электр юритма системасидаги моментларнинг мувозанатлик тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$M = M_k \pm M_{дин}. \quad (13.1)$$

Динамик (инерция) момент қуйидаги формула билан топилади:

$$M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (13.2)$$

бунда  $J$  — механик системадаги барча ҳаракатланувчи қисмларнинг двигателъ ўқига келтирилган умумий инерция momenti [кг · м<sup>2</sup>];  $\omega$  — двигателъ ўқининг айланиш тезлиги [рад/с].

Ўқнинг айланиш тезлиги  $\omega$  ни айланишлар сони  $n$  [айл/мин] да ифодалаб:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60},$$

динамик моментнинг бошқа ифодасини келтириб чиқариш мумкин:

$$M_{дин} = M - M_k = \frac{J}{9,55} \frac{dn}{dt} \text{ [Н · м]}. \quad (13.3)$$

Кўпгина ишлаб чиқариш механизмларида инерция momenti ўзгармас бўлиб, қуйидаги ифода билан аниқланиши мумкин:

$$J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4g}, \quad (13.4)$$

бунда  $\rho$  ва  $D$  — инерция радиуси ва диаметри, м;  $G$  — жисмининг оғирлиги, кг;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> эркин тушиш тезланиши.

(13.4) ифодани (13.3) га қўйиб, динамик момент учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$M_{дин} = M - M_k = \frac{GD^2}{315} \frac{dn}{dt}. \quad (13.5)$$

(13.3) ёки (13.5) ифода электр юритманинг ҳаракат тенг-  
маси деб аталади. (13.5) дан кўринадикки:

1. Агар  $M > M_k$  бўлса,  $\frac{dn}{dt} > 0$  бўлиб, юритма мусбат тез-  
ланиш олади ва ўз тезлигини  $M = M_k$  бўлгунча оширади.

2. Агар  $M < M_k$  бўлса,  $\frac{dn}{dt} < 0$  бўлиб, юритма манфий тез-  
ланиш олади ва ўз тезлигини  $M = M_k$  бўлгунча камайтиради.

3. Агар  $M = M_k$  бўлса,  $\frac{dn}{dt} = 0$  бўлиб, юритма ўзгармас тез-  
лик билан турғун режимда ишлайди.

Демак, динамик момент фақат ўтиш режимида пайдо бўла-  
ди. Юритманинг тезланишида бу момент ҳаракатга тесқари  
йўналган бўлиб, тезликнинг ошишига қаршилик қилади, тор-  
мозланишда эса ҳаракат бўйича йўналиб, ҳаракатнинг давом  
ётишига ёрдам беради.

Қаршилик моментини ўз характерига қараб реактив ва ак-  
тив моментларга ажратиш мумкин. Реактив момент қисиш,  
кесиш, ишқаланишлар таъсирида юзага келиб, юритманинг  
ҳаракатига қаршилик қилади ва ҳаракат йўналиши ўзгарса,  
уз ишорасини ўзгартиради. Актив момент оғирлик кучи ҳам-  
да қайишқоқ жисмни чўзиш, қисиш ва бурашда ҳосил бўлган  
қаршилик моментидан иборат бўлиб, юритма ҳаракатига қар-  
шилик қилиши ва ҳаракат йўналиши ўзгаришига ёрдам бери-  
ши мумкин. У ҳаракатнинг ҳар икки йўналишида ҳам ўз ишо-  
расини ўзгартирмайди.

Демак, электр юритманинг ҳаракат тенгламасини умумий  
ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\pm M \pm M_k = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}. \quad (13.6)$$

(13.6) тенгламадаги моментлар ишорасини тайлаш двига-  
телнинг режимига ва қаршилик моментининг характерига боғ-  
лиқ.

(13.4) формуладаги

$$GD^2 = 4gJ$$

катталиқ *маховик моменти* деб аталади. Унинг қиймати ҳар  
бир двигателнинг қўзғалувчан қисми учун маълумотномалар-  
да келтирилади.

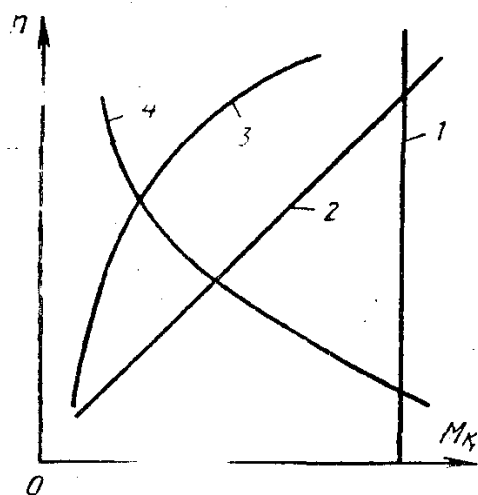
Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси берилган режимда  
юритманинг тезлигини, юритмадаги двигателни ишга тушириш  
ва тўхтатиш вақтини, берилган вақтда иш машинасини ишга  
тушириш учун зарур бўлган моментни аниқлаш имконини бе-  
ради. Шунингдек, юритманинг механик характеристикалари-  
дан ҳам фойдаланилади.

### 13.3. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Электр юритма тезлигининг моментга қараб ўзгариши электр юритманинг *механик характеристикаси* деб аталади. Мазкур характеристикани шартли равишда иш механизмининг ва электр двигателнинг механик характеристикаларига ажратиш мумкин.

**Иш механизмининг механик характеристикаси.** Электр юритманинг иши иш механизмини ҳаракатга келтирувчи электр двигателнинг механик хусусияти билан иш механизми характеристикаларининг ўзаро мос келишига кўп жиҳатдан боғлиқдир. Электр юритманинг ўтиш жараёни (ишга тушириш, тормозлаш ва тезликни ростлаш) даги иши двигателнинг айлан-тириш momenti билан механизм қаршилик моментларининг тезликка нисбатан ўзгаришига боғлиқ.

Механизмнинг қаршилик momenti билан тезлиги орасидаги боғланиш унинг механик характеристикаси  $[n = f(M_k)]$  деб аталади. Қаршилик моментининг хусусиятига қараб, механизмларнинг механик характеристикалари турлича бўлиши мумкин. Аммо уларни бир оз умумлаштириб, 13.1-расмда кўрсатилган механик характеристикалар кўринишига келтирамиз. 1-тўғри чизиқ қаршилик momenti айланиш тезлигига боғлиқ бўлмаган механизмнинг механик характеристикасидир. Бундай механизмларга кўтарма кранлар, лифтлар, конвейерлар (агар суриладиган материалларнинг оғирлиги ўзгармас бўлса), поршенли насослар (агар босим ўзгармас бўлса), йиғириш машиналари ва бошқалар мисол бўлади. 2-тўғри чизиқ (13.1-расм) қаршилик momenti айланиш тезлигига қараб чизиқли ўсиб борувчи механизмнинг механик характеристикасини билдиради. Агар мустақил уйғонувчи генераторнинг якорь занжири ўзгармас миқдорли қаршиликка уланган бўлса, бу генераторнинг двигатели чизиқли ўсувчи механик характеристикага эга бўлади. 3-эгри чизиқ қаршилик momenti айланиш тезлигига қараб чизиқли бўлмаган ҳолда (параболага ўхшаб) ўсиб борувчи

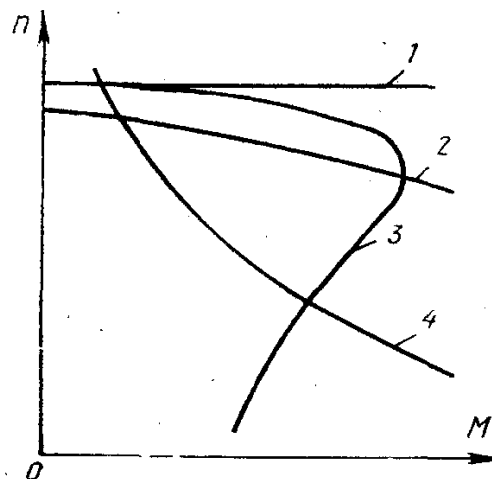


13.1-расм.

чи механизмнинг механик характеристикасини билдиради. Бундай механизмларга вентиляторлар, марказдан қочма насослар мисол бўлади. Улардаги қаршилик momenti тезликнинг квадратига қараб ошади. 4-эгри чизиқ қаршилик momenti айланиш тезлигига қараб чизиқли бўлмаган тарзда камайиб борувчи механизмларнинг механик характеристикасини билдиради. Бундай механизмларга баъзи токарлик, фрезерлик ва бошқа металл кесиш дастгоҳлари мисол бўлади.

Улардаги қаршилик моменти тезликининг ошиши билан камаяди.

Электр двигателнинг механик характеристикаси. Электр двигателнинг хусусияти электр юритманинг иши учун катта аҳамиятга эга. Электр двигателнинг хусусияти, асосан, унинг механик характеристикасида тўлароқ ифодаланади. 13.2-расмда ўзгармас ва ўзгарувчан ток двигателларининг механик характеристикалари  $[n = f(M)]$  кўрсатилган. Хarakterистикалардан кўринадики, электр двигатель айлантириш моментининг ошиши двигателнинг айланиш тезлиги камайишига сабаб бўлади.



13.2-расм.

Моментнинг ўзгаришига боғлиқ равишда айланиш тезлигининг ўзгариш даражаси двигателларнинг турига боғлиқ бўлиб, уларнинг механик характеристикаларининг „қаттиқлиги“ билан аниқланади. Агар тезлик қанча кам ўзгарса, характеристика шунча қаттиқроқ ҳисобланади. Характеристиканинг қаттиқлиги ( $\beta$ ) момент орттирмасининг тезлик орттирмасига нисбати билан аниқланади, яъни  $\beta = \Delta M / \Delta n$ .

Қаттиқлик даражасига қараб электр двигателларнинг механик характеристикаларини учта гуруҳга бўлиш мумкин:

1. Мутлоқ қаттиқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик ўзгармай қолади ( $\Delta M / \Delta n = \infty$ ). Бундай характеристика синхрон двигателга хосдир (13.2-расм, 1-туғри чизиқ)

2. Қаттиқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик ҳам оз миқдорда ўзгаради (момент  $M = 0$  дан  $M = M_{\text{ном}}$  гача ўзгарганда тезлик 5—10% атрофида ўзгаради). Бундай характеристика параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателлари учун ҳамда механик характеристиканинг иш қисмида асинхрон двигателлар учун ҳам хосдир (13.2-расм, 2- ва 3-эгри чизиқлар).

3. Юмшоқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик катта миқдорда ўзгаради. Бундай характеристика кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателига хосдир (13.2-расм, 4-эгри чизиқ). Аралаш уйғотишли ўзгармас ток двигатели механик характеристиканинг қаттиқлик даражасига қараб иккинчи ёки учинчи гуруҳга кириши мумкин (уйғотиш чулғамларининг қайси бири кучлироқ бўлса, ўшанинг хусусияти кучлироқ намоён бўлади).

Ишлаб чиқариш механизмларига қўйилган талабларга қараб электр двигатель танланади. Унинг номинал моменти, айланиш тезлиги, ишга тушириш моменти ҳамда механик характерис-



тикаси механизмнинг тегишли параметрларига мос келиши керак. Масалан, баъзи қурилмаларда ўзгарувчан ток механик ўзгартиргичи қаршилик моментининг ўзгаришида тезликнинг ўзгармас бўлиши талаб этилади. Катта қувватли (100 кВт ва ундан ортиқ), тезлиги бошқарилмайдиган қурилмалар (компрессор, насос, вентилятор) да синхрон двигателдан фойдаланилади. Бир томондан, синхрон двигателни қўллашдан мақсад қурилманинг механик характеристикасининг мутлақо қаттиқлигини ошириш бўлса, иккинчи томондан, мазкур машина электр тармоқнинг қувват коэффициентини оширади.

Агар қаршилик momenti катта миқдорда ўзгарса-ю, аммо тезликнинг кичик миқдорда ўзгариши талаб этилса, бундай қурилмалар учун қаттиқ характеристикали электр двигатель танланади. Бундай қурилмаларга токарлик, фрезерлик ва бошқа металлга ишлов берувчи дастгоҳ киради. Уларда тезликнинг оз миқдорда ўзгариши муҳим аҳамиятга эга эмас.

Ишга тушириш momenti катта бўлиши талаб этилган қурилмаларда (транспорт, юк кўтариш механизмлари) юмшоқ характеристикали двигателларни қўллаш мақсадга мувофиқдир.

#### 13.4. ЭЛЕКТР ЮРИТМАДАГИ УТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

Электр юритмадаги ўтиш жараёнининг давомийлиги, яъни ишга тушиш, тўхташ ва бир тезликдан иккинчисига ўтиш вақтлари механизмнинг иш унумига таъсир қилади, албатта. Ўтиш жараёнида двигателнинг чулғамидан жуда катта ток ўтиб, қувват исрофи кўпаяди. Бундан кўринадики, ўтиш жараёнини тадқиқ қилиш катта аҳамиятга эга, иккинчидан ўтиш жараёнининг давомийлиги орқали электр юритмани бошқариш схемасининг элементлари ва структураси танланади.

Ўтиш жараёнини ўзаро боғланган механик, электр ва иссиқлик миқдорларини ҳисобга олган ҳолда текшириш анча мураккаб вазифа. Шунинг учун бу масала амалда содда ва чегараланган усуллар ёрдамида ҳал қилинади.

Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси (13.5) дан юритма тезлигининг  $n_1$  дан  $n_2$  гача ўзгариши учун кетган вақт қуйидагича аниқланади:

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{M - M_k} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{M_{дин}}. \quad (13.7)$$

(13.7) тенгламани ечиш учун  $M$ ,  $M_k$  ёки  $M_{дин}$  ларнинг тезлик орқали ифодаланган механик характеристикалари маълум бўлиши керак.

$M_d = \text{const}$  бўлгандаги ўтиш режими. Агар айлангириш ва қаршилик моментлари ўзгармас бўлса, динамик момент  $M_{дин}$  тезликка боғлиқ бўлмайди ва ўтиш режимининг давомийлиги осон аниқланади:

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \frac{n_2 - n_1}{M_{дин}}. \quad (13.8)$$

Ушбу тенгламадан двигателни реостат орқали ишга тушириш, бир тезликдан иккинчисига ўтиш вақтини тахминан топишда фойдаланиш мумкин. Бунинг учун двигателнинг ўзгарувчан momenti ўртача ўзгармас момент билан алмаштирилади.

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \frac{n_2 - n_1}{M_{\text{ўр}} - M_{\text{к}}} \quad (13.9)$$

**1-масала.** Параллел уйғотишли двигателнинг параметрлари  $GD^2 = 4,1 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ;  $M_{\text{ном}} = 110 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $M_{\text{к}} = M_{\text{ном}}$  бўлса, унинг тезлигини  $n_1 = 800 \text{ айл/мин}$  дан  $n_2 = 900 \text{ айл/мин}$  га ошириш учун қанча вақт керак? Тезлик реостат орқали бошқарилади ва реостат қаршилиги бир поғонага камайтирилганда двигателнинг максимал айлантириш momenti  $M_{\text{мах}} = 170 \text{ Н} \cdot \text{м}$  бўлади.

*Ечилиши.* Двигателнинг ўртача айлантириш momenti

$$M_{\text{ўр}} = \frac{M_{\text{мах}} + M_{\text{ном}}}{2} = \frac{170 + 110}{2} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тезликни  $800 \text{ айл/мин}$  дан  $900 \text{ айл/мин}$  га ошириш учун кетган вақт

$$t_{1,2} = \frac{4,1(900 - 800)}{375(140 - 110)} = 0,36 \text{ с}.$$

Агар  $n_1 = 0$ ,  $n_2 = n_{\text{ном}}$  бўлса, (13.9) формуладан двигателни ишга тушириш учун сарфланган вақтни топиш мумкин:

$$t_{\text{и. т.}} = \frac{GD^2 n_{\text{ном}}}{375(M_{\text{ўр}} - M_{\text{к}})} \quad (13.10)$$

**2-масала.** Двигателнинг параметрлари  $GD^2 = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ,  $n_{\text{ном}} = 1440 \text{ айл/мин}$ ,  $M_{\text{ном}} = 80 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_{\text{к}} = M_{\text{ном}}$ ,  $M_{\text{мах}} = 160 \text{ Н} \cdot \text{м}$  бўлса, двигателнинг ишга тушиши учун қанча вақт сарфланади?

*Ечилиши.* Двигателнинг ўртача momenti

$$M_{\text{ўр}} = \frac{M_{\text{мах}} + M_{\text{ном}}}{2} = \frac{160 + 80}{2} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ишга тушириш вақти

$$t_{\text{и. т.}} = \frac{30 \cdot 1440}{375(120 - 80)} = 2,88 \text{ с}.$$

**3-масала.** Параллел уйғотишли двигателнинг параметрлари  $GD^2 = 4,1 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ,  $M_{\text{ном}} = 110 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_{\text{к}} = M_{\text{ном}}$  бўлса, двигателнинг тезлигини  $n_1 = 900 \text{ айл/мин}$  дан  $n_2 = 800 \text{ айл/мин}$  га камайитириш учун кетган вақтни ҳисобланг. Реостат қаршилиги бир поғонага кўпайтирилганда двигателнинг минимал айлантириш momenti  $M_{\text{мин}} = 90 \text{ Н} \cdot \text{м}$  бўлади.

*Ечилиши.* Двигателнинг ўртача momenti

$$M_{\text{ўр}} = \frac{M_{\text{мин}} + M_{\text{ном}}}{2} = \frac{90 + 110}{2} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тезликни 900 айл/мин дан 800 айл/минга камайтириш учун кетган вақт:

$$\frac{GD^2(n_1 - n_2)}{375(M_{yp} + M_k)} = \frac{4,1(900 - 800)}{375(100 + 110)} = 0,052 \text{ с.}$$

Электр тармоғидан узилган двигателнинг қаршилик моменти таъсири остида тўхташ вақти:

$$t_{\text{тўх}} = \frac{GD^2 n_{\text{ном}}}{375 M_k} = \frac{4,1 \cdot 900}{375 \cdot 110} = 0,089 \text{ с.}$$

4-масала. 2-масала шартдаги двигателнинг тезлигини номинал қийматдан нолгача камайтириш (тўхтатиш) учун сарфланган вақтни аниқланг,

*Ечилиши.* Двигателни тўхтатиш учун сарфланган вақт:

$$t_{\text{тўх}} = \frac{GD^2 n_{\text{ном}}}{375 \cdot M_k} = \frac{3 \cdot 1440}{375 \cdot 80} = 0,144 \text{ с.}$$

$M_{\text{дин}} \neq \text{const}$  бўлгандаги ўтиш режими.  $M_{\text{дин}}(n)$  ни интеграллаш мураккаб бўлса, ўтиш жараёнини график ёки аналитик усул ёрдамида ҳисоблаш анча осондир. Бунинг учун (13.5) формуладаги  $dn$  ва  $dt$  лар кичик ортгирма  $\Delta n$  ва  $\Delta t$  лар билан алмаштирилади. Шунингдек,  $\Delta n_k$  тезлик оралиғида  $M$  ва  $M_k$  ларни ўртача ўзгармас кичик  $M_k$  ва  $M_{kk}$  ларга алмаштирилади (13.3-расм) ва  $\Delta n_k$  тезликка эришиши учун двигатель тезлигини ошириш учун кетган вақт қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_k = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n_k}{M_k - M_{kk}},$$

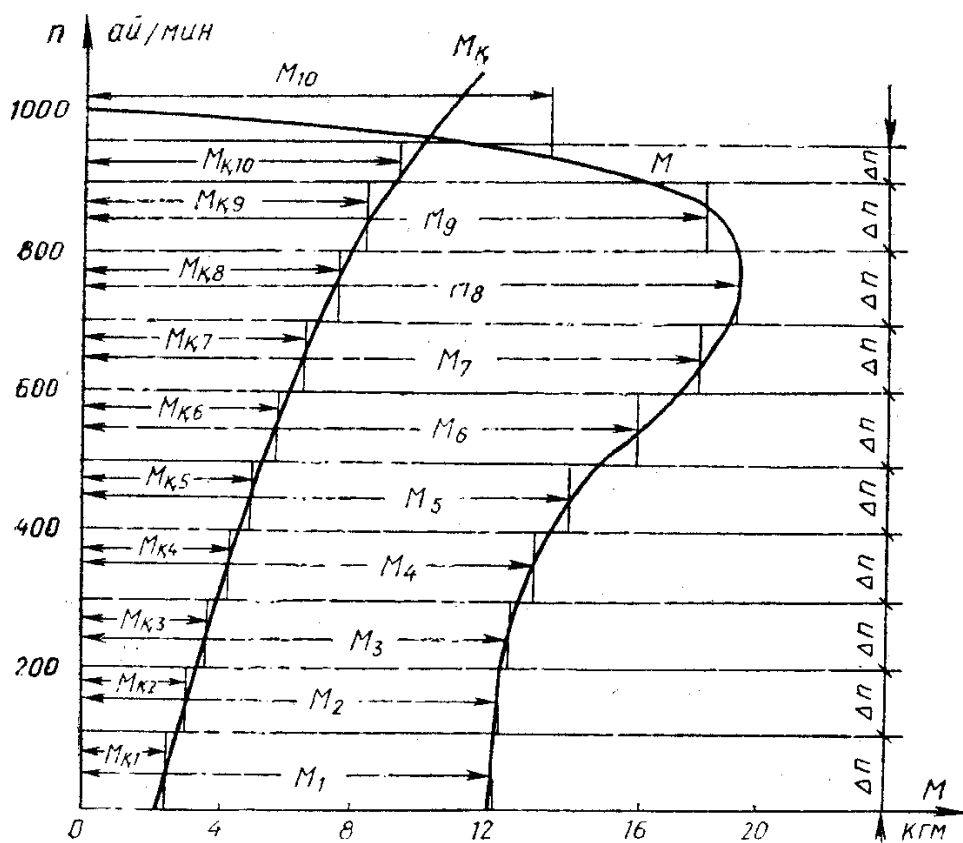
бунда  $\Delta n_k$  — графикдаги ҳар бир поғонага тегишли тезлик ортгирмаси;  $M_k$  — ҳар бир поғонадаги ўртача айлантириш моменти;  $M_{kk}$  — ҳар бир поғонадаги ўртача қаршилик моменти;  $\Delta t_k$  — кўрилаётган тезлик оралиғидаги ўтиш режими учун сарфланган вақт.

Двигателни ишга тушириш учун сарфланган умумий вақт:

$$t = \sum_{k=1}^m t_k, \quad (13.13)$$

бунда  $m$  — диапазон (поғона) лар сони.

5-масала. Вентилятор юритмасини ишга тушириш учун сарфланган вақтни топинг. Юритма асинхрон двигатель ёрдамида ҳаракатга келади ва унинг параметрлари қуйидагича:  $n_{\text{ном}} = 960$  айл/мин,  $GD^2 = 2,1 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ,  $P_{\text{ном}} = 40 \text{ кВт}$ . Двигателнинг  $n = f(M)$  ва вентиляторнинг  $n = f_1(M_k)$  механик характеристикалари 13,3-расмда берилган. Қулай бўлиши учун вентиляторнинг характеристикаси ҳам биринчи квадратга жойлаштирилган (аслида унинг моменти манфийдир).



13.3- расм.

**Ечилиши.**  $n = f(M)$  ва  $n = f_1(M_k)$  характеристикаларнинг ўзарас кесишган нуқтаси тургун режимни беради. Характеристикалар 9 та бўлакка  $\Delta n = 100$  айл/мин (охиргиси  $\Delta n = 60$  айл/мин) қилиб бўлинади. Ҳар бир бўлак учун  $M$  ва  $M_k$  нинг ўртача қийматларини топамиз ва ҳар бир бўлак учун  $\Delta t$  вақтни ҳисоблаймиз. Биринчи бўлак учун:

$$\Delta t_1 = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n_1}{M_1 - M_{k1}} = \frac{2,1}{375} \cdot \frac{100}{12,2 - 2,2} = 0,056 \text{ с.}$$

Қолган бўлаklar учун ҳисоблаш натижаларини қуйидаги жадвалга киритамиз.

к	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta n, \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60
$M, \text{кГм}$	12,2	12,8	13,1	13,6	14,9	17	19	19,8	18,8	14
$M_k, \text{кГм}$	2,2	3	3,8	4,5	5	5,9	6,6	7,5	8,5	9,6
$\Delta t, \text{с}$	0,056	0,057	0,06	0,0615	0,0566	0,0445	0,0455	0,0478	0,545	0,127

Демак, электр юритманинг ишга тушиш вақти  $t = \sum^{10} \Delta t = 0,6131$  с. Худди шундай, двигателнинг тўхташи учун сарфланган вақтни ҳам топиш мумкин. Бунда двигателнинг моменти ҳаракатга қаршилик кўрсатади. Қаршилик моменти эса ҳаракат бўйича ва унга қарама-қарши бўлиши мумкин. Масалан, қаршилик моменти ишқаланиш туфайли ҳаракатга қарама-қарши йўналганда двигателнинг тезлигини  $\Delta n$  га камайтириш учун сарфланган вақт  $\Delta t$  қуйидагича топилади:

$$\Delta t = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n}{M_{\text{ўр}} + M_{\text{кўр}}}.$$

Худди шунингдек, двигатель тезлигини бир тезликдан иккинчисига ўтказиш учун сарфланган вақтни ҳам аниқлаш мумкин.

### 13.5. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ НАГРУЗКА ДИАГРАММАСИ

Электр двигателнинг айлантириш моменти, токи ва қувватининг вақтга қараб ўзгариши электр юритманинг *нагрузка диаграммаси* деб аталади ва  $M(t)$ ,  $I(t)$ ,  $P(t)$  тарзда белгиланади. Нагрузка диаграммасини қуриш электр двигатель билан ижрочи механизмнинг биргаликда ишлангандаги хусусиятларни ҳисобга олишга асосланган. Чунки, двигателнинг  $M(t)$  ва  $P(t)$  нагрузка диаграммалари фақат барқарор режим вақтидагина ижрочи механизмнинг  $M_{\text{к}}(t)$  ва  $P_{\text{к}}(t)$  нагрузка диаграммалари билан бир хил бўлади. Бу вақтда  $M = M_{\text{к}}$  ва  $P = P_{\text{к}}$  бўлади.

Электр юритманинг нагрузка диаграммаси унинг ҳаракат тенграммаси асосида қурилади. Бунинг учун механизм қаршилик моментининг ўзгариш характери ва электр юритмадаги ўтиш жараёнининг қонунияти маълум бўлиши керак. Кўп ҳолларда двигателнинг айлантириш ва қаршилик моментларининг тезликка боғлиқлиги ўтиш жараёнида мураккаб бўлади. Бу ҳолларда ҳаракат тенграммасини аналитик ечиш мумкин бўлмай, уни график ёки графоаналитик усулда ечилади.

Нагрузка диаграммасини ҳисоблаш ва қуриш кетма-кетлигини даврий равишда ишловчи кўприкли краннинг электр юритмаси мисолида кўриб чиқамиз. Мазкур кранда фаза роторли асинхрон двигатель ишлатилган. Нагрузка диаграммасини ҳисоблаш учун юритманинг механик характеристикаси  $n = f(M_{\text{к}})$  ва юритманинг бир давр мобайнидаги ишини таъминловчи айланиш тезлигининг графиги  $n(t)$ , шунингдек юритманинг инерция моменти  $J_{\text{к}}$  маълум бўлиши керак (13.4-расм, а, б). Иш механизмнинг бир даври двигателни валида юклиниш бўлган ҳолда тезлигини  $n = 0$  дан  $n = n_{\text{max}}$  гача олиб чиқиш учун кетган вақт (ишга тушириш вақти  $t_1$ ), юритманинги ўзгармас тезлик  $n$ , билан ишлаш вақти ( $t_2$ ), тўхташиш вақти ( $t_3$ ) ва икки давр орасидаги тўхташ вақти ( $t_0$ ) дан иборат.

$n(t)$  боғланишдан  $\frac{dn}{dt}$  ни график усулда топамиз (13.4-расм, в).  $n(M_k)$  ва  $n(t)$  боғланишлардан фойдаланиб, иш машинасининг нагрузка диаграммаси  $M_k(t)$  ни қурамиз (13.4-расм, з). Бу моментнинг қиймати ёки ўртача қиймати (агар қаршилик моменти ўзгарувчан бўлса) бўйича каталогдан аввал фаза роторли асинхрон двигатель танланади.

Коэффициент  $K = 1,1 \div 1,5$  ( $1,3 \div 1,5$  қийматлар оғир ишга тушириш шароити учун) га тенг қилиб олинади.

Двигатель танлангандан сўнг унинг ротор инерцияси  $J_p$  топилади. Юритманинг умумий инерция моменти  $J = J_k + J_p$  шикланади.

Сўнгра динамик момент миқдори  $M_{дин} = \frac{J}{9,55} \frac{dn}{dt}$  ни топамиз.

$M_{дин}(t)$  графиги  $dn/dt$  боғланишга шаклан ўхшаш бўлади (13.4-расм, б).

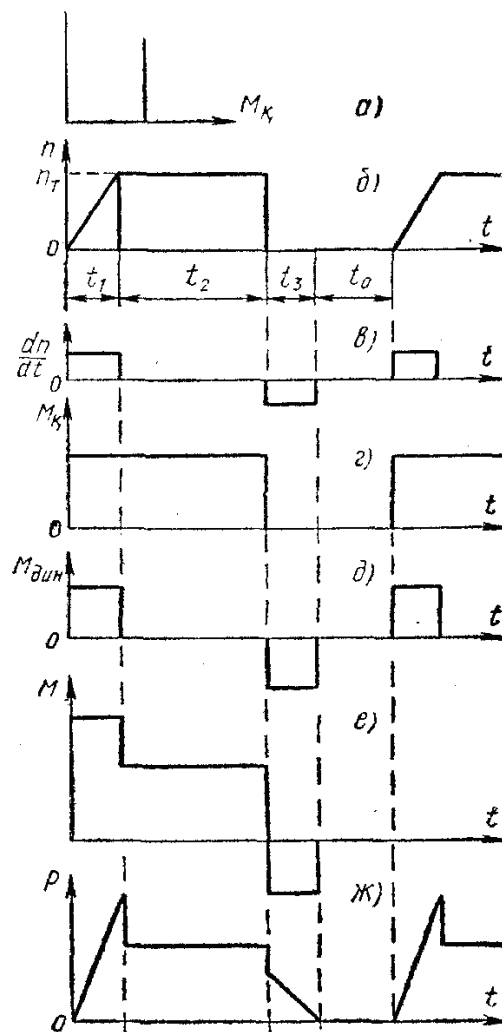
Двигательнинг айлантириш моменти қаршилик моменти билан динамик моментларнинг алгебраик йиғиндисидан иборат бўлганлиги учун, график  $M_k(t)$  ва  $M_{дин}(t)$  лар ординатасининг ҳар бир вақтга тўғри келувчи қийматларини ўзаро қўшиб, иш механизмининг нагрузка диаграммаси  $M(t)$  ни ҳосил қиламиз (13.4-расм, е).

Двигатель ўқидаги қувват графиги  $P(t)$

$$P = \frac{2\pi}{60} M \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

Формулага асосан айлантириш моменти билан тезлик графикларининг мос ординаталарини ўзаро кўпайтириб ҳосил қилинади (13.4-расм, ж).

Тахминан танланган двигательнинг нагрузка диаграммаси  $M(t)$  ёки  $P(t)$  бўйича текширилиб, қатъий хулосага келинади.



13.4-расм.

### 13.6. ДВИГАТЕЛНИНГ ҚИЗИШИ ВА СОВИШИ

Двигателларнинг ишлаш жараёнида қизиши уларнинг наг-рузка диаграммасига боғлиқ. Двигателни ишлатиш шароитида ҳосил бўладиган энг юқори температура ундан фойдаланиш кўрсаткичининг даражаси бўлиб ҳисобланади. Электр двига-теллар ишланганида албатта қизийди, бу барча двигателларда содир бўладиган энергия исрофи туфайли ҳосил бўлади. Дви-гателлардаги электр энергия исрофларининг барча турлари иссиқликка айланади ва унинг бир қисми ташқи муҳитга, бош-қа бир қисми машинанинг қизишига сарф бўлади.

Агар ГОСТ бўйича аτροφ-муҳит ҳарорати  $40^{\circ}\text{C}$  деб қабул қилинса, у ҳолда двигатель изоляцияси температурасининг муҳит температурасидан ошиши  $105^{\circ}\text{C}$  (А синфдаги изоляция учун),  $130^{\circ}\text{C}$  (В синфдаги изоляция учун) ва  $180^{\circ}\text{C}$  (Н синф-даги изоляция учун) чегарагача рухсат этилади. Чулғам изо-ляцияси температурасининг ГОСТ белгилаган температурадан ошишига йўл қўйилмайди, чунки бу двигатель изоляцияси-нинг бузилишига ва хизмат муддатининг қисқаришига олиб келади.

Электр двигателларнинг қизиш. жараёнини тушунишни осонлаштириш учун шартли равишда двигателнинг бутун ҳаж-ми бир меъёрга исийди, иссиқлик эса унинг сиртидан бир те-кисда тарқалади ва иссиқлик сизими ҳамда иссиқлик узатили-ши двигатель ва ташқи муҳит температуралари фарқига про-порционал деб ҳисобланади. Ана шу шароит учун двигател-нинг ўта қизиш температураси  $\tau$  нинг бошланғич температура  $\tau_{\text{бош}}$  дан охириги, турғун  $\tau_{\text{тур}}$  температурагача  $t$  вақт ичида ўз-гариши қуйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$\tau = \tau_{\text{тур}} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \tau_{\text{бош}} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (13.14)$$

бунда  $T$  — қизиш доимийси бўлиб, иссиқлик аτροφ-муҳитга тарқалганда двигателнинг энг юқори барқарор температурага-ча қизиши учун сарфланган вақтини билдиради.

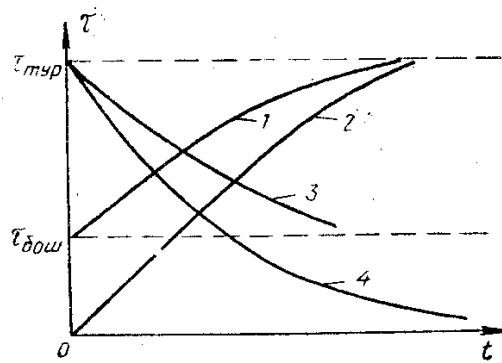
Бошланғич ишлаш даврида двигателнинг температураси аτροφ-муҳит температурасидан деярли фарқ қилмайди, яъни  $t=0$  да  $\tau_{\text{бош}} = 0$  бўлади, у ҳолда (13.14) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$\tau = \tau_{\text{тур}} (1 - e^{-\frac{t}{T}}). \quad (13.15)$$

(13.14) ва (13.15) тенгламалар асосида 13.5-расмда қизиш эгри чизиқлари (мос ҳолда 1 ва 2) келтирилган. Расмдан кў-ринадики, бошланғич ўта қизиш температураси ( $\tau_{\text{бош}}$ ) двига-тель температурасининг ортиш тезлигини ўзгартирар экан (13.5-расм). Қизиш эгри чизиқлари 1 ва 2 лардан кўринадики, двигатель турғун ўта қизиш температурасига анча вақт ўт-гандан кейингина эришади. Агар двигатель электр тармоғи-

дан узилса, унинг қизиши тўхтайди, бироқ иссиқликнинг двигател сиртидан нурланиши давом этади (нурланиш двигателда тўпланган иссиқлик ҳисобига содир бўлади). Шунинг учун двигател совий бошлайди. Ҳемпература двигателнинг совийш жараёнида қуйидаги ифодага мувофиқ ўзгаради:

$$\tau = \tau_{\text{бош}} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \tau_{\text{тур}} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (13.16)$$



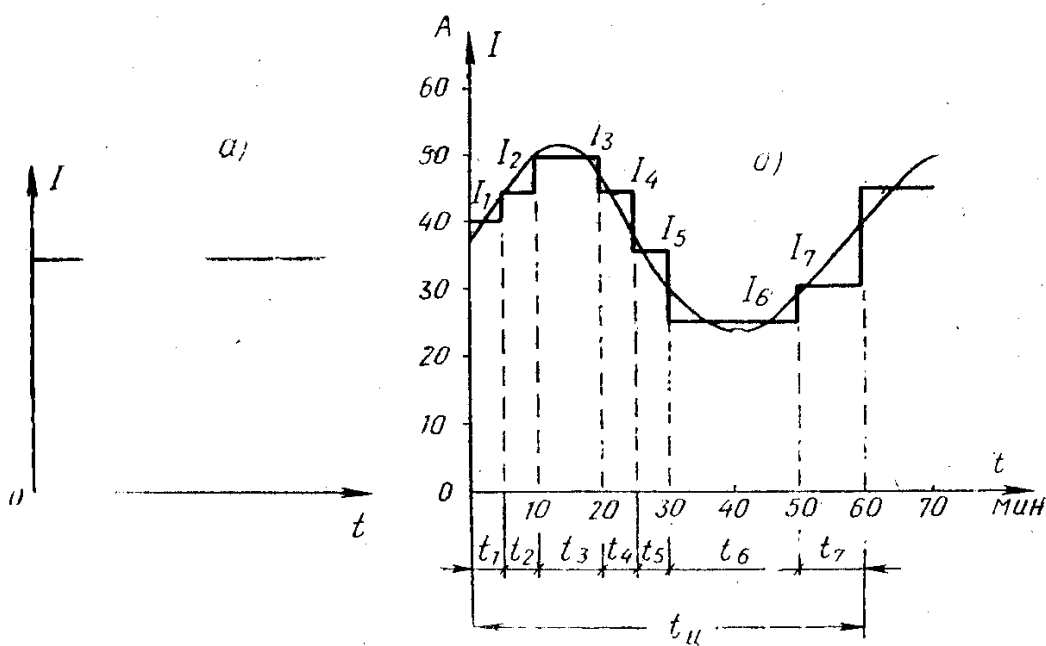
13.5- расм.

Агар двигател атроф-муҳит ҳароратигача совиса, яъни  $\tau_{\text{бош}} = 0$  бўлса, (13.16) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\tau = \tau_{\text{тур}} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (13.17)$$

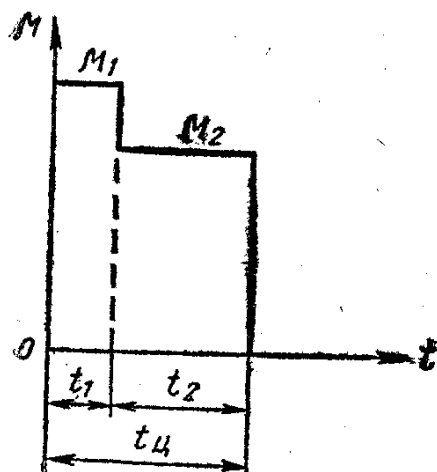
(13.16) ва (13.17) тенгламалар асосида 13.5-расмда двигателнинг совийш эгри чизиқлари 3 ва 4 келтирилган.

Агар двигателнинг қизиш температураси рухсат этилган барқарор (турғун) температурага яқинлашса-ю, аммо ундан ошиб кетмаса, у ҳолда бу режимда двигателдан тўлиқ фойдаланилган бўлади. Шунинг учун ҳам двигателнинг қизиш ва совийш хусусиятига қараб ГОСТ асосида электр юритмаларнинг иш жараёни учта: узоқ муддатли, қисқа муддатли ва такрорланадиган қисқа муддатли номинал иш режимига бўлинади.

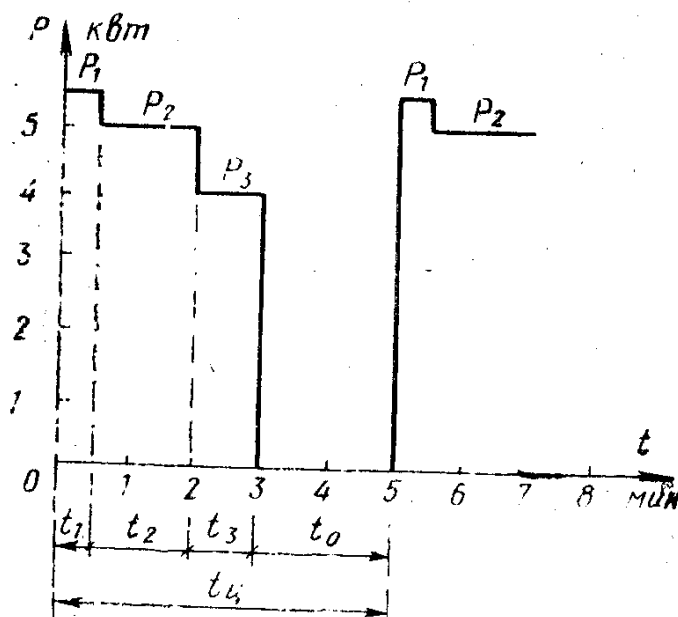


13.6- расм.





13.7- расм.



13.8- расм.

Узоқ муддатли иш режимида двигателнинг юкланиш билан ишлаш даври узоқ вақт давом этади, шунинг учун унинг барча қисмлари температуранинг барқарор қийматигача қизийди. Бунда двигателнинг нагрукаси ишлаш вақти давомида ўзгармаслиги (13.6-расм, а) ёки ўзгариб туриши мумкин (13.6-расм, б). Двигателнинг узоқ муддат ишлагандаги қизиш (2) ва совиш (4) эгри чизиқлари 13.5-расмда кўрсатилган.

Қисқа муддатли иш режимида электр юритманинг номинал нагруклада ишлаш давлари двигателни вақтинчали электр тармоғидан узиб қўйиш вақти билан алмашилиб туради. Ана шу вақт давомида двигатель атроф-муҳит ҳароратигача совишга улгуради (13.7-расм). Бу режимда жуда кам миқдордаги механизмлар (тўғон затворлари, ажралувчи кўприклар, қувурлар задвижкеси ва бошқалар) ишлайди. Шунинг учун мазкур режимда ишлайдиган двигателлар махсус қурилмалар учунгина ишлаб чиқарилади.

Такрорланадиган қисқа муддатли иш режимида электр юритманинг номинал нагруклада қисқа муддатли ишлаш давлари ( $t_n$ ) двигателни тармоқдан узиб қўйиши (пауза) давлари ( $t_0$ ) билан ёки двигателдан нагрукани олиб қўйиш билан алмаштириб турилади (13.8-расм). Бу режимда нагрук уланган даврда двигатель қисмларининг қизиш температураси барқарор қийматгача кўтарила олмайди, пауза вақтида эса атроф-муҳит ҳароратигача совишга улгурмайди. Такрорланадиган қисқа муддатли иш режими улашнинг нисбий давомийлиги (УД) дейиладиган катталиқ билан характерланади:

$$УД = \frac{t_n}{t_n + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_0}{t_n} \cdot 100\%, \quad (13.18)$$

бунда  $t_n$  — бутун цикл вақти.

Саноат корхоналарида УД 15, 25, 40 ва 60% бўлган турли қувватдаги двигателлар ишлаб чиқарилади. Буларда циклнинг давомийлиги 10 минутдан ошмайди. Узоқ давом этадиган режимларда УД — 100% бўлади ва бундай двигателларнинг ишлаши узоқ муддатли иш режимига тааллуқли бўлади.

### 13.7. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ҚУВВАТИНИ ТАНЛАШ

Двигателларнинг қувватини тўғри танлаш катта аҳамиятга эга бўлиб, электр юритма қувватининг бошланғич минимал қийматини ва уларни эксплуатация қилишда юзага келувчи энергия исрофининг камроқ бўлишини таъминлайди. Барча ҳолларда ҳам двигателларнинг номинал иш режимларини иш механизмларининг режимларига мос ҳолда танлаш керак.

*Узоқ муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш.* Халқ хўжалигининг аксарият тармоқларида ишлатиладиган турли механизмларнинг нагрукаси узоқ муддат давомида ўзгармас ёки кам ўзгарувчан бўлиши мумкин. Агар бундай механизмлар истеъмол қиладиган ўзгармас қувват ( $P$ ) маълум бўлса у ҳолда двигателнинг қуввати бевосита каталогдан танланади. Бунда двигатель қуввати ( $P_{ном}$ ) нагрукка қуввати ( $P$ ) га тенг қилиб олинади. Агар каталогда бундай қувватли двигатель бўлмаса, у ҳолда навбатдаги энг яқин катгароқ қувватли двигатель танланади, яъни  $P_{ном} \geq P$  бўлиши керак. Агар механизмнинг қуввати олдиндан маълум бўлмаса, унда двигатель танлаш баъзи қийинчиликларни туғдиради. Узоқ муддат ўзгармас нагруккада ишлайдиган механизмлар (насослар, вентиляторлар, компрессорлар) учун мўлжалланган двигателларнинг қуввати назарий ҳисоблар ёки эмпирик формулалар ёрдамида ҳисоблаб, ёки нагрукка диаграммасини қуриш йўли билан аниқланади. Масалан, насослар учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_{н} = \frac{QH\gamma K_{\circ}}{10^2 \eta_{н} \eta_{у}} \text{ кВт}, \quad (13.19)$$

бу ерда  $Q$  — насоснинг иш унуми,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  — тўла босим,  $\text{м}$ ;  $\gamma$  — ҳайдаладиган суюқликнинг солиштира оғирлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $K_{\circ}$  — эҳтиётлик коэффиценти; ( $P_{н} \leq 50$  кВт бўлганда  $K_{\circ} = 1,2$ ; 50 дан 360 кВт гача  $K_{\circ} = 1,15$ ; 350 кВт дан юқори қувватли двигателлар учун  $K_{\circ} = 1,1$ );  $\eta_{н}$ ,  $\eta_{у}$  — мос ҳолда насо ва насос билан двигатель орасидаги узатманинг фойдали иш коэффицентлари.

6-масала. Кўп қаватли уйларга сув берадиган марказдан кочма насос учун ротори қисқа туаштирилган синхрон двигатель қувватини танлаш талаб қилинади. Бунда қуйидагилар маълум:  $Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ ; ҳисобий сув босими  $H = 25 \text{ м}$ ;  $\eta_{н} = 0,5$ ;  $\eta_{у} = 1$ ; насоснинг иш режими — узоқ муддатли;  $\gamma = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; насоснинг айланиш тезлиги  $n_{н} = 1450 \text{ айл}/\text{мин}$ .

Ечилиши. (13.19) формулага асосан насос талаб қилган қувватни ҳисоблаймиз:

$$P_{\text{н}} = \frac{QH\gamma K_{\text{э}}}{102\eta_{\text{н}}\eta_{\text{у}}} = \frac{0,05 \cdot 25 \cdot 1000 \cdot 1,3}{102 \cdot 0,5 \cdot 1} = 24,5 \text{ кВт.}$$

Каталогдан қуввати бўйича энг яқин бўлган, ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигатель танлаймиз, унинг номинал техник кўрсаткичлари қуйидагича: тури А;  $P_{\text{н}} = 25$  кВт;  $n_{\text{н}} = 1450$  айл/мин;  $\eta_{\text{ном}} = 0,9$ ;  $\cos \varphi = 0,8$ .

Вентилятор учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_{\text{в}} = \frac{QHK_{\text{э}}}{102\eta_{\text{в}}\eta_{\text{у}}} \text{ кВт,} \quad (13.20)$$

бу ерда  $Q$  — вентиляторнинг иш унуми,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  — тўла босим, мм сув устун:  $K_{\text{э}}$  — эҳтиётлик коэффициенти, ( $P_{\text{в}} \leq 2$  кВт бўлганда  $K_{\text{э}} = 1,5$ ; 5 кВт гача  $K_{\text{э}} = 1,25$ ; 5 кВт дан юқори бўлганда  $K_{\text{э}} = 1,1 \div 1,15$ );  $\eta_{\text{в}}$ ,  $\eta_{\text{у}}$  — мос ҳолда вентилятор ва узатманинг фойдали иш коэффициенти.

Компрессор учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_{\text{к}} = \frac{QA}{102\eta_{\text{к}}\eta_{\text{у}}} \text{ кВт,} \quad (13.21)$$

бу ерда  $Q$  — компрессорнинг иш унуми,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $A$  — 1  $\text{м}^3$  ҳавони 1 атмосфера босимдан керакли босимгача сиқиш учун сарф бўладиган иш,  $\text{кГ} \cdot \text{м}$ ;  $\eta_{\text{к}}$ ,  $\eta_{\text{у}}$  — мос ҳолда компрессор ва узатманинг фойдали иш коэффициенти.

Кўпгина механизмлар узоқ муддат ўзгарувчан нагрузкада ишлайдилар. Бундай қурилмалардаги электр двигателларнинг қуввати нагрузка диаграммаси ёки ўртача исрофлар усули асосида аниқланади. Ўртача исрофлар усули двигателнинг ишлаш давридаги ўртача қувват исрофи  $\Delta P_{\text{ўр}}$  ни номинал нагрузка билан ишлагандаги исрофлар  $\Delta P_{\text{ном}}$  билан солиштиришга асосланган.

Ўртача қувват исрофи ушбу ифодадан топилади:

$$\Delta P_{\text{ўр}} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_i t_i}{t_{\text{ц}}},$$

бу ерда  $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_i$  —  $t_i$  вақтдаги қувват исрофи;  $t_{\text{ц}}$  — циклнинг давомийлиги.

Агар иш цикли вақтида ўртача қувват исрофи номинал нагрузка билан ишлагандаги номинал қувват исрофидан ошмаса, у ҳолда двигателнинг ўртача температураси жоиз қийматдан ошмайди. Демак, двигател тўғри танланган бўлади.

Шундай қилиб двигателни танлаш шарти сифатида ушбу ифода хизмат қилади.

$$\Delta I_{\text{ўр}} \leq \Delta P.$$

Аммо каталогларда двигатель тўғрисидаги керакли маълумотларнинг етарли бўлмаслиги кўп ҳолларда ўртача қувват исрофидан фойдаланишни қийинлаштиради. Шунинг учун амалда анчагина содда усул: эквивалент миқдорлар (ток, момент ва қувват) усули кенг қўлланилади.

Эквивалент ток деб, шундай ўзгармас токка айтиладики, бу ток электр двигатели чулғамларидан бутун ишлаш даври давомида ўтиб, чулғамларни ҳақиқий ток ўткандагидай бир хилда қиздиради. Двигателнинг берилган нагрузка диаграммасидан эквивалент ток қуйидагича топилади.

13.6-расм, б да берилган  $I=f(t)$  эгри чизиқли график поғонали синиқ чизиқ билан алмаштирилади ҳамда  $t_1, t_2$  ва ҳоказо вақтлар оралиғида двигатель мос равишда  $I_1, I_2$  ва ҳоказо тоқлар қабул қилади деб ҳисобланади. Бу вақтда Ленц-Жоуль қонунига асосан:

$$I_3^2 \cdot r \cdot t_{\text{ц}} = I_3^2 \cdot r (t_1 + t_2 + \dots + t_n) = I_1 r t_1 + I_2 r t_2 + \dots + I_n r t_n$$

бу ерда  $r$  — электр двигатель чулғамларининг қаршилиги. Бундан эквивалент ток

$$I_3 = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (13.22)$$

Двигателнинг каталогдан танланадиган номинал токи  $I_{\text{ном}}$  ҳисобланган эквивалент ток  $I_3$  га тенг ёки ундан катга қилиб олинishi керак, яъни

$$I_{\text{ном}} \geq I_3.$$

**6-масала.** 13.6-расм, б да келтирилган график бўйича ишлайдиган иш механизми электр двигателининг номинал токи танлансин:

$$I_3 = \sqrt{\frac{40^2 \cdot 5 + 45^2 \cdot 5 + 50^2 \cdot 10 + 45^2 \cdot 5 + 35^2 \cdot 5 + 25^2 \cdot 20 + 30^2 \cdot 10}{5 + 5 + 10 + 5 + 5 + 20 + 10}} = 36,9 \text{ А.}$$

Каталогдан  $I_{\text{ном}} \geq I_3 = 36,9 \text{ А}$  қилиб кўрсатилган турдаги двигатель танланади.

Агар электр двигателининг магнит оқими ўзгармас бўлса (параллел уйғотишли ўзгармас ток ва синхрон электр двигателлар), у ҳолда электр двигателини эквивалент айлантириш моментига кўра танлаш мумкин:

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (13.23)$$

chunki  $M = C_m \Phi I$  ва  $\Phi = \text{const}$  бўлганда, момент токка пропорционал бўлади.

Агар берилган нагрузка графиги қувватнинг вақтга боғланишидан иборат ва нагрузканинг тезликка таъсири жуда кичик бўлса,

чик бўлса (масалан, асинхрон, синхрон двигателлар ва параллел уйғотишли ўзгармас ток двигатели), у ҳолда электр двигателини эквивалент қувват бўйича танлаш мумкин:

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (13.24)$$

чунки  $P = M\omega$  ва  $\omega = \text{const}$  бўлганда қувват момент ва токка пропорционал бўлади.

Агар  $M_{\text{ном}} \geq M_э$  ёки  $P_{\text{ном}} \geq P_э$  бўлса, (13.23) ёки (13.24) формула бўйича ҳисоблаб, танланган двигатель қизиш шартини бажаради.

Қисқа муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш. Қисқа муддатли иш режимининг нагрузка диаграммаси (13.7-расмда) кўрсатилган. Мазкур диаграммага мос равишда (13.23) формуладан фойдаланиб, эквивалент момент ҳисобланади. Бунда  $t_1 + t_2 + \dots + t_n = t_k$  деб олинади ва қисқа муддатли ишлаш вақти деб аталади.

Сўнгра каталогдан  $t_k$  вақт ишлашга мўлжалланган, номинал momenti эквивалент моментга тенг ёки ундан катта  $M_{\text{ном}} \geq M_э$  бўлган двигатель танланади. Электр двигателни оний ўта юкланишга текшириб кўриш керак: нагрузканинг  $I_{\text{max}}/I_э$  нисбати двигатель  $I_{\text{max}}/I_{\text{ном}}$  нисбатининг жоиз қийматидан кичик ёки унга тенг бўлиши керак.

Такрорланадиган қисқа муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш. Кранлар, лифтлар, экскаваторлар, металлларга ишлов берувчи бир қанча дастгоҳларнинг двигателлари ва шу кабилар такрорланадиган қисқа муддатли иш режимида ишлайди. Уларнинг нагрузка диаграммаси 13.8-расмда кўрсатилган.

Такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган механизмлар учун двигатель қувватини юқорида келтирилган эквивалент ток, қувват ва момент формулаларидан фойдаланиб танлаш мумкин. 13.8-расмда кўрсатилган график асосида эквивалент қувват қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}. \quad (13.25)$$

Аниқланган эквивалент қувват  $P_э$  ва берилган УД учун каталогдан двигателнинг номинал қуввати топилади. Ҳисобланган УД энг яқин стандартга мос келмаса, у ҳолда (13.25) формуладан топилган ҳақиқий эквивалент қувватни ( $P_{эх}$ ) стандарт УД<sub>ст</sub> га қайта ҳисобланади:

$$P_{э. ст.} = P_{э. х} \sqrt{\frac{УД_х}{УД_{ст}}}. \quad (13.26)$$

8-масала. 13.8-расмдаги график бўйича ишловчи механизм двигателининг номинал қуввати аниқлансин:

$$P_9 = \sqrt{\frac{5,5^2 \cdot 0,5 + 5^2 \cdot 1,5 + 4^2 \cdot 1}{0,5 + 1,5 + 1}} = 4,78 \text{ кВт};$$

$$\text{УД} = \frac{0,5 + 1,5 + 1}{0,5 + 1,5 + 1 + 2} \cdot 100\% = 60\%.$$

УД = 60% учун каталогдан параллел уйғотишли ўзгармас ток ёки асинхрон двигателнинг номинал қуввати типилади,  $P_{\text{ном}} \geq P_9 = 4,78 \text{ кВт}$ .

### 13.8. ЭЛЕКТР ЮРИТМА УЧУН ДВИГАТЕЛЬ ТУРИНИ ТАНЛАШ БУЙИЧА УМУМИЙ ТАВСИЯЛАР

Двигателни тўғри танлаш катта аҳамиятга эгадир. Кўп сонли ўзгарувчан ва ўзгармас ток двигателларининг турлари ичида у ёки бу иш машинасининг юритмаси учун шундай двигателни танлаш керакки, у ишлаб чиқариш жараёнининг ҳам техник, ҳам иқтисодий талабларини тўла-тўқис қондирсин.

Электр юритмаларни лойиҳалашда ўзаро боғлиқ бир қатор масалалар (двигателнинг кучланишини, тезлигини ва турини танлаш) ни ҳал қилишга тўғри келади.

**Двигателнинг номинал кучланишини танлаш.** Бу масалани ечишда стандарт номинал кучланишга асосланилади. Уч фазали двигателлар 220, 380, 660, 3000, 6000 ва 10000 В кучланишга, ўзгармас ток двигателлари 110, 220 ва 440 В кучланишларга мўлжаллаб чиқарилади. Кичик ва ўртача (100 кВт гача) қувватли уч фазали асинхрон ва синхрон двигателлар учун 380 В кучланишни танлаш мақсадга мувофиқдир. 220 В ли кучланиш тавсия этилмайди, чунки бунда ток кучи  $\sqrt{3}$  марта юқори бўлиб, рангли металл сарфини кўпайтиради.

Катта қувватли электр юритмалар учун 3000, 6000 ва 10000 В га мўлжалланган уч фазали двигателларни қўллаш тавсия этилади. Бу кучланишлардан қай бирини танлаш саноат корхонасидаги юқори кучланишли тармоқдаги кучланишнинг қийматига боғлиқ.

Тезлини бошқариладиган ўзгармас ток двигателли электр юритма учун асосан 220 В, баъзан 110 В кучланиш тавсия этилади. Чунки 440 В га мўлжалланган ўзгармас ток двигателлари ишлаш даврида тез-тез ишдан чиқиб туради.

**Двигатель турини танлаш.** Танланадиган двигателнинг шундай турини танлаш керакки, уни бошқариш осон, эксплуатация қилишда мустаҳкам ва ишончли ҳамда нархи арзон, ўзи ихчам, шунингдек юқори энергетик кўрсаткичларга эга бўлсин. Двигателнинг турини танлашда юритманинг тезлиги бошқариладиган ёки бошқарилмайдиганлигига ҳам эътибор бериш керак. Юқоридаги талабларнинг аксариятини қондирувчи электр двигатель — бу ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателдир. Шунинг учун иш жараёнида тезлигини бошқариш талаб этилмайдиган барча иш механизмлари ва ма-

шиналарида асинхрон двигателлар кенг қўлланилади. Шунингдек, мазкур двигателлар камчиликлардан ҳам ҳоли эмас. Уларнинг асосийлари қуйидагилардан иборат:

1. Чекланган ишга тушириш momentiда катта ишга тушириш токиннинг мавжудлиги.

2. Ротор занжиридаги иссиқлик миқдорининг ташқи муҳитга яхши тарқалмаслиги туфайли қайта улаш сонининг чекланганлиги.

3. Ўқдаги нагрузка momenti ўзгарганда тезликнинг ўзгариши. Шунга қарамай, халқ хўжалигидаги деярли барча кичик ва ўртача 100 кВт гача қувватли, тезлиги бошқарилмайдиган **иш** механизмларида **ротори қисқа туташтирилган** асинхрон двигателлар қўлланади.

Такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган ва нисбатан катта ишга тушириш частотасига эга бўлган баъзи механизмлар учун оширилган номинал сирпанишли асинхрон двигателларни қўллаш тавсия қилинади. Оширилган сирпаниш қисқа туташтирилган асинхрон двигатель роторида битга ёки иккита „олмагон қафаси“ тарзида жойлаштириш орқали амалга оширилади. Бундай двигателларнинг ишга тушириш momenti катта, ишга тушириш токи эса нисбатан кичик бўлади. Шунинг учун бу двигателлардан фойдаланилганда электр юритманинг ишга туширишдаги энергия исрофи ва ишга тушириш вақти камаяди.

Баъзи ҳолларда фаза роторли асинхрон двигателлардан ҳам фойдаланишга тўғри келади. Улар қуйидаги электр юритмаларни ҳаракатга келтиришда қўлланилади:

1. Оғир шароитда ишга тушириладиган, ишга тушириш momentининг катта бўлиши талаб қилинадиган ва тезланишни чеклайдиган механизмлар (пассажир ва шахта кўтарувчи қурилмалар).

2. Соатига қайта уланиш сони кўп бўлган (такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган) қурилмалар.

3. Тезликни кичик чегарада бошқариш талаб этиладиган қурилмалар.

Фаза роторли асинхрон двигателларни қўллаш керак бўлганда улар тузилишининг мураккаблигини, оғирлиги ва ҳажми нисбатан катта эканлигини,  $\cos \varphi$  нинг кичиклигини ва эксплуатацияси нисбатан мураккаблигини эътиборга олиш керак.

Ўртача ва катта қувватли, узоқ муддатли режимда ишлайдиган бошқарилмайдиган электр юритмаларда синхрон двигателлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай юритмаларга компрессорлар, катта қувватли насослар ва вентиляторлар ва бошқалар киради. Синхрон двигателлар юқори ФИК ва сигимли  $\cos \varphi$  режимда ишлай олиши билан асинхрон двигателлардан фарқ қилади. Кичик қувватли қурилмаларда бу двигателларни қўллаш иқтисодий жиҳатидан ўзини оқламайди, чунки сарфланган харажатларни уларни эксплуатация қилишдаги афзалликларидан қопламайди.

Иш шароитига кўра тезликни катта ораликда равон бошқариш талаб этиладиган қурилмаларда, катта ишга тушириш соҳига эга бўлган механизмларда ва нисбатан кичик тезликда ишлайдиган юритмаларда ўзгармас ток двигателларини қўллаш мумкин. Бундай қурилмаларга реверсив прокат станлари, металлга ишлов бериш дастгоҳлари, электр трансporti, лифтлар, кўтарма-транспорт механизмлар ва бошқалар мисол бўлади.

**Электр двигателларининг номинал тезлигини танлаш.** Электр двигателларни иш машиналари билан ўзаро бириктиришнинг энг содда ва мустаҳкам тури уларни бевосита муфта орқали улашдир. Бу ҳолда двигателнинг тезлиги иш машинасининг тезлигига тенг қилиб олинади. Двигателлар эса маълум стандарт тезликка мўлжалланган бўлади. Бундан ташқари, двигателларнинг номинал тезлиги кичикроқ бўлса, уларнинг ўлчами берилган номинал қувватда ( $P_{ном}$ ) каттароқ бўлади. Шунинг учун аксарият двигателлар 1500 ва 3000 айл/мин тезликка мўлжаллаб чиқарилади. Иккинчидан, иш машиналари, асосан, кичик тезликка (200 ÷ 500 айл/мин) мўлжалланган бўлади. Бинобарин, двигателларни иш машиналарига улаш узатиш қурилмаларидан фойдаланишни тақозо қилади. Бундай ҳолларда двигателнинг номинал тезлиги бир неча вариантларда ҳисоблаш, текшириш ва анализ қилиш асосида танланади.

**Электр двигателларнинг конструкциясини танлаш.** Двигатель конструкциясини танлашда атроф-муҳит шароити ҳам ҳисобга олинади. Бунда двигателни ташқи муҳит таъсиридан ҳимоялаш керак бўлса, иккинчи томондан, двигателларда юзга келиши мумкин бўлган учқунлардан атроф-муҳитни (агар ёнувчи чанглар, портловчи газлар ва аралашмалар ва шунга ўхшашлар мавжуд бўлса) ҳимоя қилиш керак бўлади. Шунинг учун ҳам двигателлар очик, ҳимояланган, ёпиқ ва портлашга хавфсиз кўринишда ишлаб чиқарилади.

Очик двигателлар ҳеч қандай ҳимоя воситаларига эга бўлмайди ва чангсиз, ифлоссиз ва бошқа аралашмаларга эга бўлмаган қуруқ хоналарда ишлатилади.

Ҳимояланган двигателлар қуйидагиларга бўлинади:

— ток ўтказувчи қисмларга тасодифан тегиб кетишдан ва двигатель ичига ташқи буюмлар тушиб кетишидан ҳимояланган (двигателнинг очик жойларини ёпиб турувчи тўрлари бўлади);

— сув томчилари тушишидан ҳимояланган (тўрдан ташқари соябони ҳам бўлади).

Ёпиқ двигателларни зах, газли, чангли хоналарда ишлатиш мумкин. Улар қопқоқ ҳамда махсус зичлагич билан таъминланади. Бундай двигателлар ичига ташқаридан чанг, газ ва бошқа аралашмалар кирмайди. Герметик ёпиқ двигателни эса узоқ муддат сувга ботириб қўйилса ҳам двигатель ичига нам ўтмайди.

Портлашга хавфсиз двигателлар ёнгин ва портлаш хавфи бўлган, хавфли газ ёки буғли хоналарга ўрнатилади. Улар—



нинг корпуси шу қадар мустаҳкамки, портлаш натижасида двигатель ичида ҳосил бўлган аланга ташқарига — портлаш хавфи бўлган муҳитга чиқмайди.

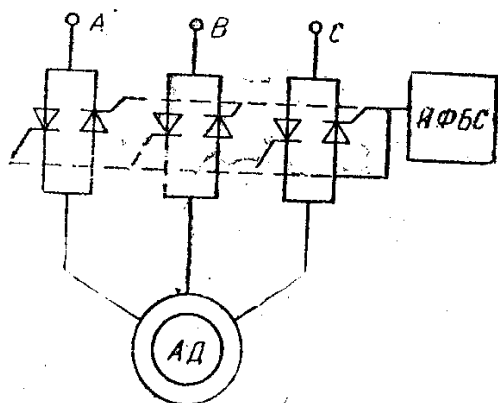
Булардан ташқари, двигателларни совитилиши, маҳкамла- ниши ва шу каби бошқа шунга ўхшаш хусусиятларига қа- раб ҳам бир неча турга ажратиш мумкин.

### 13.9. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИ ТИРИСТОР БИЛАН БОШҚАРИШ

Тиристорли ўзгартиргичларнинг юқори ФИК ( $0,95 \div 0,97$ ), габарит ўлчамларининг нусбатан кичиклиги ва шу каби бош- қа кўрсаткичлари туфайли тиристорли электр юритмалардан кенг фойдаланиш йўлга қўйилмоқда. Тиристорлар ва тегишли бошқариш системаларидан фойдаланиш ҳам ўзгарувчан, ҳам ўзгармас ток двигателларини ишга тушириш муаммосини ҳал қилади ҳамда керакли ростлаш характеристикалари ва дина- мик режимларни олиш имконини беради.

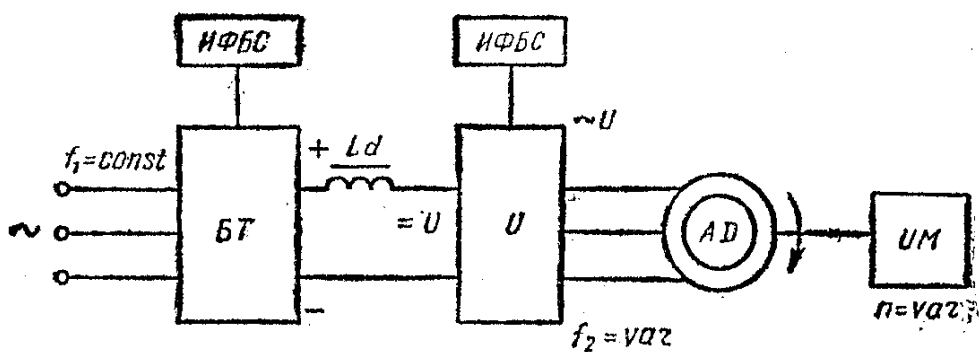
**Тиристорли ўзгарувчан ток электр юритмаси.** Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини ростлаш учун тири- сторлар статор занжирига уланади. Бунда улар ёрдамида ста- тор чулғамларидаги синусоидал ку чланишнинг амплитудасини (фазали ростлаш) ёки частотасини (частотали ростлаш) рост- лаш мумкин. Ҳар иккала ҳолда ҳам асинхрон двигателнинг айлантириш моменти ўзгаради. Бу айланишлар частотасининг ўзгаришига олиб келади.

Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини тиристорли кучланиш ўзгартиргичи (ТКЎ) ёрдамида ростлаш схемаси 13.9- расмда кўрсатилган. ТКЎ нинг ҳар бир фазасида иккита қарама-қарши (параллел) уланган тиристор бўлиб, ўзгарувчан токнинг ҳар иккала ярим даврини ўтказди. ТКЎ ёрдамида кучланишни ўзгартириш учун импульсли фаза бошқарувчи система (ИФБС) деб аталувчи қурилма бўлиши керак. У ик- кита вазифани бажаради: бошқарувчи импульсни вужудга кел- тиради ва уни тармоқ кучланишига нисбатан фаза бўйича силжитади. ИФБС тиристорли ўзгартиргичнинг ростлаш бур- чаги  $\alpha$  ни 0 дан 180 электрик градусга ўзгартириш имконини беради (13.9- расм).



13.9- расм.

Бошқарувчи импульсни тири- сторларга бериш лаҳзаларини ўз- гартириб, асинхрон двигателнинг статор чулғамига берилаётган кучланишни ўзгартиришга ва роторнинг айланишлар частота- сини унча катта бўлмаган ора- лиқда ўзгартиришга эришиш мумкин. Шу билан бирга, куч- ланишни камайтириш асинхрон двигателнинг ишга тушириш ва максимал моментларини камай-



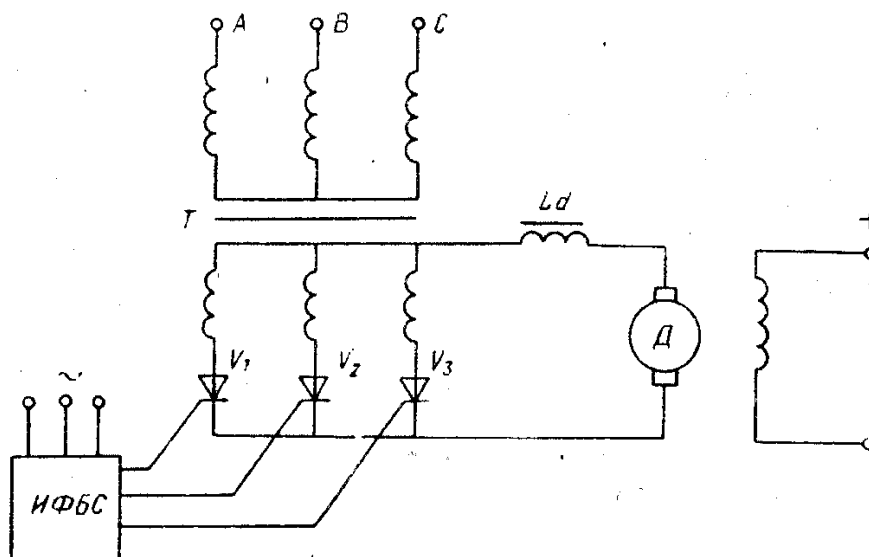
13.10- расм.

тиришга олиб келади. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини ростлаш оралиғини кенгайтириш учун ёпиқ ёки частотали бошқариш системаларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Двигателларнинг айланишлар частотасини тармоқ токининг частотасини ўзгартириб ростлаш алоҳида манба бўлишини тақозо қилади. У асинхрон двигателни таъминловчи кучланиш частотасини саноат токи частотаси ( $f_1 = 50$  Гц) дан ошириш ёки камайтиришни равон ўзгартириш имконини беради. Бу ростлаш усулининг кимчилиги анча мураккаб ва қимматбаҳо частота ўзгартиргичининг талаб қилинишидадир. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини частота ўзгартиргич ёрдамида ростлашнинг блок схемаси 13.10- расмда кўрсатилган. Частота ўзгартиргич бошқариладиган тўғрилагич БТ, у уч фазали ва  $f_1 = \text{const}$  бўлган тармоқ кучланишини ўзгармас ток кучланиши ( $U$ ) га айлантиради, тўғриланган кучланишнинг пульсланишини текисловчи дроссели  $L_d$  филтър, ўзгармас ток кучланишини ўзгарувчан частота  $f_2$  ли уч фазали ўзгарувчан ток кучланишига айлантирувчи (асинхрон двигателни таъминлаш учун) инвертор И ва ИФБС лардан иборат. Электрон-импульсли фаза бошқариш системалари ИФБС тўғрилагич ва инвертор тиристорларини бошқаришни амалга оширади ва қурилманинг керакли ишлаш режимини таъминлайди.

**Тиристорли ўзгармас ток электр юритмаси.** Ўзгармас ток двигателининг айланишлар частотасини ростлаш керак бўлганда ва ҳаддан ташқари катта қувватли двигателларни ишга туширишда тиристорли ўзгартиргичлар кенг ишлатилмоқда. Улар ёрдамида ўзгармас ток двигателлари уч фазали ўзгарувчан ток тармоғига уланиши мумкин.

Тиристорли ўзгартиргич — двигател (ТЎ — Д) системасининг содда схемаларидан бири 13.11- расмда кўрсатилган. Тиристорли ўзгартиргич ИФБС билан биргаликда уч фазали ўзгарувчан тармоқ кучланишини ўзгарадиган кучланишли ўзгармас токка айлантиради. ИФБС нинг қисқа муддатли бошқариш



13.11- расм.

рувчи импульслари тиристор  $V_1$ ,  $V_2$ , ва  $V_3$  ларни фаза кучланишларининг мусбат ярим даврларида, фазаларнинг алмашилиш тартибига мос ҳолда очади. Фаза кучланишларининг манфий ярим даврларида табиий коммутация туфайли тегишли фазаларнинг тиристорлари ёпилади. Агар бошқарувчи импульслар тиристорлар  $V_1$ ,  $V_2$  ва  $V_3$  га тегишли табиий очилиш нуқталарида берилса, энг катта тўғриланган ўртача кучланиш  $U_{d0}$  олинади. Бошқарувчи импульсларни табиий очилиш нуқтасига нисбатан  $\alpha$  бурчакка кечиктириб берилса, тиристорлар кечроқ очилади. Тўғриланган ўртача кучланиш  $U_d$  эса энг катта тўғриланган ўртача кучланиш  $U_{d0}$  дан кичик бўлади. Тиристорли ўзгартиргичларнинг тўғриланган ўртача кучланиши:

$$U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

бу ерда  $\alpha$  — ростлаш бурчаги.

$U_d$  кучланиш двигателнинг якоридаги кучланишга тенг бўлади. Шунинг учун ТЎ — Д система учун электромеханик характеристика тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$\omega = U_{d0} (1 + \cos \alpha) / (2k\Phi) - R / (k\Phi),$$

бу ерда  $R$  — якорь занжирининг умумий қаршилиги (у якорь чулғамининг ва ўзгартиргичнинг қаршиликларидан иборат).

Юқоридаги формуладан кўринадики, ростлаш бурчаги  $\alpha$  ни ўзгартириш якорга келаётган кучланишни ўзгартириш имконини беради. Натижада двигателнинг бурчак тезлигини кенг ораликда ўзгартиради.  $\alpha$  нинг турли қийматлари учун ТЎ — Д системанинг механик харақт. в. х. к. л. а. р. и. с. т. и. к. а. л. а. р. и. Г — Д система харақт. в. х. к. л. а. р. и. г. а. ўхшаш ва ўзаро параллел ҳолда бўлади.

## 14- БОБ. САНОАТ КОРХОНАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ

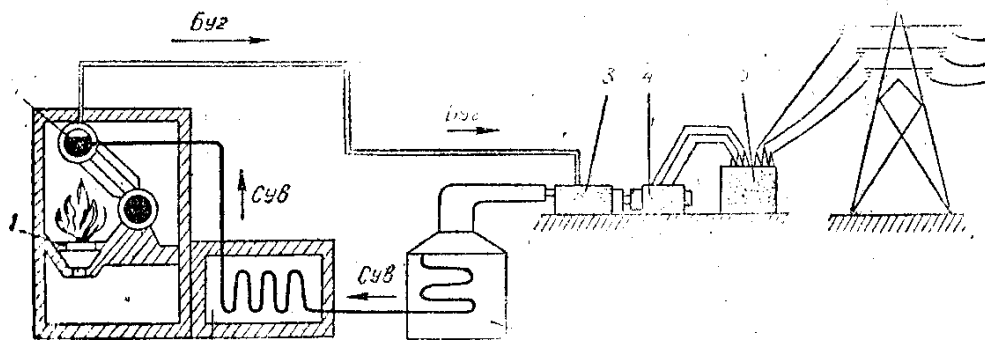
### 14.1. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Электр энергия электр станцияларида бошқа турдаги энергияни электр энергиясига айлантириш орқали ишлаб чиқарилади. Электр энергиядан саноатда, транспортда, алоқада, қишлоқ хўжалигида ва кундалик турмушда кенг фойдаланилади. Электр станциялари ўзгартириладиган энергия турига қараб иссиқлик, гидравлик, атом, шамол ва қуёш электр станцияларига бўлинади.

Иссиқлик электр станцияси (ИЭС) органик ёқилғининг ёнишида ажралиб чиқадиган иссиқлик энергиясини электр энергияга айлантириб беради. Иссиқлик электр станцияларидаги генераторлар буғ ва газ турбиналар, ички ёнув двигателлари ёрдамида айлантирилади. Буғ турбинали иссиқлик электр станциялари конденсацион ва иссиқлик таъминотли турларда бўлади.

Конденсацион электр станциясида (14.1-расм) ёқилғининг ўчоқ 1 да ёнишдан ажралиб чиққан иссиқлик энергияси қозонда буғ энергиясига айланади. Юқори температурага қиздирилган буғ босим остида турбина 3 нинг паракларига берилади. Бу ерда буғ энергиясининг турбинани айлантирувчи механик энергияга айланиши содир бўлади. Турбина 3 синхрон генератор 4 ни айлантиради ва унда механик энергия электр энергияга айланади. Турбинада ишлатилган буғ конденсатор 6 га йўналтирилади. У ерда буғ совитилиб, қозон 2 ни таъминлаш учун суюқ конденсатга айлантирилади.

Демак, конденсацион электр станцияларида электр энергия ишлаб чиқариш уч босқичдан, яъни ёқилғининг иссиқлик энергиясини қозондаги буғ энергиясига айлантириш, буғ энергиясини турбинада механик энергияга айлантириш ва механик энергияни генераторда электр энергиясига айлантиришдан иборат. Буғнинг энергияси қанча юқори бўлса, қурилманиннг фойдали иш коэффициенти шунча юқори бўлади.



14.1-расм.

Конденсацион электр станциясидаги энергия исрофларининг каттагина қисми асосий буғ — сув контурида, хусусан конденсатор 6 да юзага келади. У ерда анча катта иссиқлик энергиясига эга бўлган ишлатилган буғнинг энергияси сувга ўтади. Мазкур энергия айланма сув билан сув ҳавзасига ўтади, яъни исроф бўлади. Бу исрофлар электр станциянинг ФИК ини белгилайдиган асосий омилдир. Ҳатто энг замонавий конденсацион электр станцияларида ҳам ФИК кўпи билан 40 — 42% ни ташкил қилади. Замонавий буғ турбиналарининг қуввати 1300 МВт га етади. Бундай катта қувватли буғ турбиналари туфайли иссиқлик электр станцияларининг тежамлиги қисман ошади. Буғ қозон ўчоғидан чиқиб кетаётган тундан фойдаланиб, қурилма 7 ёрдамида сувни иситиш туфайли иссиқлик станциясининг ФИК ини қисман ошириш мумкин (14.1-расм).

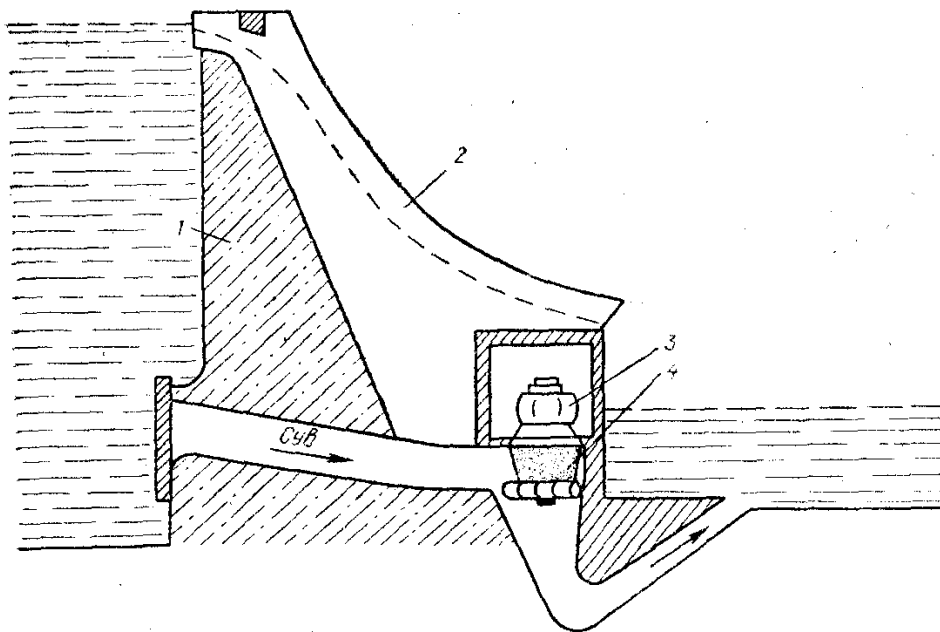
Йирик конденсацион станциялар ёқилғи (кўмир, торф) конлари яқинига қурилади. Чунки ёқилғини узоқ масофаларга транспортда ташишга қараганда электр энергияни узоқ масофага узатиш анча арзон. Электр станцияси ишлаб чиқараётган электр энергия яқин жойлашган энергосистемага 110 — 330 кВ, узоқдагисига эса 500 — 750 кВ кучланишда узатилади. Кучланишни оширишда трансформатор 5 ишлатилади.

Иссиқлик таъминотли электр марказлари (ИЭМ) бир вақтда ҳам иссиқлик, ҳам электр энергиясини ишлаб чиқаришга имкон беради. Шунинг учун иссиқлик таъминотли электр марказлари мамлакатимиз энергетикасида асосий ўринни эгаллайди. Бундай электр марказлари катта шаҳарлар атрофига қурилади. Улар шаҳардаги саноат корхоналари ва коммунал хўжаликларни электр энергиядан ташқари, иссиқ сув ва буғ билан ҳам таъминлаш имконини беради.

Турбинада ишлатилган буғ иссиқлигидан иккинчи марта фойдаланиш туфайли конденсацион станцияларга қараганда иссиқлик таъминотли электр марказлари тежамлироқ бўлиб, уларнинг ФИК 50 — 65% га етади.

Гидравлик электр станциялар (ГЭС) сув оқимининг энергиясини электр энергияга айлантиради. Бу станцияларда гидротурбиналар 4 ишлатилиб, улар сув оқими энергиясини гидроренератор 3 ўқини ҳаракатга келтирувчи механик энергияга айлантиради. Гидроренераторда эса механик энергия электр энергияга айланади.

ГЭС нинг асосий элементларидан бири сув оқимининг керакли босимини ҳосил қилувчи тўғон ҳисобланади (14.2-расм). Тўғондан олдинги ва кейинги сув сатҳларининг фарқи қанча катта бўлса, электр станциянинг қуввати шунча юқори бўлади ва ГЭС шунчалик бир маромда ва самарали ишлайди. Одатда сув заҳираси баҳорда йиғиб олинади ва ундан йил давомида сув сарфини керакли миқдорда ростлаш учун фойдаланилади. Сув оқимини ростлаш сугка давомида ҳам олиб борилиши мумкин. Одатда, тунги вақтларда кўп электр энергия талаб

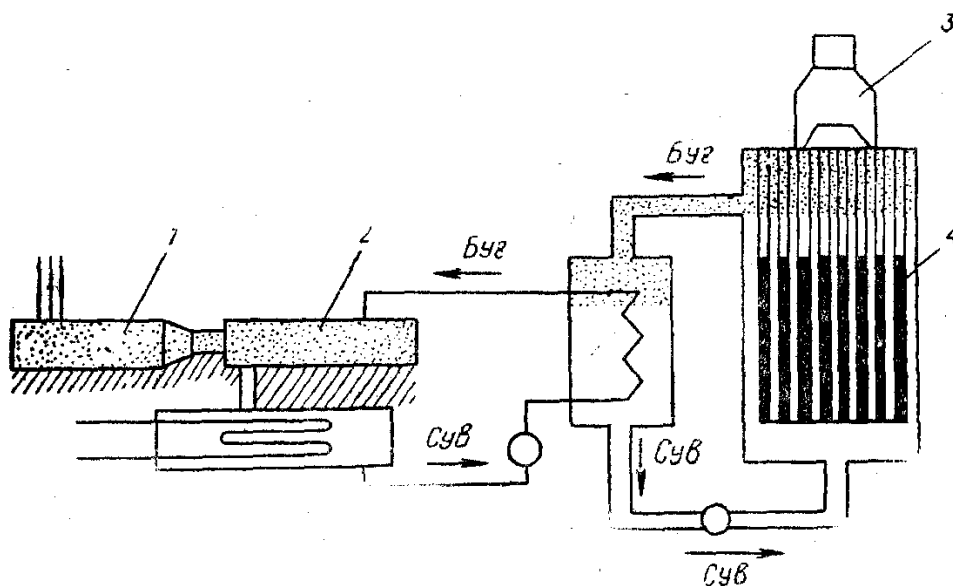


14.2- расм.

қилинмайди. Шунинг учун бундай вақтларда баъзи гидротурбиналар тўхтатилиб, сув эса захирага қолдирилади.

Гидравлик электр станциялари ёрдамида сутканинг турли вақт оралиқларидаги энергия истеъмолини ҳам меъёрида таъминлаш анча қулай. ГЭС нинг фойдали иш коэффициентлари 85 — 92% ни ташкил қилади. Ундаги битта агрегатнинг қуввати 600 МВт га етади. Йирик ГЭС ларнинг қуввати эса бир неча миллион киловаттларга етади.

ГЭС лар қаторига гидроаккумуляцияловчи электр станциялар (ГАЭС) ҳам киради. Энергосистема нагрукаси энг кам бўлган соатларда ГАЭС генераторлари двигатель режими-



14.3 расм.

мига, турбиналар эса насос режимига ўтказилади ва улар сувни қувурлар орқали пастки ҳовуздан юқориги ҳовузга ҳайдайди.

**Атом электр станцияси (АЭС)** атом энергиясини электр энергияга айлантириб, ўз моҳияти билан иссиқлик станцияси ҳисобланади (14.3-расм). Ядро реактори 4 дан ажралиб чиқадиган иссиқлик энергияси АЭС да буғ олиш учун фойдаланилади, буғ эса турбогенератор 1 ни айлантиради. Бундай электр станцияларнинг қуввати бир неча минг мегаваттларга етади. АЭС ларни энергия манбаларидан узоқдаги йирик саноат марказлари атрофига қуриш мақсадга мувофиқдир.

Шамол электр станциялар ва қуёш энергиясини ўзгартирувчи қурилмалар мамлакат энергобалансида кичик улушни ташкил этади. Шунингдек, сув кўтарилиш ГЭС лари ҳам бўлиб, улар денгизлардаги сув сатҳининг кўтарилиш ва пасайиш вақтидаги босим таъсирида ишлайди.

## 14.2. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ

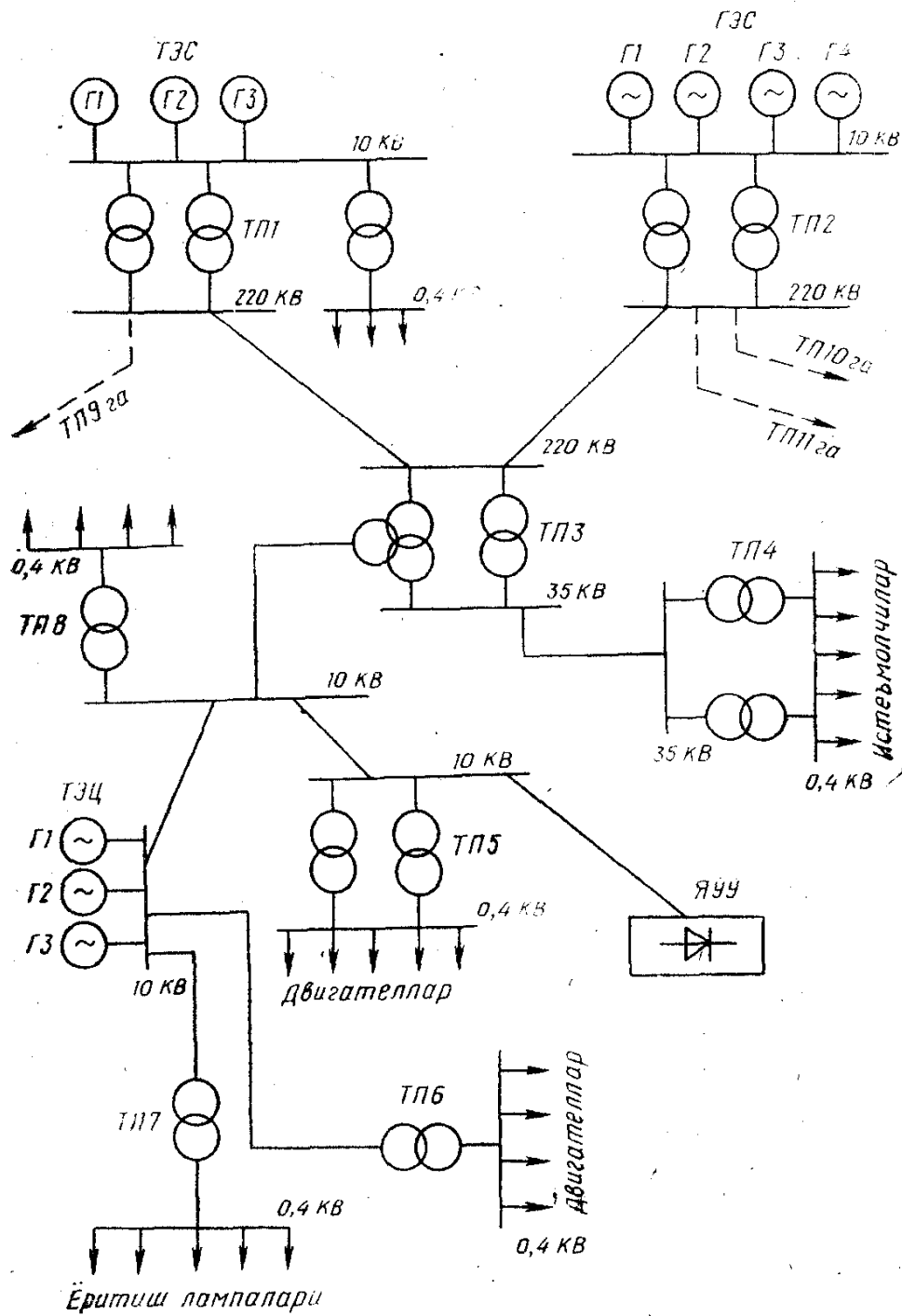
Электр энергиясини узатиш ва тақсимлашда электр тармоқлари катта аҳамиятга эга. Амалда ишлаб чиқарилаётган электр энергия истеъмолчиларга электр тармоқлари орқали узатилади. Электр тармоғининг асосий вазифаси истеъмолчиларни электр билан таъминлаш, яъни электр энергияни ишлаб чиқарилган жойдан уни қабул қилувчи жойга узатишдан иборатдир. Электр энергияни узатиш ва тақсимлашнинг ривожланган шакли электр энергетика системаси (энергосистема) ни ташкил қилади.

Энергосистема — бу электр узатиш линиялари (ЭУЛ) билан боғланган электр станциялар ва электр энергия қабул қилувчи истеъмолчиларнинг йиғиндисидир. Ягона электр энергетика системаси (ЯЭС) юқори кучланишли ЭУЛ лар билан бирлашган бир қанча электр станциялар йиғиндиси бўлиб, битта ёки бир нечта давлатлар чегарасидаги катта территорияни электр энергия билан таъминлайди.

Энергосистема халқ хўжалиги аҳамиятига эга бўлиб, истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлаш узлуксизлигини, турли хилдаги электр станциялар (ИЭС, ГЭС, АЭС) нинг ўзаро тежамли ишлашини оширади, электр станциялардаги зарурий резерв қувватни камайтиради.

Энергосистеманинг бир қисми 14.4-расмда кўрсатилган бўлиб, унга иссиқлик, гидравлик, атом электр станциялари, насайтирувчи район трансформатор подстанцияси (ТП), ярим ўтказгичли ўзгартиргич (ЯЎЎ) ва баъзи турлаги истеъмолчилар бирлаштирилган. Улар ўзаро бир нечта электр узатиш линиялари билан узгич ва ажратгичлар ёрдамида уланади.

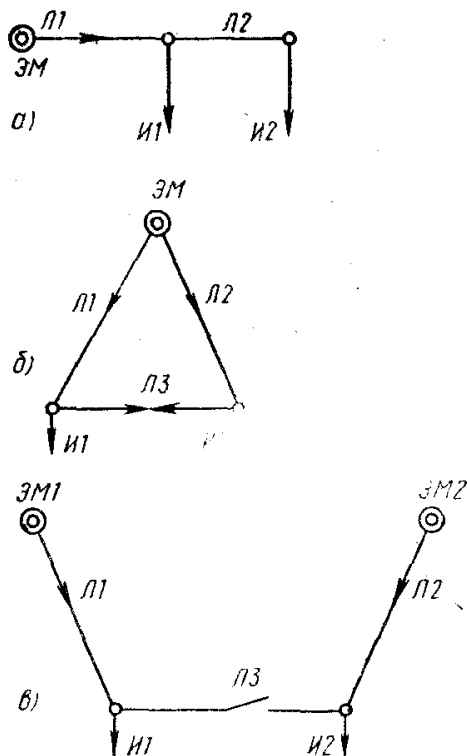
Электр тармоқлари турли номинал кучланишли ўзгарувчан ва ўзгармас ток таъсирида бўлади. Электр таъминоти учун, одатда, уч фазали ўзгарувчан ток тармоқларидан фойдаланиш



14.4. расм.

лади. Ўзгармас ток транспорт хизматлари тармоқларида, кимё заводларида, жуда юқори кучли (800 — 1500 кВ) электр узатиш линияларида ҳамда ўзгармас ток манбаига эга бўлган цехларнинг ички тармоқларида ишлатилади. Ҳар бир тармоқ ёки электр узатиш линияси ўзининг номинал кучли билан характерланади. Генераторлар, трансформаторлар, тармоқлар ва электр энергия истеъмолчилари 1000 В гача (паст) ва 1000 В дан ортиқ (юқори) бўлган номинал кучлига мўл-





14.5- расм.

маган (14.5-расм, а), туташган (14.5-расм, б) ва иккита таъминловчи манбалар орқали туташган (14.5-расм, в) хилларга бўлинади.

Электр тармоқлари ҳаво ва кабель линиялари, шина ўтказгич ва бошқа электр ўтказгичларидан иборат бўлиши мумкин.

*Ҳаво линияси (ҲЛ)* электр энергияни очиқ ҳавода жойлашган ва изоляторлар ҳамда арматуралар ёрдамида таянчларга маҳкамланган ўтказгичлар бўйича узатишни таъминлайди. ҲЛ учун, асосан, кесими 4, 6, 10 мм<sup>2</sup> (битта сим) ли ва 10 мм<sup>2</sup> дан катта (кўп симли) мис, алюминий ва пўлат-алюминий симлардан фойдаланилади. 1000 В дан юқори кучлишли ҲЛ учун кесими 35 мм<sup>2</sup> дан кичик бўлмаган алюминий ва 25 мм<sup>2</sup> дан кам бўлмаган пўлат-алюминий симлар ишлатилиши мумкин. ҲЛ учун чинни ёки шишадан ясалган штирли ёки осма изоляторлардан фойдаланилади. Штирли шиша изоляторлар 6 — 10 кВ ли тармоқларда, чинни изоляторлар эса кучлишли 35 кВ гача бўлган тармоқларда энергия узатилишини таъминлайди. Кучлишли 35 кВ дан юқори бўлган тармоқларда осма изоляторлар ишлатилади.

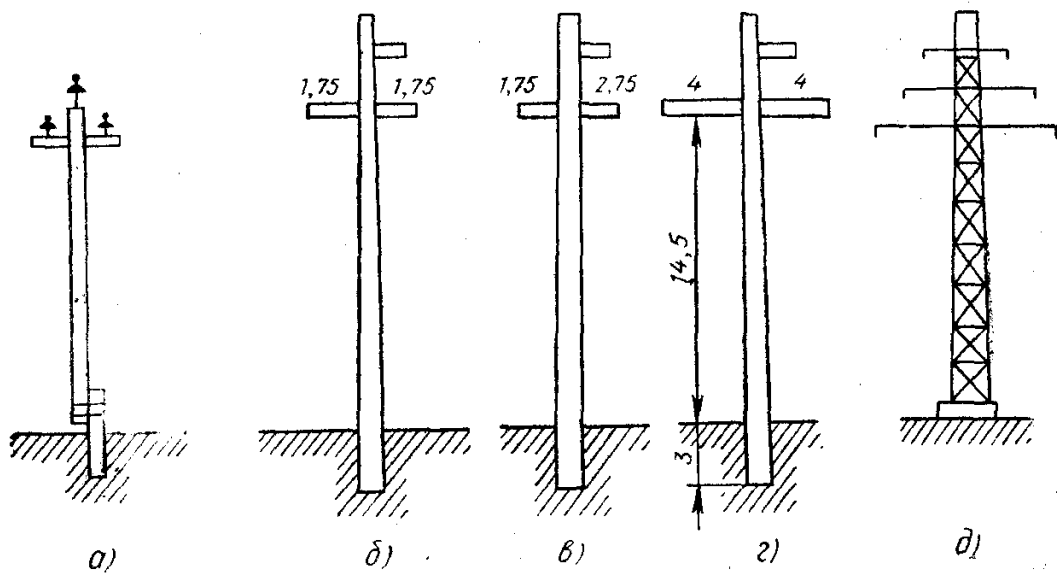
Ҳаво линияларининг таянчлари ёғочдан, металлдан ва темир-бегондан тайёрланган бўлади. Бир устунли ёғоч (10 кВ кучлишигача ишлатилади) ва темир-бегон (35 — 220 кВ) та-

жалланади. Ўзгарувчан ток тармоқларида қуйидаги кучлишликлар: паст кучлишли тармоқлар учун 127, 220, 380 ва 660 В ва юқори кучлишли тармоқлар учун 3,6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750 кВ дан фойдаланилади.

Энергия истеъмолчиларининг нормал ишлаши учун тармоқдаги кучлишликнинг номинал қиймати истеъмолчи кучлишликнинг номинал қийматидан  $\pm 5\%$  дан ортиқ фарқ қилмаслиги керак.

Ўзгармас ток тармоқлари учун қуйидаги кучлишликлар белгиланган: 110, 220, 440, 600, 825 В. Электр хавфсизлиги мақсадларида кучлишлик 100 В дан паст бўлганда қуйидаги кучлишликлардан фойдаланилади: ўзгарувчан ток қурилмалари учун 12, 24, 36 ва 60 В; ўзгармас ток қурилмалари учун эса 6, 12, 24, 36, 48 ва 60 В.

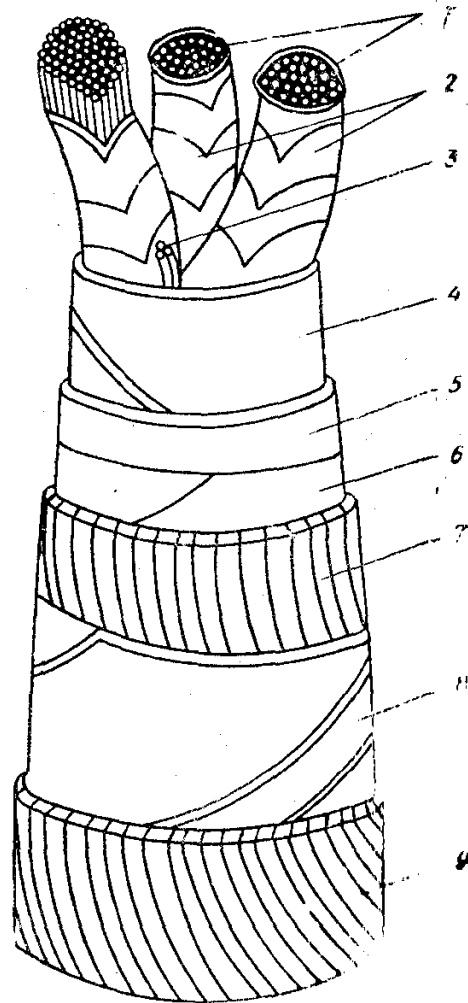
Туташтириш схемаларининг тури бўйича тармоқлар: туташ-



14.6- расм.

янчлар 14.6-расм, а — г ларда кўрсатилган. Юқори (330, 500, 750 кВ) кучланишли электр энергияси металл таянчлардаги тармоқлар орқали узатилади (14.6-расм, д).

*Кабелли линиялар* энергия таъминотининг электр тармоқларида кенг фойдаланилади. Кабель (уч томирли) ток ўтказувчи томирлар, изоляция ва ҳимоя қобиғидан иборат (14.7-расм). Томирлар сонига кўра куч кабеллари бир, икки, уч ва тўрт томирли қилиб тайёрланади. Томирлар 1 мис ёки алюминий симдан, изоляция 2 эса резинадан (1000 В гача кучланишли кабеллар учун) ва шимдирилган кўп қаватли қоғоздан ҳамда турли хил пластинкалардан (1000 В дан юқори кучланишли кабеллар учун) ясалади. Ҳимоя қобиғи 5 намлик, газлар ва кислоталарнинг ўтишига қаршилик қилади. У поливинилхлорид, алюминий ни қўرғошиндан ясалади. Кабелни механик таъсирлардан ҳимоя қилиш учун тасма 8 ишлатила-



14.7- расм.

ди, унинг устидан эса кабель ипи 9 ўралади.

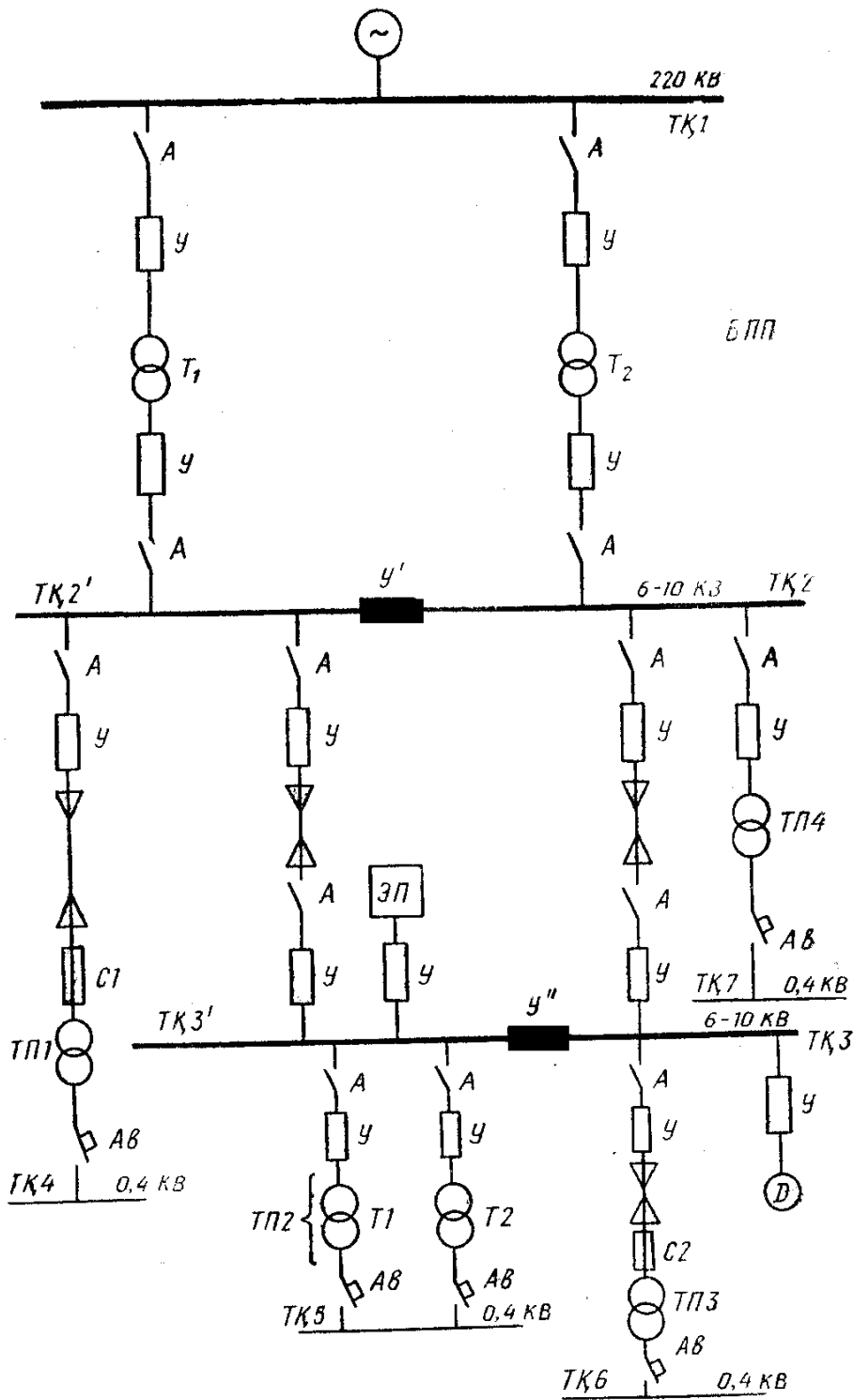
Кабеллар зовурлар, каналлар, тунеллар, блоклар, иморатлар ва иншоотларнинг деворлари бўйича ва поли остидаги ариқчаларга ётқизилади. Кабелни зовурларга ётқизиш энг содда ва арзон усулдир.

Умумий фойдаланиладиган паст кучланишли электр тармоқлари уч фазали, уч ёки тўрт симли бўлади. Уч симли тармоқдан цехдаги истеъмолчилар (уч фазали асинхрон двигателлар, қиздириш печлари ва б.) таъминланса, тўрт симли тармоқдан ёритиш лампалари таъминланади. Кичик қувватли цехлар ва маиший хизматларда фақат тўрт симли электр тармоқлари ишлатилади.

Саноат корхоналаридаги цех ички тармоқларида очиқ ва ёпиқ электр симларидан кенг фойдаланилади. Очиқ электр симлари деворлар, шиплар сирти, фермалар ва бошқа қурилиш элементлари бўйича ўтказилади. Бунда симлар ва кабеллар тросларга, изоляторларга маҳкамланади ёки трубалар, қутичалар, эгилувчан металл шланглар ичига жойлаштирилади. Ёпиқ электр симлари иморатларнинг конструктив элементлари (деворлари, поллари, тўсинлари) ичидан ўтказилади. Бунда сим ва кабеллар трубага, эгилувчан металл шлангга, қутичага, сувоқ тагига, бевосита қурилиш конструкциясига жойлаштирилади.

#### 14.3. САНОАТ КОРХОНАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ

Саноат корхоналари электр энергияни, одатда, энергосистемадан ёки ўзидаги электр станцияларидан олади. Бунда корхонанинг электр станциялари ҳам энергосистема билан бириктирилган бўлади. Йирик саноат корхонасининг энергосистемадан электр энергия билан таъминланиш схемаларидан бири 14.8-расмда кўрсатилган. Юқори кучланиш (220 кВ) ли энергия энергосистемадан ҳаво линияси ёки кабель орқали юқори кучланиш (220 кВ) ли тақсимлаш қурилмаси (ТҚ) га келади. Электр энергия тақсимлаш қурилмасидан ажратгич  $A$  ва узгич  $У$  лар орқали трансформатор  $T_1$  ва  $T_2$  ҳамда ажраткич ва узгичлар орқали юқори кучланиш (6—10 кВ) ли тақсимлаш қурилмаси ТҚ2 га келади. Трансформаторлар  $T_1$  ва  $T_2$  220 кВ ни 6—10 кВ гача пасайтиради. ТҚ2 дан 6—10 кВ ли юқори кучланишли энергия пасайтирувчи подстанциялар ТП1, ТП4 ва ТҚ3 орқали ТП2, ТП3 ларга ҳамда юқори кучланишли двигатель  $D$  ва электр печлари ЭП га келади. Уларга таъминловчи линиялар ажратгичлар ва узгичлар орқали уланади. Пасайтирувчи трансформаторли подстанциялар (ТП1—ТП4) 6—10 кВ кучланишни 0,4 кВ кучланишга айлантиради ва тақсимловчи қурилмалар (ТҚ4—ТҚ7) га автоматлар (АВ) орқали уланади. Сақлагичлар (С1 ва С2) ТП1 ва ТП3 ларни қисқа туташув токидан ҳимоя қилади.



14.8- расм.

Трансформаторли подстанцияларда қуйидаги коммутацияловчи аппаратлар ишлатилади,

Юқори кучли узгич занжирни иш токига улаш ва узиш учун ҳамда уни қисқа туташув токига ва ўта юклинишда узиш учун хизмат қилади. Ёй сўндирувчи қурилма, контакт системаси, ток ўтказувчи қисмлар, корпус, изоля-

цияловчи конструкция ва ҳаракатга келтирувчи механизм узгичнинг асосий элементлари ҳисобланади. Конструкцияси ва ёй сўндириш усулига кўра узгичлар катга ҳажмдаги мойли, кичик ҳажмдаги мойли, ҳаволи, электромагнитли, элегазли, автогазли, вакуумли хилларга бўлинади. Катга ҳажмдаги мойли узгичлардаги мой ёйни сўндириш ва ток ўтказувчи қисмларни изоляциялаш учун хизмат қилади. Кам мойли узгичлардаги мой, асосан, ёйни сўндириш учун ишлатилиб, ажратилган контактлар орасида қисман изоляцияловчи муҳит бўлиб ҳам хизмат қилади. Ҳаволи узгичларда ёй сиқилган ҳаво билан сўндирилади, бунда ток ўтказувчи қисмлар чинни билан изоляцияланади. Электромагнитли узгичларда ёй магнит майдони билан сўндирилади.

Ажраткич токсиз занжирларни кучланиш остида улаш ва узиш учун ҳамда юқори кучланишли занжирларда яққол кўринадиган узилиш ҳосил қилиш учун хизмат қилади. Ажраткичлар ёй сўндириш қурилмаларига эга эмас. Шунинг учун ажраткич ёрдамида токли занжирни узиш ва нагрузкали занжирни улаш мумкин эмас. Ажраткични узишдан олдин занжир узгич ёрдамида узилган бўлиши керак.

Сақлагич электр занжирда қисқа туташув ёки ўта юкланиш бўлганида уни автоматик равишда бир марта узиш учун хизмат қилувчи аппаратдир. Занжирнинг сақлагич орқали узилиши эрувчан қўйма (сим) нинг эриши туфайли амалга ошади. Мазкур эрувчан қўйма ўзи ҳимояланаётган занжирнинг қисқа туташув ёки ўта юкланиш токи ўтганда қизиб, эрийди. Занжир узилгандан сўнг сақлагичдаги эрувчан қўйма алмаштирилиши лозим

Автомат нормал иш режимларида занжирни манбага улаш ва узиш ҳамда нормал бўлмаган режимда ишлаётган электр занжирини автоматик узувчи паст кучланишли электромагнит аппаратдир. Автоматлар бир, икки ва уч қутбли бўлади. Автоматларнинг турли хиллари бўлиб, улар 160—5000 А токларга ва кучланиши ўзгарувчан токда 660 В гача, ўзгармас токда 440 В гача мўлжаллаб ишлаб чиқарилади.

Бош пасайтирувчи подстанция (БПП) саноат корхоналари яқинига қурилади. Унинг Т1 ва Т2 трансформаторлари 3200; 5600; 7500 ва 10000 кВА қувватга эга бўлиши мумкин. Улар 220 кВ кучланишни 6—10 кВ кучланишга тушириб беради. Умуман, БПП трансформаторларининг бирламчи чулғамлари 35, 110, 220, 330, 500 ва 750 кВ кучланишларга мўлжалланган бўлиши мумкин. Уларнинг иккиламчи чулғамлари эса 6—10 кВ, баъзан 35 кВ га мўлжалланади.

Пасайтирувчи трансформаторли подстанция (ТП1—ТП4) лар цехларнинг нагрузка энг кўп бўлган жойларига жойлаштирилади. Уларнинг қуввати 180, 320, 560, 750 ва 1000 кВА бўлиши мумкин. Бу қийматлар цехнинг қабул қилувчи қувватига қараб танланади. Катга қувватли ИП ларда, одатда, иккита трансформатор бўлади. Худди шундай, биринчи тоифала-

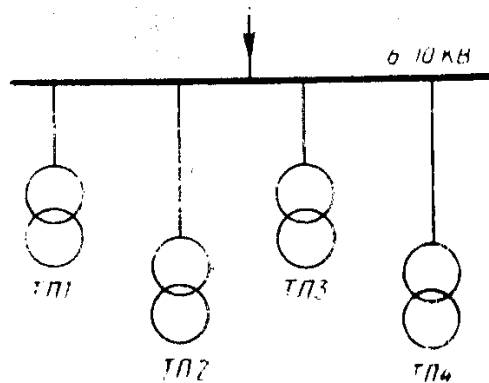
ги истеъмолчиларга ҳам иккита трансформатор ўрнатилади ва бошқа таъминловчи линия (масалан, ТП2) билан резервланади.

0,4 кВ кучланишли тақсимловчи қурилмалар (ТҚ4 — ТҚ7) га цехларнинг электр энергия истеъмолчилари уланади.

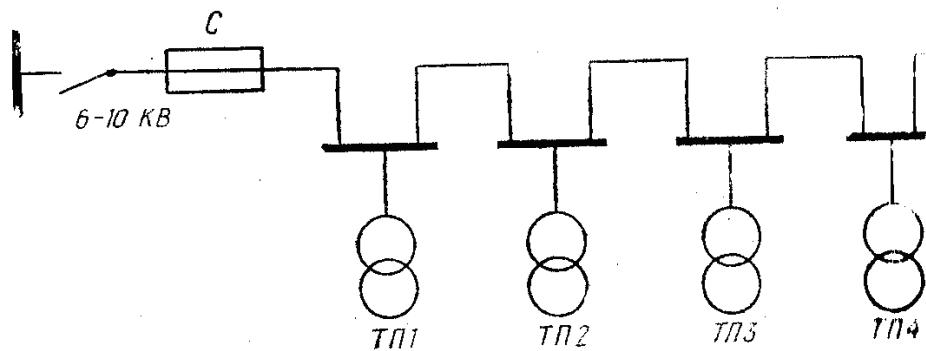
Саноат корхоналаридаги электр истеъмолчиларининг тоифиси, қабул қиладиган қуввати ва цехларнинг жойлашишига кўра бир нечта таъминлаш схемалари мавжуд. 14.9-расмда, мисол тариқасида цех ТП ларининг радиал таъминлаш схемаси келтирилган. Бу схемада ҳар бир ТП ўзининг мустақил таъминлаш линиясига эга. Радиал схема ишлатиш учун қулай ва содда ҳамда электр таъминотининг юқори ишончилигини таъминлайди. Унинг камчилиги нисбатан кўпроқ аппаратлар ва таъминлаш симларини талаб қилишидир. 14.10-расмда эса цех ТП ларининг магистрал таъминлаш схемаси кўрсатилган. Бунда битта таъминлаш линиясига бир нечта ТП лар уланади. Магистрал схема ишлатиш учун мураккаб ва ноқулай ҳамда ишончилиги пастроқ, лекин камроқ аппаратлар ва таъминлаш симларини талаб қилади. Кўпинча ҳар иккала схеманинг комбинацияларидан ҳам фойдаланилади. Аҳолиси зич жойлашган ерларда асосан магистрал схема қўлланилиб, битта линияга 15 гача ТП лар уланади ва улар ёритиш нагрузкаларини энергия билан таъминлайди.

Мамлакатимизда ишлаб чиқарилган электр энергиянинг 80% дан кўпрогини 1000 В гача кучланишдаги истеъмолчилар қабул қилади. Бундай истеъмолчиларга завод ва фабрикалардаги электр двигателлари, электролиз ванналари, электр печлари, электр кавшарлаш аппаратлари, конвейер, кўтарма-транспорт воситалари ва бошқа қурилмалар киради. Истеъмолчиларнинг каттагина қисмини ёритиш лимпалари ташкил қилади.

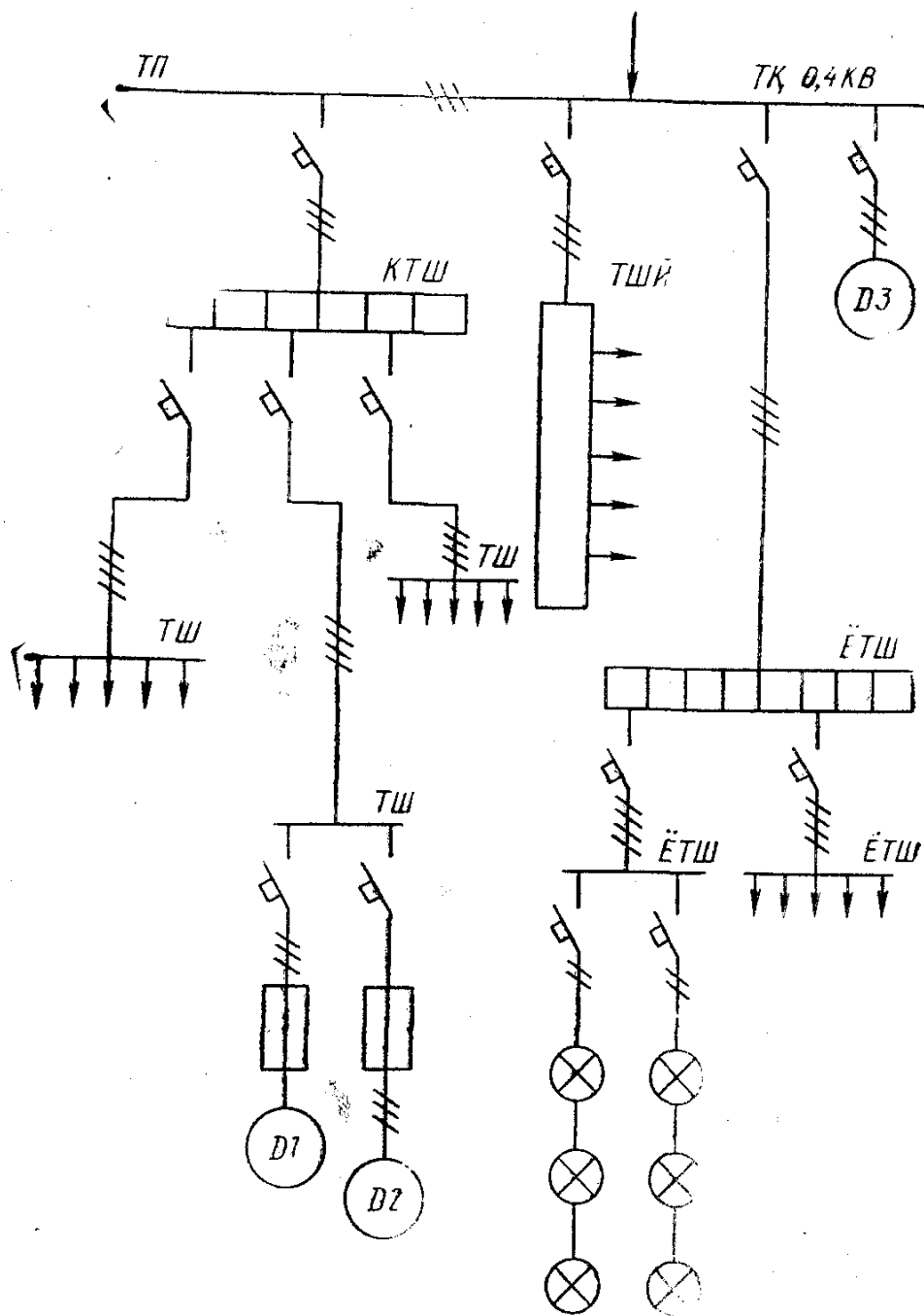
Одатда цехларнинг технологик ва ёритиш нагрузкалари битта ТП нинг паст кучланишли (380/220 В ли) тақсимлаш қу-



14.9- расм.



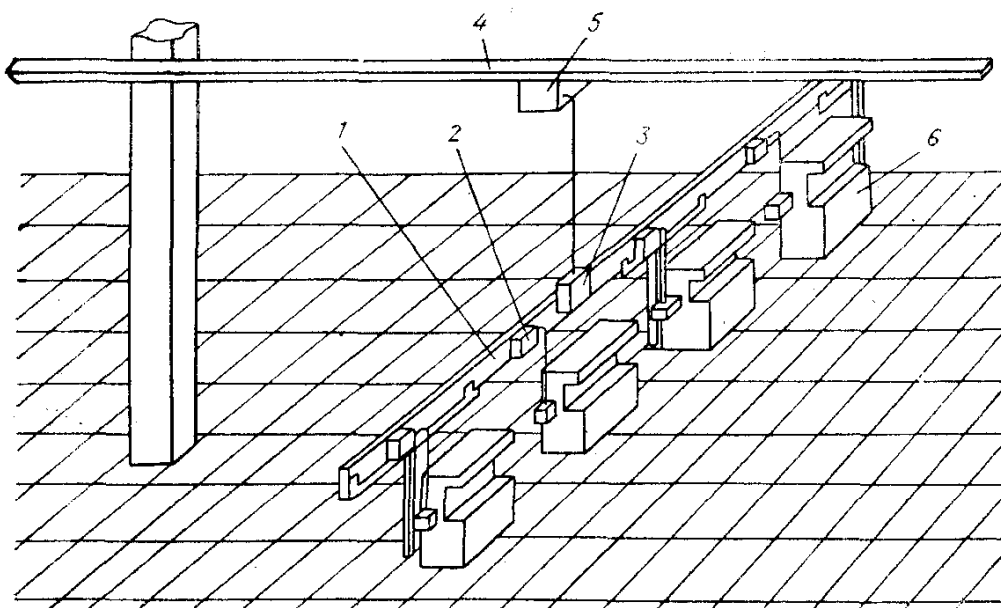
14.10- расм.



14.11- расм.

рилмасидан таъминланади (14.11-расм). Агар катта токли нагрузка (электр двигатель) тармоқ кучланишининг катта тебранишига (ўзгаришига) сабаб бўлса, бундай ҳолларда ёритиш нагрузки айрим ТП дан таъминланади.

ТП нинг паст кучланиш (0,4 кВ) ли тақсимлаш қурилмасининг шиналарига электр истеъмолчиларини бириктириш учун, электр тармоғи автоматлар орқали бош куч тақсимловчи шчит (КТШ) га, тақсимловчи йиғма шина (ТШЙ) га, бош ёритиш тақсимловчи шчит (ЁТШ) га ва катта қувватли истеъмолчилар (ДЗ) га уланади. Автоматлар ўрнида сақлагич ва



14.12- расм.

рубильниклар ҳам ишлатилади. Катта токли ва ёритиш (кичик токли) истеъмолчиларни таъминлаш учун бош шчитлар турли хилда бўлади. Катта токли шчитни таъминлаш учун, олатда, уч томирли кабель (учта сим) ишлатилади, чунки катта токли нагрузка текис бўлади. Ёритиш шчитини таъминлаш учун тўрт томирли кабель (учта линия ва битта нейтрал сим) ишлатилади, чунки ёритиш нагрузкаси нотекис бўлади.

Бош тақсимловчи шчитлар (КТШ ва ЁТШ) дан электр энергия катта токни тақсимловчи шкаф ТШ га ва ЁТШ га келади. Улардан электр энергия автоматлар ёки сақлагич, рубильник ва пакетниклар орқали электр двигателларга, ёритиш лампаларига ва бошқа электр истеъмолчиларига узатилади.

Тақсимлаш шкафлари электр энергия билан таъминланувчи электр асбоб-ускуналари ва жиҳозлари яқинидаги деворга ёки устунга маҳкамланади. Шкафдан истеъмолчиларга борадиган таъминлаш симлари полга ётқизилган пўлат найларга жойлаштирилган изоляцияланган сим ёки кабелдан иборат бўлади.

Ҳозирги вақтда машинасозлик заводларининг дастгоҳларини, бир хил турдаги катта қувватли иш механизмларининг двигателларини ва шу кабиларни электр энергия билан таъминлаш учун шинали ўтказгичлар ишлатилади (14.12- расм). Шинали ўтказгичларнинг шинаси пўлат, алюминий ёки унинг қотишмаси мисдан уч ёки тўрт симли қилиб ясалади. Бунда тўртинчи сим нейтрал сим вазифасини бажаради.

14.12- расмдаги магистрал 4 ва тақсимловчи шина 1 ўтказгичлар бўлиб, уларда 5 — 15 тадан тармоқлатувчи қутича 2 ва 5 лар бўлади. Магистрал шина ўтказгич цех узунлиги бўйича устунларга 2,5 м баландликда, тақсимловчи шина ўтказгич эса цех эни бўйича металл конструкцияларга 1,0 м баланд-



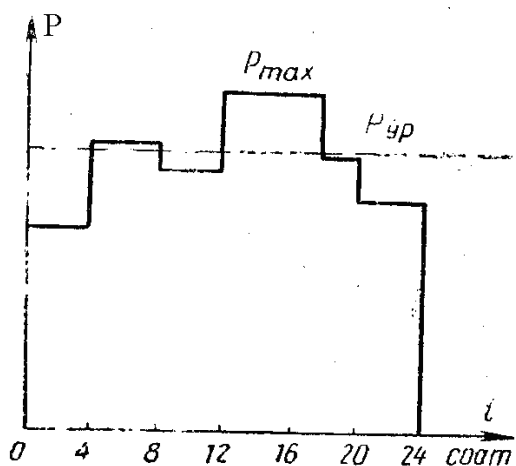
ликда маҳкамланади. Тармоқлатувчи қутича 5 га тақсимловчи шина ўтказгичнинг кириш қутичаси 3 уланади. Тармоқлатувчи қутича 2 га эса дастгоҳлар ва цехнинг бошқа иш механизмлари уланади.

#### 14.4. ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ СИСТЕМАСИНING ҲИСОБИИ ҚУВВАТИ

Истеъмолчиларни таъминловчи манба билан бириктувчи симларнинг кўндаланг кесимини, трансформаторларнинг ва бошқа электр асбоб-ускуналари ва жиҳозларининг қувватини тўғри танлаш учун таъминловчи манба электр таъминотининг ҳисобий қувватини, яъни жоиз максимал электр қувватини аниқлаш керак. Электр истеъмолчиларининг, тақсимлаш қурилмаларининг, ТП ва бошқаларнинг ҳисобий қуввати уларнинг нагрузка графиги ёки номинал қуввати асосида аниқланади. Ҳар бир истеъмолчининг электр нагрузкаси, бинобарин, улар ҳосил қилган энергосистемадаги жами нагрузка ҳам узлуксиз ўзгариб туради. Буни нагрузка графигида, яъни электр қурилмалар қуввати (токи) нинг вақт бўйича ўзгариш диаграммасида акс эттирилади.

Қайд қилинадиган параметрларнинг турига қараб графиклар электр қурилманинг актив, реактив ва тўла қуввати ҳамда токнинг графикларига бўлинади. Одатда, графиклар нагрузканинг маълум вақт оралиғидаги ўзгаришини кўрсатади. Улар шу жиҳати бўйича суткалик, ойлик, йиллик ва ҳоказо графикларга бўлинади.

Ишчи механизмларни лойиҳалаш вақтида уларнинг перспектив нагрузка графиги келиб чиқади ва ҳар қайси турдаги иш механизмларнинг маълум вақт оралиғида қабул қилаётган қувват ёки токларининг қийматларини қўшиб бориш орқали тақсимлаш шкафлари ва қурилмалари, трансформаторли подстанция ва электр станцияларининг нагрузка графиклари келиб чиқади. Мисол тариқасида 14.13-расмда ТП нинг паст



14.13- расм.

кучланиш шиналаридан ёки бош тақсимлаш қурилмасидан истеъмол қилинаётган актив қувватнинг суткалик графиги келтирилган. Графикдан истеъмолчиларнинг ҳисобий, яъни қабул қилинаётган максимал қуввати  $P_{max}$  ни, ўртача қувват  $P_{ур}$  ни, эквивалент қувватни ва улар қабул қилган электр энергиясини аниқлаш мумкин.

Актив қувват графигининг синик чизиқлари билан чегараланган юза қиймат жиҳатдан

қурилаётган даврда электр станцияда ҳосил бўлган ёки истеъмолчи қабул қилган энергиясига тенг:

$$W_g = \sum P_i t_i$$

бунда  $P_i$  — графикнинг  $i$ -поғонасидаги қувват;  $t_i$  — поғонанинг давомийлиги.

Қурилманинг кўрилаётган давр (сутка, ой, йил) даги ўртача қуввати:

$$P_{\text{ўр}} = \frac{W_g}{T}$$

бунда  $T$  — кўрилаётган даврнинг давомийлиги;  $W_g$  — кўрилаётган даврга тўғри келган электр энергия.

Ишлаётган электр станцияси, трансформаторли подстанция, тақсимловчи шиналар ва истеъмолчиларнинг ҳақиқий графиги уларнинг тегишли актив қуввати ёки токнинг вақт бўйича ўзгаришини қайд қилувчи асбоблар ёрдамида олиниши мумкин.

Ҳар бир истеъмолчининг ҳисобий қуввати унинг номинал (ёки белгиланган) қуввати  $P_{\text{ном}}$  бўйича аниқланади. Двигателнинг номинал қуввати унинг ўқида ҳосил қилинадиган механик қувват эканлигини ҳисобга олсак, у ҳолда двигателнинг тармоқдан қабул қиладиган электр қуввати, яъни ҳисобий қуввати қуйидагича аниқланади:

$$P_x = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{дв}}}$$

бу ерда  $\eta_{\text{дв}}$  — двигателнинг ФИК.

Ўзгарувчан ток двигателининг ҳисобий реактив ва тўла қувватлари қуйидагича аниқланади:

$$Q_x = P_x \operatorname{tg} \varphi; S_x = \sqrt{P_x^2 + Q_x^2} = P_x / \cos \varphi,$$

бу ерда  $\cos \varphi$  — двигателнинг номинал қувват коэффициенти.

Агар электр тармоғига бир неча истеъмолчилар уланган бўлса, электр тармоғининг ҳисобий (максимал) қуввати шу истеъмолчилар ҳисобий қувватларининг йиғиндисига тенг бўлади.

Ҳисобий қувватни аниқлаш учун, авваламбор, электр истеъмолчиларнинг белгиланган қуввати, яъни уларнинг номинал қувватлари йиғиндиси тўғрисидаги маълумотга эга бўлиш керак.

Актив нагрузка учун белгиланган қувват:

$$P_{\text{бел}} = \sum P_{\text{ном}}$$

Электр гармоғининг уланган қуввати

$$P_{\text{улан}} = \sum P_{\text{ном}} / \gamma_{\text{ўр. ист.}}$$

бунда  $\eta_{\text{ур. ист.}}$  — номинал нагрузкада истеъмолчилар (электр двигатели ва бошқа қурилмалар) нинг ўртача ФИК.

Истеъмолчиларнинг подстанция шиналарига уланган қуввати

$$P_{\text{улан}} = \frac{\sum P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ур. ист}} \cdot \eta_{\text{ур. тар}}},$$

бунда  $\eta_{\text{ур. тар}}$  — паст кучланишли тармоқнинг номинал нагрузкадаги ўртача ФИК.

Одатда, эксплуатация вақтида истеъмолчиларнинг ҳақиқий нагрузкаси белгиланган қувватлар йиғиндисидан кичик бўлади. Бу фарқ бир вақтlilik  $K_6$  ва юкланиш  $K_{\text{ю}}$  (бирдан кичик) коэффициентлари орқали ҳисобга олинади. Бу вақтда истеъмолчилар нагрузкаси ҳисобий қувватининг ифодаси қуйидагича бўлади:

$$P_x = \frac{K_6 K_{\text{ю}}}{\eta_{\text{ур. ист}} \cdot \eta_{\text{ур. тар}}} \sum P_{\text{ном}} = K_{\text{эхт}} \sum P, \quad (14.1)$$

бунда  $K_{\text{эхт}}$  — кўрилаётган истеъмолчилар тури учун эҳтиёж коэффициенти.

(14.1) формула орқали аниқланган ҳисобий (максимал) қувват йил давомида энг катта қиймат ҳисобланиб, одатда, қиш давридаги максимал нагрузкага тўғри келади.

Эҳтиёж коэффициенти бир турдаги истеъмолчиларни эксплуатация қилиш вақтида тажриба асосида аниқланади ва маълумотномада келтирилади. Саноат истеъмолчиларининг баъзилари учун эҳтиёж коэффициентининг ўртача қийматлари 8-жадвалда келтирилган.

8-жадвал

#### Эҳтиёж коэффициентлари

Истеъмолчи	Эҳтиёж коэффициентининг ўртача қиймати
Қора металлургия:	
домна цехи	0,6
мартен цехи	0,3
пўлатни узлуксиз қуйиш қурилмаси	0,7
прокат станлари	0,4 — 0,6
машинасозлик	0,2 — 0,6
химия саноати	0,7 — 0,9
тўқимачилик	0,7 — 0,85
Вентиляция ва кондиционер қурилмалари	0,9

Агар намўнавий графиклардан истеъмолчилар нагрузкасининг вақт бўйича ўзгариши аниқланса, ҳисобий — максимал қувват асосида истеъмолчиларнинг нагрузка графигини қуриш мумкин. Нагрузка графигидан эса истеъмолчиларнинг ўртача

ва эквивалент қувватларини ҳамда қабул қилган энергияни аниқлаш мумкин. Шу усулда корхонанинг бир турдаги истеъмолчиларига тегишли ҳисобий актив ва реактив қувватлар аниқланади. Сўнгра бу гуруҳларнинг актив ва реактив қувватлари алоҳида-алоҳида қўшиб, корхонанинг жами ҳисобий актив ва реактив қувватлари аниқланади. Корхонанинг тўла ҳисобий қуввати

$$S_{\text{кор}} = \sqrt{P_{\text{кор}}^2 + Q_{\text{кор}}^2}$$

бу ерда  $P_{\text{кор}}$ ,  $Q_{\text{кор}}$  — мос ҳолда корхонанинг ҳисобий актив ва реактив қувватлари.

Корхонанинг ўртача қувват коэффициенти

$$\cos \varphi_{\text{кор}} = P_{\text{кор}} / S_{\text{кор}}$$

Лойиҳалашда ёритиш нагрукасининг ҳисобий қуввати, одатда, солиштирма ёритиш қуввати бўйича аниқланади. Ёритиш асбоблари қувватининг  $1 \text{ м}^2$  юзага тўғри келган қиймати *солиштирма ёритиш қуввати* деб аталади. Солиштирма ёритиш қуввати ёритилганлик нормасига, ёруғлик манбаи (чўғла ниш лампаси ёки газ-разрядли лампа) турига, хонанинг ўлчамларига боғлиқ. Бу маълумотлар тегишли адабиётда келтирилади.

Корхона, цех ва айрим гуруҳдаги истеъмолчиларнинг ҳисобий қувватларини тўғри аниқлаш барча электр қурилмаларининг тежамкорлиги, электр таъминотининг ишончлилиги ва электр энергиясининг сифатига боғлиқ бўлади. Агар ҳисобий қувват оширилган бўлса, у ҳолда электр жиҳозларининг қуввати оширилган ҳолда танланади ва кўндаланг кесими каттароқ сим ва кабеллар ўрнатилади. Агар ҳисобий қувват камайтириб олинган бўлса, у ҳолда ҳамма электр жиҳозлар ўта юкланиш билан ишлайди, натижада улар тез емирилиши ёки бузилиши мумкин. Бу эса электр таъминотида узилиш бўлишига олиб келади.

#### 14.5. ЎТКАЗГИЧНИНГ КўНДАЛАНГ КЕСИМИНИ ТАНЛАШ

Симлар, кабеллар ва шиналарнинг кесимлари қуйидагича танланади:

- 1) қизиш шароитлари асосида узоқ муддатли энг катта жоиз нагрукка токи бўйича;
- 2) кучланиш исрофи бўйича;
- 3) тежамли ток зичлиги бўйича.

**Узоқ муддатли энг катта жоиз нагрукка токи бўйича симларнинг кўндаланг кесимини танлаш.** Электр токи симдан оқиб ўтганда уни маълум даражада қиздиради. Симнинг қизиш температураси ундан ажралиб чиққан электр энергияси ( $J^2rt$ ) миқдори ҳамда иссиқликнинг сим сиртидан атрофмуҳитга узатилиш шароитларига боғлиқ. Агар симдан ажра-

либ чиққан иссиқлик миқдори симдан атроф-муҳитга тарқалаётган иссиқлик миқдорига тенг бўлса, сим ҳарорати ўзгармас бўлади. Изоляцияли симлар учун жоиз температура чегараси изоляция хусусиятлари билан, изоляциясиз очик симларла эса, асосан, контактли туташмаларнинг ишончли ишлаши билан аниқланади. Агар изоляцияли сим ва кабеллар жоиз температурадан юқори температурада узоқ муддат ишлатилса, уларнинг изоляция ва механик хусусиятларини тезда йўқотади ҳамда туташтирилган симлардаги контактларнинг мустаҳкамлиги камаяди.

Симларнинг қизишидаги узоқ муддатли жоиз температура қиймати чегаравий қийматлар (резина изоляцияли симлар ва кабеллар учун  $85^{\circ}\text{C}$ , қоғоз изоляцияли кабеллар учун  $80^{\circ}\text{C}$ , очик симлар ва шиналар учун  $70^{\circ}\text{C}$ ) дан ошиши мумкин эмас. Симнинг кўндаланг кесими шундай танланиши керакки, бунда симнинг температураси жоиз температурадан юқори бўлмасин. Турли маркадаги очик ва изоляцияли симларнинг кўндаланг кесими ( $q_j$ ) учун энг катта жоиз тоқларнинг қийматлари маълумотномаларда жадвал шаклида берилади. Бу жадваллар хона ҳарорати ( $25^{\circ}\text{C}$ ) учун ва чуқурлиги  $0,7$  м бўлган зовурга бир қатор қилиб кабель ётқизилган ҳол учун тузилади. Агар атроф-муҳит ҳарорати жадвалда кўрсатилганлардан фарқ қилса, жоиз ток миқдорига тегишлича тузатиш киритилади.

Симнинг кўндаланг кесими  $q_j$  ни танлаш ҳисобий ток қиймати асосида олиб борилади. Сим шундай кесимда танланиши керакки, бунда симнинг жоиз токи ( $J_{ж}$ ) истеъмолчиларнинг ҳисобий токи  $I_x$  дан катта ёки унга тенг бўлсин:

$$I_{ж} \geq I_x. \quad (14.2)$$

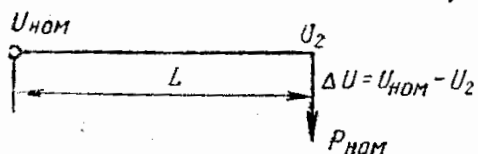
Агар истеъмолчи бир фазали икки симли тармоқнинг охирига уланган бўлса (14.14-расм), ҳисобий ток қуйидагича топилади:

$$I_x = \frac{P_{ном}}{U_{ном} \cos \varphi \eta_{ном}}, \quad (14.3)$$

бу ерда  $P_{ном}$ ;  $U_{ном}$ ;  $\cos \varphi$ ;  $\eta_{ном}$  — мос ҳолда истеъмолчининг номинал қуввати, кучланиши, қувват коэффициенти ва ФИК.

Агар истеъмолчи уч фазали уч симли тармоқнинг охирига уланган бўлса, ҳисобий ток қуйидагича аниқланади.

$$I_x = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi \eta_{ном}}. \quad (14.4)$$



14.14-расм.

Агар тақсимловчи шчитлан бир нечта истеъмолчилар таъминланса, у ҳолда таъминловчи линиянинг ҳисобий токи қуйидагича топилади:

$$I_x = \frac{K_{\text{экт}} \sum P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi}, \quad (14.5)$$

Бу ерда  $K_{\text{экт}}$  — кўрилаётган истеъмолчилар тури учун эҳтиёж коэффициенти.

Бир нечта истеъмолчилар уланган тақсимланган электр тармоғини ҳисоблашда жуда юқори аниқлик талаб этилмайди (14.15-расм). Масалан, кучланиш  $U_{\text{ном}}$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  ва  $U_3$  ларнинг векторлари битта фазада, деб фараз қилинади ва истеъмолчилар тоқлари ( $I'_1$ ,  $I'_2$ ,  $I'_3$ ) ни аниқлашда кучланишлар ўзгариши ҳисобга олинмай, истеъмолчиларнинг номинал кучланиши ва қувватларидан фойдаланилади:

$$I'_1 = \frac{P_{1 \text{ ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{1 \text{ ном}} \eta_{1 \text{ ном}}};$$

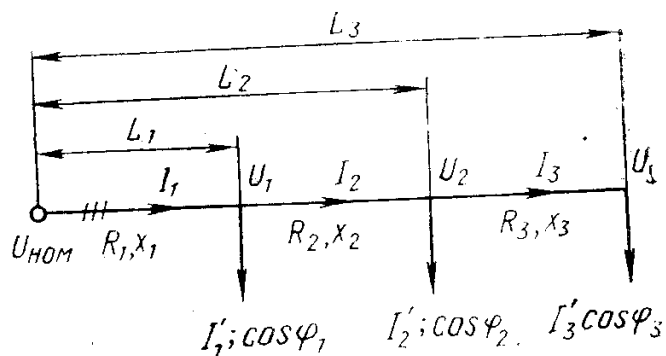
$$I'_2 = \frac{P_{2 \text{ ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{2 \text{ ном}} \eta_{2 \text{ ном}}}.$$

Ҳисобий ток истеъмолчиларнинг бир вақтлик, юкланиш ва эҳтиёж коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда аниқланади.

Симларнинг кўндаланг кесимини кучланиш исрофи бўйича танлаш. Цех тармоқларида кучланиш исрофи маълум миқдорда бўлиши керак, чунки кучланиш пасайганда ёритиш асбобларида ёруғлик оқими камаяди ва иш жойининг ёритилганлиги ёмонлашади. Двигателларга келаётган кучланиш пасайганда уларнинг максимал айлангириш моменти камаяди. Синхрон двигателларда максимал айлангириш моменти кучланишга чизиқли боғланган, асинхрон двигателларда эса кучланишнинг квадратига мутаносибдир.

Турли электр энергия истеъмолчилари кучланишининг жоиз ўзгариш чегараси қийматлари ГОСТ 13109 — 67 га мувофиқ белгиланади. Улар ёритиш асбоблари учун номинал кучланишнинг — 2,5% идан + 5% гача, двигателларда ва аппаратларда — 5 дан + 10% гача ва бошқа истеъмолчиларда эса ± 5% гача оралиқда бўлади.

14.14-расмда кўрсатилган занжир қисми учун кучланиш исрофи  $\Delta u = I_x (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$  га тенг бўлади. Бу ерда  $R$ ,  $X$  — линиянинг актив ва индуктив қаршиликлари. Кучланиш 1000 В дан кичик бўлганда  $X \approx 0$ , деб фараз қилиш мумкин. Бунда кучланиш исрофини



14.15-расм.

қўйидагича аниқлаш мумкин:

$$\Delta u = I_x R \cos \varphi. \quad (14.6)$$

Икки симли тармоқ учун актив қаршилик қўйидагича топилади:

$$R = 2L/(\gamma q), \quad (14.7)$$

бу ерда  $L$  — линиянинг узунлиги, м;  $q$  — симнинг кўндаланг кесими, мм<sup>2</sup>;  $\gamma$  — симнинг солиштирма ўтказувчанлиги, м/(Ом × мм<sup>2</sup>).

(14.6) формулага (14.3) ва (14.7) формулаларни қўйсак, қўйидагига эга бўламиз:

$$\Delta u = 2P_{\text{ном}} L / (\gamma q U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}}). \quad (14.8)$$

Агар жоиз кучланиш исрофини  $K$  билан белгиласак, кучланиш исрофи қўйидагига тенг бўлади:

$$\Delta u = K U_{\text{ном}} / 100\%. \quad (14.9)$$

Бунда кўрилаётган икки симли электр тармоғидаги кучланиш исрофи  $K\%$  дан ортиқ бўлмаслигини таъминлаш учун симларнинг кўндаланг кесими қўйидагига тенг бўлиши керак:

$$q_{\Delta u} = \frac{200 P_{\text{ном}} L}{K \gamma U_{\text{ном}}^2 \eta_{\text{ном}}}. \quad (14.10)$$

Симнинг шундай стандарт кесими  $q$  танланадики, у топилган иккита кесим  $q_1$  ва  $q_{\Delta u}$  нинг ҳар биридан катта ёки уларга тенг бўлсин. Шунингдек, танланган симнинг кўндаланг кесими алюминий симлар учун 2,5 мм<sup>2</sup> дан, мис симлар учун 0,5 ÷ 1 мм<sup>2</sup> дан катта бўлиши керак. Ана шундагина симларнинг механик мустаҳкамлиги таъминланади.

Агар истеъмолчилар уч фазали электр тармоғининг охирига уланган ва индуктивлик кичиклиги туфайли ҳисобга олинмаса, у ҳолда уч фазали тармоқдаги кучланиш исрофини қўйидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$\Delta u = \sqrt{3} I_x R \cos \varphi \quad (14.11)$$

бу ерда  $R$  — линиянинг актив қаршилиги, Ом;  $\cos \varphi$  — истеъмолчининг номинал қувват коэффициенти.

Уч фазали истеъмолчи уч симли электр тармоғининг охирига уланган ҳол учун ҳар бир симнинг кўндаланг кесими қўйидагича бўлиши керак:

$$q_{\Delta u} = \frac{100 P_{\text{ном}} L}{K \gamma U_{\text{л}}^2 \eta_{\text{ном}}}. \quad (14.12)$$

(14.10) формуладаги 200 рақами ўрнига (14.12) формулада 100 қўйилганлигига сабаб уч фазали тармоқда токнинг қайтиши учун бошқа фазаларнинг сими хизмат қилишидадир,

Агар истеъмолчилар бир фазали икки симли электр тармоғига тақсимлаб уланган бўлса (14.15-расм), симларнинг кўндаланг кесими қуйидагича аниқланади.

$$q_{\Delta u} \geq \frac{200 \sum_{i=1}^n P_{xi} L_i}{K\gamma U_{\phi}^2}, \quad (14.13)$$

бу ерда  $P_{xi}$  —  $i$ -номерли бир фазали истеъмолчининг ҳисобий қуввати, Вт;  $L_i$  —  $i$ -номерли истеъмолчи билан таъминловчи манба орасидаги масофа,  $U_{\phi}$  — манбанинг номинал фаза кучланиши, В.

Агар истеъмолчилар уч фазали электр тармоғига тақсимлаб уланган (14.15-расм) ва индуктив қаршилик ҳисобга олинмаган бўлса, у ҳолда уч фазали тармоқдаги кучланиш исрофини қуйидагича аниқлаш мумкин:

битта фазаси учун

$$\Delta u_{\phi} = I_3 R_3 \cos \varphi_3 + I_2 R_2 \cos \varphi_2 + I_1 R_1 \cos \varphi_1$$

ёки умумий ҳолда

$$\Delta u_{\phi} = \sum IR \cos \varphi.$$

Уч фазали системада фазалар орасидаги кучланиш исрофи:

$$\Delta u_{\Delta} = \sqrt{3} \Delta u_{\phi}.$$

Агар уч фазали истеъмолчилар уч симли электр тармоғига тақсимлаб уланган бўлса, симлар кесими қуйидагича бўлади:

$$q_{\Delta u} = \frac{100 \sum_{i=1}^n P_{xi} L_i}{K\gamma U_{\Delta}^2}, \quad (14.14)$$

бу ерда  $P_{xi}$  —  $i$ -номерли уч фазали истеъмолчининг ҳисобий қуввати, Вт;  $U_{\Delta}$  — линия кучланиши, В.

Симнинг шундай стандарт кесими ( $q$ ) ни танлаш керакки, у топилган кесим ( $q_{\Delta u}$ ) дан катта ёки унга тенг бўлсин.

#### 14.6. ЭЛЕКТР ХАВФСИЗЛИГИ АСОСЛАРИ

Электр энергиясидан барча соҳаларда кенг фойдаланилиши туфайли одамлар кундалик турмушда турли хил электр қурилмалари билан алоқада бўлади. Электр қурилмаларининг носозлиги ва уларни ишлатиш қоидаларининг бузилиши сабабли улардаги нисбатан кичик кучланиш ҳам одам соғлигига зарар келтириши, ҳатто ҳаётига хавф туғдириши мумкин. Одамнинг электр токи билан шикастланиш хавфини камайтириш учун электр қурилмаларини хавфсиз ишлатиш қоидаларини билиш керак.



Одамнинг электр токи билан шикастланиши электр жароҳати ва электр (ток) уришга фарқланади. Электр жароҳатига куйиш, электр ёй билан кўзнинг зарарланиши, электр токи билан шикастланиши оқибатида одамнинг хушини йўқотиши натижасида йиқилиши туфайли вужудга келган синиш, чиқиш ва шунга ўхшаш механик шикастланишлар киради.

Одам танасидан электр токи ўтганда уни қиздиради. Кучланиш катта ва одам танасининг электр қаршилиги қанча кичик бўлса унинг танасидан ўтувчи ток шунча катта бўлади. Бу эса одам танасини кучли қиздиради ва оқибатда ундаги ҳужайра тўқималари қуяди. Куйиш қанча чуқур ва катта бўлса, уни даволаш шунча узоқ давом этади ва, ҳатто, кўпинча даволаб ҳам бўлмаслиги мумкин.

Электр токи урганда одамнинг ички азолари шикастланади. Электр токи уриши унча катта бўлмаган 25—100 мА токларда содир бўлади. 10 мА гача бўлган ток инсон ҳаёти учун хавфсиз бўлиб, ёқимсиз сезги ҳосил қилади. Агар ток 10—25 мА дан ошса, қўл мускуллари тортишиб қолиши мумкин. Натижада одам ўзини ток ўтказувчи қисмдан мустақил ажратиб ололмайди. Бундай ток 15—20 секунддан кўп таъсир қилса, одамнинг нафас олиши қийинлашиб, буткул тўхташи мумкин. Агар ток 100 мА ва ундан кўп бўлса одамни дарҳол ўлдиради.

Одам танасидан ўтувчи ток миқдори тегиб кетиш кучланиши ва ток частотасига ҳамда одам танасининг электр қаршилигига боғлиқ. Одам танасининг электр қаршилиги унинг кайфиятига, вазнига, жисмоний чиниққанлигига, терисининг ҳолати ва ҳоказоларга боғлиқ. Одам териси қуруқ ва шикастланмаган бўлганда унинг электр қаршилиги 10—100 кОм атрофида бўлади. Бундай терининг қалинлиги 0,05—0,2 мм бўлади. Одамнинг электр қаршилиги зах, чангли муҳитда ва атроф-муҳит температураси юқори бўлганда (чунки бунда тана тер билан қопланади) энг кичик қийматга эришади. Одам танасидаги ҳужайра тўқималарининг электр қаршилиги 800—1000 Ом дан ошмайди. Шунинг учун хавфсиз кучланишнинг қандайдир миқдори тўғрисида гапириш жуда қийин. Электр қурилмаларни ишлатишдаги кўп йиллик тажриба шунни кўрсатдики, энг ёмон шароитли хоналар учун 12 В дан кичик ҳамда қуруқ, тоза хоналар учун 36 В дан кичик кучланишларни хавфсиз кучланишлар деб ҳисоблаш мумкин. Шунингдек, қуруқ хоналарда одам танасининг электр қаршилиги бир неча ўн минг Омга етади, шунинг учун бу ҳолда юз вольт атрофидаги кучланиш ҳам хавфсиз бўлиши мумкин. Одам танаси орқали ўтувчи токни олдиндан аниқлаш мумкин. Шу сабабли, амалда хавфсиз шарҳлар чегарасини белгилашда „хавфсиз ток“ га эмас, балки „жоиз кучланиш“ га мўлжал қилинади. Электр қурилмаларнинг қоидаларида атроф-муҳит шароитларига қараб қуйидаги жоиз кучланишлар белгиланган: 65 В; 36 В; 12 В. 36 ва 12 В ли электр қурилмалар

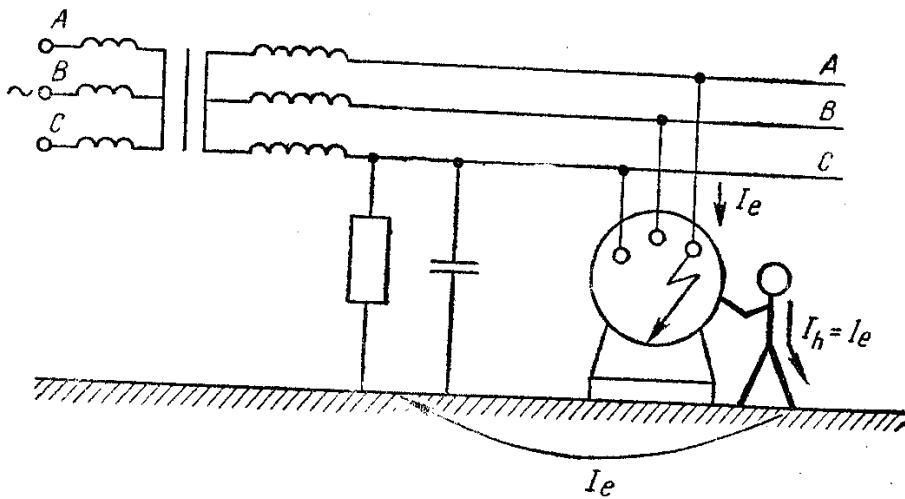
(кўчма ёритиш лампалари ва электрлаштирилган қўл асбоблари) кичик кучланишли қурилмаларга киради. 65 В ли электр қурилмалар паст кучланишли қурилмаларга киради. Агар электр қурилмаларнинг кучланиши ерга ёки электр машиналар ҳамда аппаратларнинг асосига нисбатан олганда 250 В дан кичик бўлса, бундай қурилмалар паст кучланишли электр қурилмалар деб аталади. Агар электр қурилмаларнинг кучланиши ерга ёки электр машиналар ҳамда аппаратларнинг асосига нисбатан олганда 250 В дан катта бўлса, улар юқори кучланишли қурилмалар деб аталади ва уларга юқори кучланишли қурилмаларни ишлатиш қодалари татбиқ этилади.

Хавфсизлик техникасида кўзда тутилган қатор ҳимоя воситалари ва тадбирларини қўллаш электр қурилмаларининг хавфсиз ишлашини таъминлайди. Бундай тадбирларга ҳамма ток ўтказувчи қисмларни махсус ҳимоя тўсиқлари ёрдамида ҳимоялаш, электр қурилмаларини ҳимояли ерга ёки нолга улаш воситасига бириктириш, ҳимояловчи тагликлар, резина калиш, қўлқоп ва бошқа ҳимояловчи воситаларни қўллаш, камайтирилган кучланишдан фойдаланиш ва ҳоказолар киради.

Одам танаси металл сиртига тегиб турадиган қурилмалар (буғ қозонлари) ҳамда жуда хавфли хоналарда ишлатиладиган электр қурилмалар кичик кучланишга, яъни 12 В дан юқори бўлмаган кучланишга мўлжалланади. Кичик кучланиш манбаи бўлиб, одатда, трансформаторлар (бунда автотрансформатор ишлатиш ман қилинади), гальваник элементлар, аккумуляторлар ва тўғрилагичлар хизмат қилади.

Саноат корхоналаридаги қурилмаларнинг ток ўтказувчи барча қисмлари яхшилаб изоляцияланади ёки ток ўтказмайдиган материал билан қопланади. Шу туфайли одам танасининг ток ўтказувчи қисмларга тегиб кетиш эҳтимоли бартараб қилинади. Корхонанинг уч фазали электр тармоғи уч симли ва тўрт симли бўлиб, электр энергияни трансформаторлардан олади. Уч симли тармоқда трансформаторнинг нейтрални изоляцияланади (ер билан уланмайди). Тўрт симли тармоқда трансформатор нейтрални нейтрал (ноль) сим билан бириктирилган ва ер билан мустаҳкам уланган бўлади.

**Электр қурилмаларни ерга ва нолга улаш.** Электр қурилмалар нормал ҳолда кучланиш таъсирида бўлмайди, аммо изоляциянинг шикастланишида кучланиш таъсирида бўлиши мумкин бўлган барча қисмларини олдиндан электр жиҳатдан атайлаб ерга бириктириш бу ҳимояли ерга улаш деб аталади. Ҳимояли ерга улаш тасодифан кучланиш таъсири остида бўлиб қолган электр қурилмаларнинг металл қисмларига одамлар тегиб кетган ҳолларда уларни электр токи билан шикастланишдан сақлайди. Ҳимояли ерга улашнинг ишлаш принципи электр қурилманинг очилиб қолган ток ўтказувчи қисмининг корпусга уланиб қолиши ва бошқа сабаблар туфайли вужудга келувчи тегиб кетиш ва қадамдаги кучланишларнинг хавфсиз қийматларгача пасайишига асосланган.



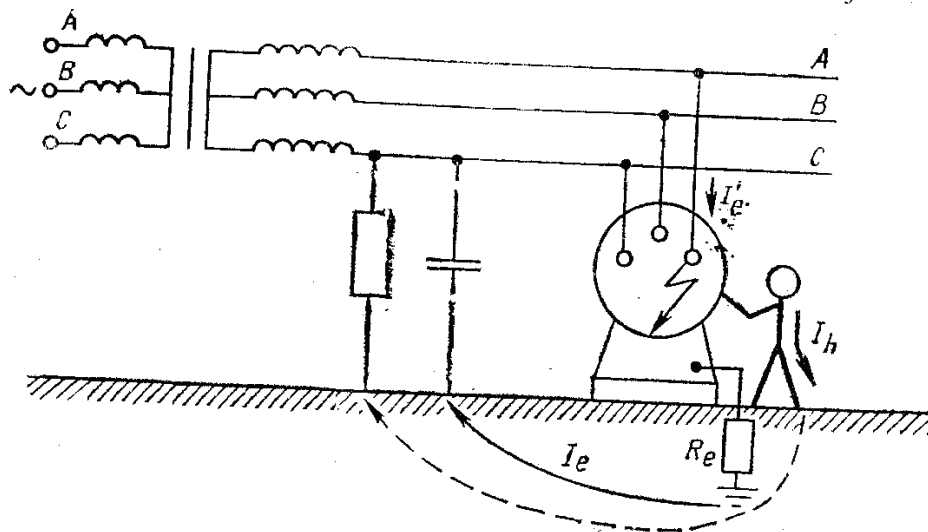
14.16- расм

Ерга уланмаган корпусга одам текканда (14.16-расм) ундан ерга ўтувчи ток  $I_e$  тўлиқ ўтади, яъни  $I_h = I_e$  бўлади. Бу ҳол одам қурилма фазаларидан бирининг ток ўтказувчи қисмларига теккани билан баробардир.

Ерга уланган корпус таъминловчи фазалардан бири билан контактга эга бўлган ҳол учун унга одамнинг тегиб кетиши 14.17-расмда кўрсатилган. Ерга ўтувчи  $I_e$  токнинг бир қисми  $I_h$  одам танаси орқали, аммо унинг катта қисми  $I_e$  ерга улаш қурилмаси орқали ўтади. Бошқача айтганда, корпус ерга улагичга уланганда у  $U_e = I_e R$  кучланиш таъсирида бўлади.

Агар ерга улагич қаршилиги камайиши билан ерга ўтувчи ток кўпаймаса, у ҳолда ҳимояли ерга улаш самарали бўлади. Бу ҳол нейтралли изоляцияланган тармоқларда содир бўлади. Бунда фазалардан бири ерга мустаҳкам уланганда ёки ерга уланган корпусга текканда ток кучи ерга улагичнинг электр ўтказувчанлиги (ёки қаршилиги) га боғлиқ бўлмайди.

Кучланиши 1000 В гача бўлган, нейтралли ерга уланган тармоқларда ҳимояли ерга улаш самарали эмас, чунки фаза-



14.17- расм.

лардан бирини ерга мустаҳкам уланганда ток ерга улагичнинг қаршилигига боғлиқ бўлмайди ва уни камайтириш билан ортади.

Кучланиш таъсири остида бўлиши мумкин бўлган металл ток ўтказмайдиган қисмларни ноли қимоя сим билан олдиндан атайлаб электр жиҳатдан бириктириш *нолга улаш* деб аталади,

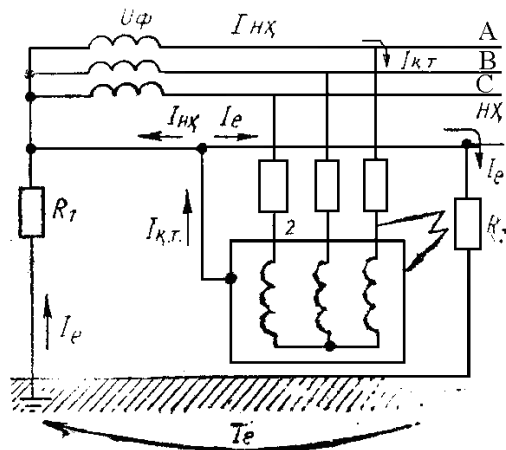
Ноли қимоя сим ноли уланадиган қисмларни ток манбаининг ерга мустаҳкам уланган нейтрал нуқтаси билан бирлаштиради. Қимояли нолга улаш схемаси 14.18-расмда кўрсатилган. Нолга улашнинг ишлаш принципи шикастланган электр қурилмани узувчи аппаратура ёрдамида тармоқдан тез узиш учун фазалардан бирини корпусга уланишини бир фазали қисқа туташувга айлантиришга асосланган. Чунки электр қурилма корпуси ноли қимоя сим орқали ноли қимоя симлар НХ га уланиб қолади ва шикастланиш даврида ток  $I_{к.т}$  вужудга келади. Қисқа туташуш токи  $I_{к.т}$  фазалардан бири корпусга улаш вақтидан бошлаб, токи қимоя ишга тушгунча ва қурилмани тармоқдан узгунча кетган вақт давомида мавжуд бўлади.

Шундай қилиб, электр қурилмалар корпусларини нейтрал сим орқали ерга улаш шикастланиш даврида уларнинг кучланишини ерга нисбатан пасайтиради. Нолга улаш нейтрал ерга уланган тўртсимли тармоқларда (одатда, бу тармоқ кучланиши 380/220, 220/127 ва 660/380 В бўлади) ҳамда манбаининг ўрта нуқтаси ерга уланган ўзгармас ток тармоқларида ишлатилади.

**Қимоя воситалари.** Ишлаётган электр қурилмаларига хизмат кўрсатувчи ходимнинг хавфсизлигини таъминлаш учун қимоя воситалари ишлатилади. Улар изоляцияловчи, тўсувчи ва сақловчи қимоя воситаларига бўлинади.

Изоляцияловчи қимоя воситалари ток ўтказувчи ёки ерга уланган қисмлардан ҳамда ердан одамни электр жиҳатдан изоляция қилади. Изоляцияловчи қимоя воситалари асосий ва қўшимча хилларга бўлинади.

Асосий изоляцияловчи электр қимоя воситалари электр қурилманинг иш кучланишини узоқ муддат ушлаб туриш ва ходим кучланиш таъсирида бўлган ток ўтказувчи қисмларга тегиб кетганда уни ток билан шикастланишдан қимоялаш хусусиятига эга. Асосий изоляцияловчи қимоя воситаларига изоляцияловчи штангалар, изоляцияловчи ва электр ўлчаш омбурлари, диэлектрик қўлқоплар, изоляция-



14.18-расм.

ловчи дастали электр монтёр асбоблари, кучланиш кўрсаткичлари (1000 В гача бўлган кучланиш учун), изоляцияловчи штангалар, изоляцияловчи ва электр ўлчаш омбури ва кучланиш кўрсаткичлари (1000 В дан юқори кучланиш учун) киради.

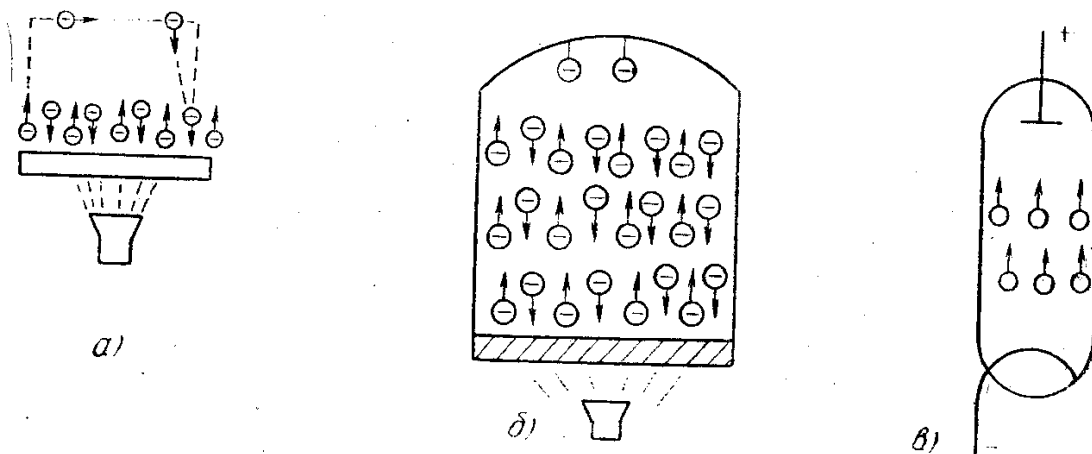
Қўшимча изоляцияловчи электр ҳимоя воситалари электр қурилманинг иш кучланишини узоқ муддат ушлаб туришга ва бу кучланишда одамни ток билан шикастланишдан ҳимоялашга қодир эмас. Улар асосий ҳимоя воситаларига қўшимча восита бўлиб хизмат қилади ҳамда тегиб кетиш кучланишидан, қадам кучланишидан ва кучланиш ёйи туфайли куйишдан ҳимоя қилади. Кучланиши 1000 В гача бўлган электр қурилмаларида қўшимча изоляцияловчи электр ҳимоя воситалари сифатида диэлектрик калишлар ва гиламчалар, изоляцияловчи тагликлар ва ёпқичлар кучланиши 1000 В дан юқори бўлган электр қурилмаларда эса диэлектрик қўлқоплар, қўнжли калишлар, гиламчалар ва изоляцияловчи тагликлар қўлланилади.

## 15 б о б. ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

### 15.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР. ОДДИЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМ ВА ЯРИМ УТКАЗГИЧ АСБОБЛАРИНИНГ ИШЛАШИ

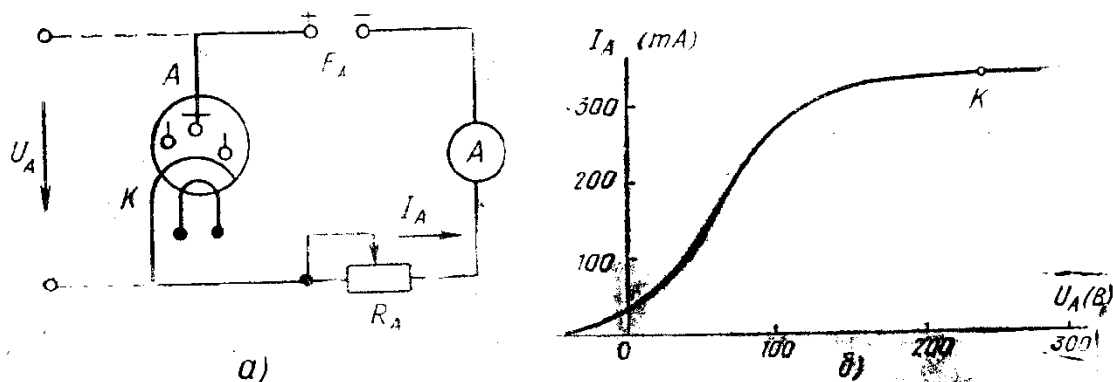
Электроника газ, қаттиқ жисм вакуум ва бошқа муҳитдаги элементар зарядланган заррачаларга (масалан, электрон, ион ва бошқалар) электромагнит майдон таъсир нағижасида ҳосил бўлган электр ўтказувчанликни ўрганиш ва ундан фойдаланиш масалалари билан шуғулланадиган фан соҳасидир.

Электрониканинг ривожланишига электровакуум асбобларнинг пайдо бўлиши асос бўлди. Кўпчилик электровакуум асбобларнинг ишлаши термоэлектрон эмиссияга, яъни вакуумда қиздирилган металлдан электронларнинг учиб чиқишига асосланади. Бу ҳодиса 1833 йилда америкалик олим Т. Эдисон томонидан кашф этилган. Унинг моҳияти қуйидагидан иборат. Электр токининг ўтказгичи бўлган ҳар қандай металл

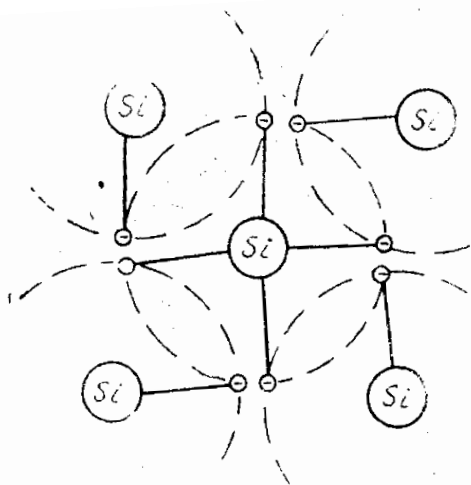


15.1- расм.

структурасида бир атомдан иккинчи атомга эркин ўтиб юрадиган электронлар бўлади. Агар металл ўтказгични икки хил ишорали  $q_+$  ва  $q_-$  зарядлар орасига жойлаштирсак, ундан тартибланган электронлар оқими ўтади, яъни электр ўтказувчанлик токи пайдо бўлади. Агар электр токининг йўлига металл структурага эга бўлмаган кичик тўсиқ қўйилса, электронлар оқими узилади ва ток йўқолади. Электронлар ҳавода эркин электронларга эга бўлмаган бошқа муҳитда ҳаракатлана олмайди. Қиздирилганда электронлар ҳаракати тезлашади. Металли электрод ҳатто ҳаволи муҳитда қиздирилганда (15.1-расм, а) ҳам температура  $1500\text{--}2000^\circ\text{C}$  га етганда металлдаги электронлар ҳаракати кескин кўпаяди. Айрим электронлар металлнинг атом структурасини тарк этиб, ўтказгичдан маълум масофага узоқлашиши мумкин. Бироқ, улар ҳаводаги атом ва молекулалар билан тўқнашиб, ўзининг дастлабки ҳолатига, яъни металлга қайтади. Бунда электронлари чиқиб кетган электрод аввал мусбат зарядланади ва сўнгра бу электронларни яна қайтадан ўзига тортиб олади. 15.1-расмда электрон эмиссия кўрсатилган. Агар металл электрод вакуумда қиздирилса, унинг сиртидан отилиб чиққан электронлар (15.1-расм) бирламчи тезлиги туфайли ҳаводагига қараганда юз ва минг марта катта масофага узоқлашади. Бу принцип икки электродли лампа — электровакуум диодга асос қилиб олинган (15.1-расм, в). Асбоб, ичига икки электрод — анод ва катод жойлаштирилган, ҳавоси сўриб олинган шиша баллондан иборат. Электр токи билан бевосита ёки билвосита қиздириш натижасида катод ўзидан электронлар чиқаради. Бу электронлар анод томон ҳаракат қилади, бироқ кейин улар катодга қайтади. Агар диоднинг анодини ташқи манбанинг мусбат қутбига, катодини эса манфий қутбига уласак (15.2-расм, а), лампадан анод токи  $I_A$  ўтади. Бу токни амперметр  $A$  кўрсатади. ЭЮК  $E_A$  ўзгармас бўлса, лампадаги ток катоднинг қиздирилиш даражасига, яъни электронларнинг термоэмиссиясига ва анод билан катод орасидаги кучланиш  $U_A$  га боғлиқ бўлади. Бу кучланишни  $R_A$  қаршилик билан бошқариш мумкин.  $I_A = f(U_A)$  боғланиш диоднинг анод характеристикаси дейилари ва

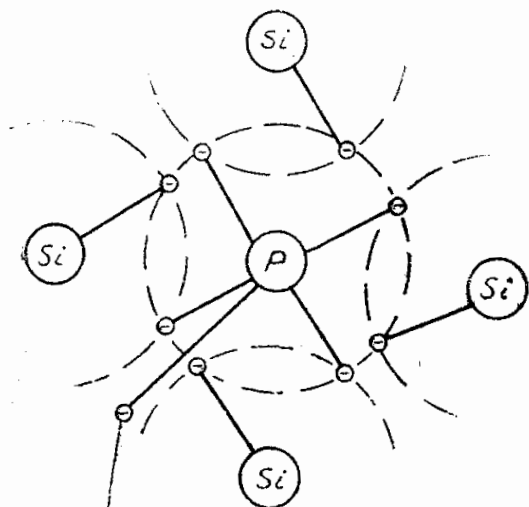


15.2- расм.



15.3- расм.

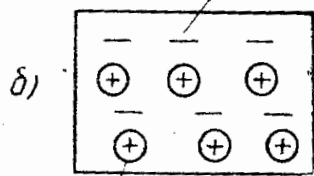
Икки электродли электровакуум асбобда токнинг бир йўналишда ўтишини таъминловчи электрон жараёнлар ярим ўтказгичларда ҳам кузатилади. Ярим ўтказгичлар электроникаси солиштирма электр ўтказувчанлиги ўтказгич ва диэлектрикларнинг электр ўтказувчанликлари орасида бўлган махсус моддалар хусусиятидан фойдаланишга асосланган. Бундай моддалар *ярим ўтказгичлар* деб аталади.



боғланмаган электрон

а)

боғланмаган электр...



б)

шон

15.4- расм.

15.2- расм, б да келтирилган кўринишда бўлади. Кўриниб турибдики, лампанинг токи  $I_A$  маълум чегарага кўпаяди ( $K$  нуқта-си), шундан сўнг тўйиниш ҳолати содир бўлади. Кучланиш  $U_A$  тескари қутбланишда уланса ( $U_A < 0$  бўлса), ток нолга тенг бўлиб қолади. Бунга сабаб манфий зарядланган аноднинг электронларни ўзидан узоқлаштиришидир. Электрон лампанинг токни фақат бир йўналишда ўтказаш хусусиятидан ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришда фойдаланилади.

Оддий температурада ярим ўтказгичлар атомларидаги электронларнинг энергияси уларнинг ядродан узоқлашиб, электр токи ҳосил қилишга етарли бўлмайди. Бироқ, потенциаллар айирмаси таъсирида бу электронлар тартибланган ҳаракатга келиб, электр токни ҳосил қила олади. Ярим ўтказгичларда бир йўналишдаги ўтказувчанликнинг ҳосил бўлишини қуйидаги кенг тарқалган моделда кўр атамиз.

Маълумки, ярим ўтказгичлар кристалл структурага эга, яъни уларнинг атомлари бири-бири билан кристалл панжара ҳосил қилиб боғланган. 15.3- расмда тўрт валентли кремнийнинг атомлараро боғланишининг модели тасвирланган.

15.4- расмда фосфор аралашган кремнийли ярим ўтказгич кристалл панжарасининг модели: 15.4- расм, а да панжара-

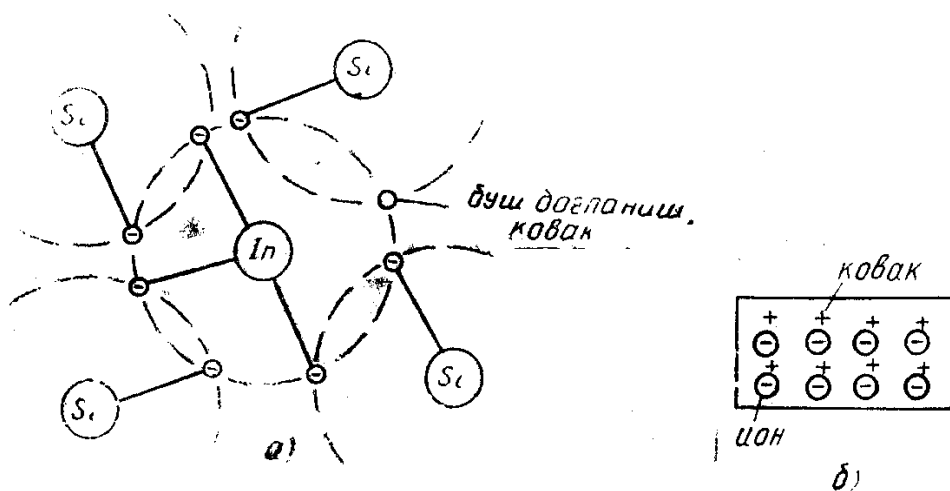
нинг структураси; 15.4-расм, б да эса  $n$  типдаги ярим ўтказгичнинг тасвири берилган.

Кремний атомининг ядроси атрафидаги орбитада жойлашган тўртта валент электрони бошқа тўртта атомнинг электронлари билан электрон жуфтлар ҳосил қилади. Атомларга ташқи таъсир (иссиқлик, нурланиш) булмаса, уларнинг структураси ўзгармайди ва ҳар бир атом электр жиҳатдан нейтраллигича қолади. Бундай ярим ўтказгич эса токни ўтказмайди.

Агар кремний монокристалига валент электронлари сони кремнийникидан кўп ёки кам бўлган бошқа кимёвий элемент киритилса (масалан, бешинчи ёки учинчи группа элементи), аҳвол кескин ўзгаради. 15.4-расм, а да беш валентли фосфорнинг тўрт валентли кремний билан ҳосил қилган кристалл панжарасининг модели кўрсатилган. Бу бирикмада электрон жуфтлар ҳосил бўлганида, ҳар бир фосфор атомида битта электрон „ортиқча“ бўлиб қолади. Бу электронни бўш электрон ҳеб ҳисобласак, унга нисбатан фосфор атоми мусбат ион бўлади. Ярим ўтказгич эса ана шу электрон ҳисобига ўтказувчанликка эга бўлиб,  $n$ -типидаги ярим ўтказгич деб аталади. Унинг схематик белгиланиши 15.4-расм, б да кўрсатилган. Бундай ярим ўтказгич ташқи иссиқлик ҳамда нурланишларга таъсирчан бўлади ва агар ўзгармас кучланиш манбаига уланса, ўзидан токни ўтказиши.

Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлигини, унга валент электронлари сони кам бўлган кимёвий элемент киритиш билан ҳам орттирса бўлади. 15.5-расм, а да уч валентли индий ( $I_n$ ) қўшилган кремнийнинг кристалл панжараси кўрсатилган.

Кристалл панжарада индийнинг атрафидаги тўртта кремний атомидан бирининг электрони билан электрон жуфт ҳосил қилиш учун индийнинг электрони етишмайди. Етишмаган электрон ўрнида „ковак“ ҳосил бўлади, бироқ бу ковак қўшни валент боғланишидаги электрон билан тўлатилиши мумкин. Агар шундай бўлса (масалан, ташқи иссиқлик таъсирида) индий атоми манфий ионга айланади, электронини йўқотган „валент боғланиш“ эса „ковакка“ эга бўлади. Бу „ковак“ ўз нав-



15.5-расм.



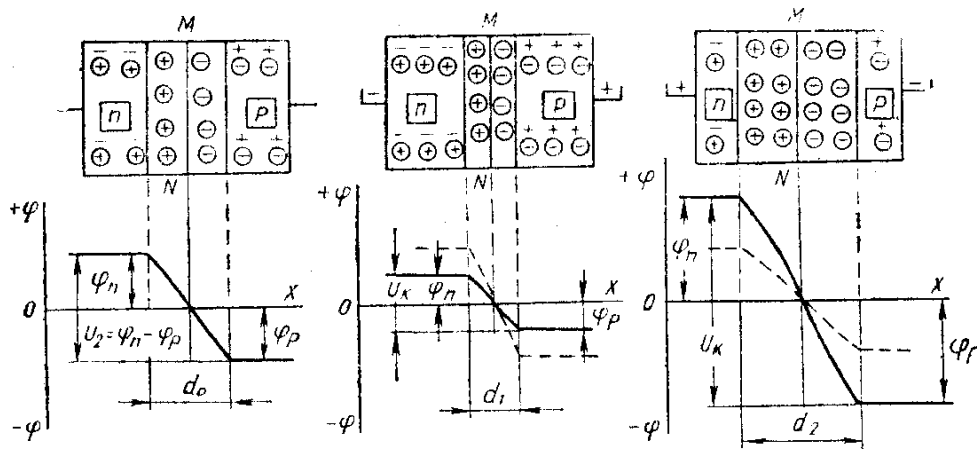
батида учинчи валент боғланишидаги электрон билан тўлдирилиши мумкин ва ҳоказо. Шундай қилиб, битта ҳосил бўлган „ковак“ ярим ўтказгич бўйлаб тартибсиз равишда ҳаракатланиб, ковакли ўтказувчанликни ҳосил қилади. Бундай ярим ўтказгич  $p$ -типидаги ярим ўтказгич дейилади, унинг тасвири 15-расм, б да кўрсатилган.

Электронли ( $n$ -типидаги) ва ковакли ( $p$ -типидаги) ярим ўтказгичларнинг моделини кўриб чиқиб, улардаги эркин зарядлар — электронлар ва коваклар, металллар каби электр ўтказувчанликни таъминлай олмаслигини кўрамиз. Ярим ўтказгичларда эркин заряд ташувчилар сони қўшимчаларнинг массаси билан аниқланади. Шунинг учун алоҳида олинган  $n$  ва  $p$ -типидаги ярим ўтказгичлар яхши ўтказгич ҳисобланмайди, бироқ улар диэлектрик ҳам эмас.

Амалда бирида электронли ўтказувчанлик, иккинчисидан ковакли ўтказувчанлик кучли бўлган икки ярим ўтказгич контактда турганида содир бўладиган ҳодисалар катта аҳамиятга эга. Бунда (15.6-расм, а) туташиб чегарасида  $n$ -типи ярим ўтказгичдаги меъёрдан кўп электронлар  $p$ -типидаги ярим ўтказгичга,  $p$ -типи ярим ўтказгичдаги меъёрдан кўп коваклар  $n$ -типидаги ярим ўтказгичга ўтади. Бу  $n-p$  ўтиш дейилади. Ўтган электрон ва коваклар бир-бирлари билан тўқнашиб рекомбинацияланади, яъни бир-бирини компенсациялайди. Шу туфайли  $MN$  чегара бўйлаб чапда „очиқ“ қолган мусбат ионлар (масалан, ўзининг ортиқча электронларини йўқотган фосфор атомлари), ўнгда эса „очиқ“ қолган манфий ионлар (масалан, фосфор электронлари билан ўз ковакларини тўлдирган индий атомлари) вужудга келади. Бу эса ўз навбатида  $\varphi_n$  ва  $\varphi_p$  потенциалли ҳажмий заряд ҳосил бўлишига олиб келади (15.6-расм, а). Бу зарядлар айирмаси  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  контакт потенциаллар айирмаси дейилади ва зарядларнинг диффузияланишига йўл қўймайдиган потенциал тўсиқни ҳосил қилади. Натижада  $p-n$  ўтишда ток ҳосил бўлмайди.

Агар ярим ўтказгичнинг  $p$  ва  $n$  қатламларига маълум қутбланишдаги кучланиш уланса,  $p-n$  ўтишда кескин ўзгариш рўй беради. Ташқи кучланишнинг мусбат қутби  $p$  қатламга, манфий қутби  $n$  қатламга уланса, бу кучланиш таъсирида  $p$  қатламнинг манфий ионлари чегара олди қатламни тарк этади, бунда манфий ҳажмий заряд ва  $\varphi_p$  камаяди. Худди шунга ўхшаш ташқи манбанинг манфий қутби потенциали таъсирида мусбат ҳажмий заряд ва  $\varphi_n$  камаяди. Натижада потенциал тўсиқ  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  камаяди. Ҳажмий зарядлар камайиши ҳисобига  $n-p$  қатлам ҳам кичраяди, яъни  $d_1 < d_0$  (15.6-расм, б) бўлади. Ташқи кучланишнинг бундай вланиши тўғри уланиш дейилади ва у ярим ўтказгичларда тўғри ўтказувчанлик токини ҳосил қилади. Ярим ўтказгичлар эса ўтказгичлар хусусиятига эга бўлиб қолади.

Ташқи кучланишнинг мусбат қутбини  $n$  қатламга, манфий қутбини эса  $p$  қатламга улаймиз. Бунда эркин электронлар

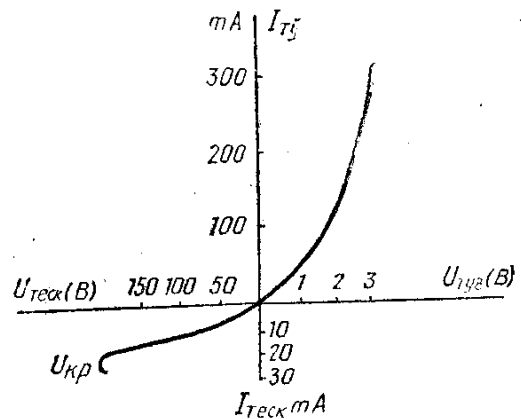


15.6- расм.

манбанинг мусбат қутбига, коваклар эса манфий қутбига томон ҳаракатланади. Чегара олди қатламда эса „очиқ“ қолган мусбат ва манфий ионлар кўпайиб, ҳажмий зарядлар,  $\varphi_n$  ва  $\varphi_p$  потенциаллар ортади. Потенциал тўсиқ  $U_k = \varphi_n - \varphi_p$  ҳам ортади.  $n - p$  ўтишининг кенглиги ҳам ортади, яъни  $d_2 > d_0$  (15.6-расм, в) бўлади. Бундай уланган кучланиш тескари кучланиш, у туфайли юзага келган жула кичик ток – тескари ўтказувчанлик токи дейилади. Кескин ортган потенциал тўсиқ ярим ўтказгични изоляторга айлантиради.

Ярим ўтказгичли диодда юқорида кўриб ўтилган электрон-ковакли ўтишининг айнан ўзи содир бўлади. Унинг вольт ампер характеристикаси 15.7-расмда келтирилган. Катта бўлмаган тўғри кучланиш уланганда диоддан катта миқдордаги тўғри ток ўтади, тескари ток эса катта тескари кучланишларда ҳам кичик миқдорда бўлади. Диоднинг тўғри кучланишга қаршилиги Ом нинг улушларидан (катта қувватли асбобларда) бир неча Омгача (кичик қувватли асбобларда), тескари кучланишга қаршилиги эса юз ва минглаб Ом га тенг бўлади.

15.7-расмда ярим ўтказгичли диоднинг вольт-ампер характеристикаси ва унинг схематик белгиланиши кўрсатилган. Хarakterистиканинг бошланиш қисмида боғланиш чизиқли эмас. Бу тўғри кучланиш ортганида ёпувчи (чегара олди) қатлам қаршилигининг камайиши билан тушунтирилади. Тескари кучланиш катта қийматларга эришганда жула кичик тескари ток ҳосил бўлади (15.7-расм, III вариант). Лекин тескари кучланишнинг ҳаддан ташқари ортишига рухсат этилмайди, чунки бунда диод шикастланиши (тешилиши) ва ишдан чиқиши мумкин.



15.7- расм.

Электронли ва ярим ўтказгичли диодлар ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун ишлатилади. Тўғрилаш схемалари ва занжирлари кейинроқ алоҳида кўриб чиқилади.

### 15.2. КҮП ЭЛЕКТРОДЛИ ЭЛЕКТРОВАКУУМ ВА ЯРИМ УТКАЗГИЧ АСБОБЛАР. ТРИОДЛАР ВА ТРАНЗИСТОРЛАР

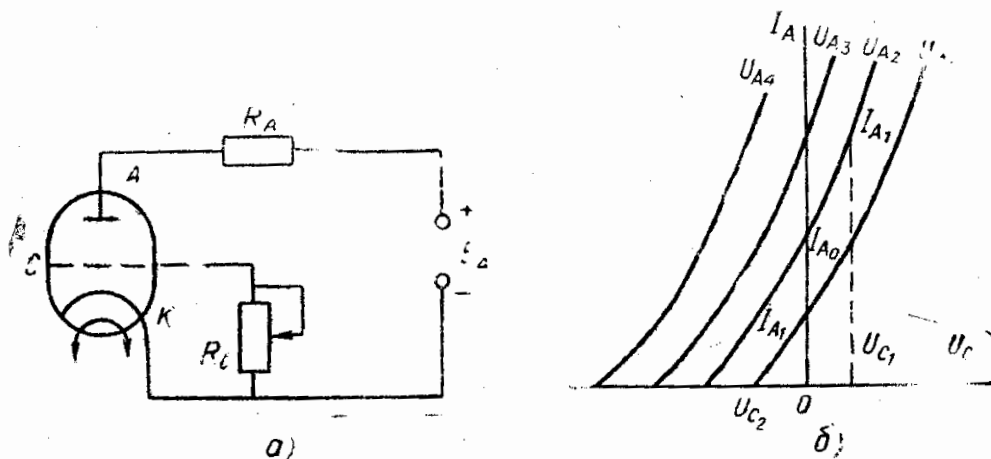
Икки электродли электрон ва ярим ўтказгичли асбоблар бошқарилмайдиган асбоблардир. Улардан ўтаётган тўғри ток берилган кучланишга ва асбоб билан кетма-кет уланган қаршилиқнинг қийматига боғлиқ. Лекин электровакуум ва ярим ўтказгичли асбобларга конструктив ўзгартиришлар киритиб, уларнинг токни берилган кучланишга ва нагрузка қаршиликка боғлиқ бўлмаган ҳолда ўзгартириш мумкин. Бунинг учун учинчи (қўшимча) электрод киритилади. Электровакуум асбобларда анод токни бошқариш физик жараёнлари ярим ўтказгичлардаги тўғри токни бошқариш жараёнларидан тубдан фарқ қилади. Электровакуумли триод билан ярим ўтказгичли транзисторнинг ишлашини кўриб чиқамиз.

Уч электродли электрон лампа — триод. Анод „А“ ва катод „К“ орасига бошқарувчи тўр деб аталувчи қўшимча (учинчи) электрод жойлашган электровакуум лампа *триод* дейилади (15.8- расм).

15.8- расм, *а* да уч электродли электрон лампа—триоднинг уланиш схемаси, расм *б* да эса иш (бошқарув) характеристикалари кўрсатилган.

Тўр электронлар оқими чиқарувчи цилиндрсимон (трубка-симон) катодни маълум масофада қуршаб олган спирал шаклида ясалади. Анод ҳам цилиндр шаклида ясалади ва унинг диаметри тўр спиралининг диаметридан анча катта бўлади.

Катодга яқин жойлашган тўр унинг атрофида мусбат ёки манфий электр майдони ҳосил қилади ва катоддан чиқаётган электронлар оқимини ё кучайтиради, ёки кучсизлантиради. Анодга етиб борган электронлар анод токнинг миқдорини



15.8- расм.

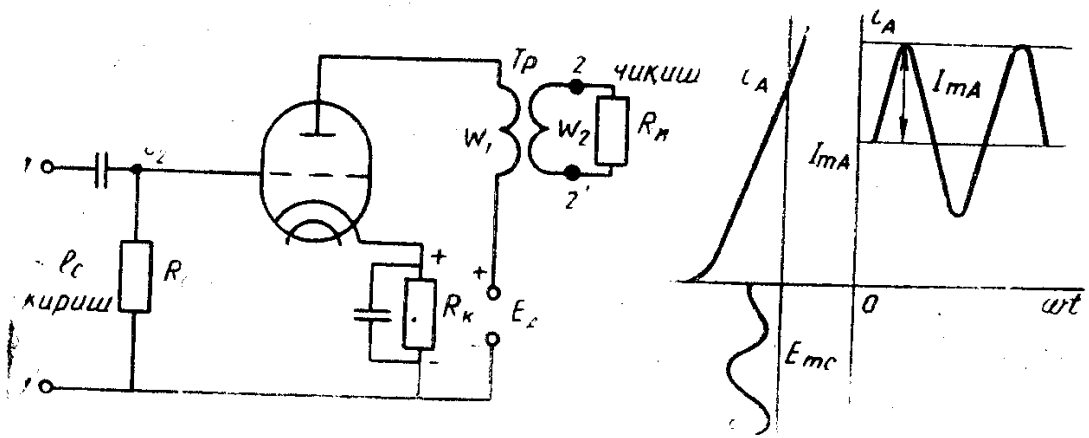
аниқлайди. Шунинг учун тўр потенциали  $U_T$  асосий анод кучланиши  $U_A$  билан бирга анод токининг қийматини бошқарувчи қўшимча кучдир. Агар тўр кучланиши  $U_T > 0$  бўлса, катод литрофидаги электр майдоннинг кучланганлиги ортиб, катоддан учиб чиқувчи электронлар оқими кўпаяди. Анод кучланиши  $U_A$  ортмаган ҳолда анод токи  $I_{A_0}$  қийматдан  $I_A$  гача ортади (15.8-расм, б). Агар тўрға манфий кучланиш берилса,  $U_T < 0$  да электронлар оқими сезиларли даражада камаяди, бунда анод токи ҳам  $I_A$  қийматгача камаяди. Тўр кучланиши  $U_T$  маълум қийматга эришганида, анод кучланиши  $U_A$  нинг ҳар қандай қийматида, анод токи нолга тенг бўлиб қолади ( $I_A = 0$ ). Бунда тўрнинг электр майдони электронларнинг анод томон ҳаракатини бутунлай тўхтатади ва электронлар оқими анодга етмай, катодга қайтади.

Анод токи узлуксиз ва катта тезликда бошқарилиши мумкин. Лампадаги электронлар ҳаракатининг инерцияси бўлмайди. Шу сабабли триодлар алоқа техникасида, радиотехникада ва телевидениеда қувватли, юқори частотали сигналларни кучайтириш учун кенг қўлланади.

Ҳозирги вақтда вакуум электроникасининг ўрнини универсалроқ ва кичик ҳажмлироқ бўлган ярим ўтказгич техникаси эгаллаяпти. Лекин кўп электронли вакуум лампалар (шу жумладан, триодлар ҳам) сигналларни кучайтирувчи кўп қурилмаларда ҳанузгача ишлатилмоқда.

Ихтиёрий частотали сигналнинг электрон триод ёрдамида кучайтирилишини 15.9-расм, а даги схема ёрдамида кўриб чиқамиз. Тўрдаги дастлабки манфий силжиш кучланиш  $E_T$  қаршилик  $R_k$  ёрдамида ҳосил қилинади; бу кучланиш тўр силжиш қаршилиги  $R_T$  орқали тўрға берилади. Бу қаршилик  $C_T$  конденсатор билан бирга кучланиш бўлгичининг ролини ўйнайди. 15.9-расм, б да синусоидал  $e_T = E_{mT} \sin \omega t$  сигнал кучайтирилишининг график ифодаси кўрсатилган. Сигналнинг амплитудаси тўрға берилган манфий силжиш кучланиши  $E_T$  қийматидан биров кичикдир. Сигнал триод анод-тўр характеристикасининг иккинчи квадратида жойлашган чизиқли қисмида кучайтирилади. Характеристика чизиқли бўлгани учун анод токининг қиймати катталаштирилган масштабда кучайтиргичга берилган сигнални такрорлайди. Анод токининг ўзгариш қонуни  $i_A = I_{0A} + I_{mA} \sin \omega t$  кўринишда бўлади. Анод токининг фақат қиймати ўзгаради, йўналиши эса ўзгармайди, чунки лампадаги ток аноддан катодга ўтолмайди. Амплитуда жиҳатдан кучайтирилган сигналнинг ўзгарувчи ташкил этувчисини (анод токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси) ажратиш учун кўрилаётган схемада Тр трансформатордан фойдаланилади.

Трансформаторнинг бирламчи  $W_1$  чулғамидан  $i_A$  ток ўтади, иккиламчи  $W_2$  чулғамига эса  $R_n$  истеъмолчи уланади. Агар



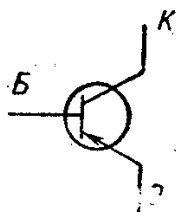
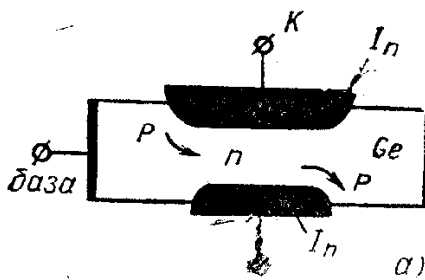
15.9- расм.

кучайтириш схемасини актив тўрт қутбли схема деб тасвир-  
ласак, унинг кириш 1—1 ва чиқиш 2—2 қисмаларининг жой-  
ланиши 15.9- расм, а да кўрсатилгани каби бўлади.

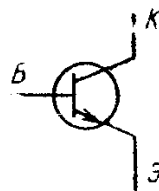
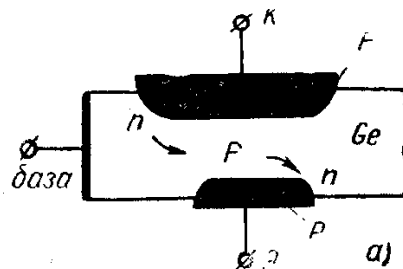
Энди электровакуум триоднинг аналогичи — ярим ўтказгичли  
транзисторни кўриб чиқамиз.

**Транзистор.** Иккита электрон-кавак ўтишли, уч қатламли  
ярим ўтказгич асбоб транзистор деб аталади. Транзистор тур-  
ли электр тебранишларни генерациялаш ёки кучайтириш учун  
хизмаг қилади. Оддий  $p-n-p$  ёки  $n-p-n$  ўтишли биполяр  
транзистор 15.10 ва 15.11- расмларда кўрсатилган.  $p-n-p$   
типтаги электрон-кавак ўтишли транзистор (15.10- расм, а) ик-  
ки томонига уч валентли элемент (масалан, индий In) қўшил-  
ган ярим ўтказгичдан, масалан, германий пластинка (Ge) дан  
ибораг. Бу транзисторнинг схематик тасвири 15.10- расм, б да  
кўрсатилган.

$n-p-n$  типтаги электрон-кавак ўтишли транзистор икки  
томонига беш валентли элемент, масалан, фосфор P қўшилган



15.10- расм.

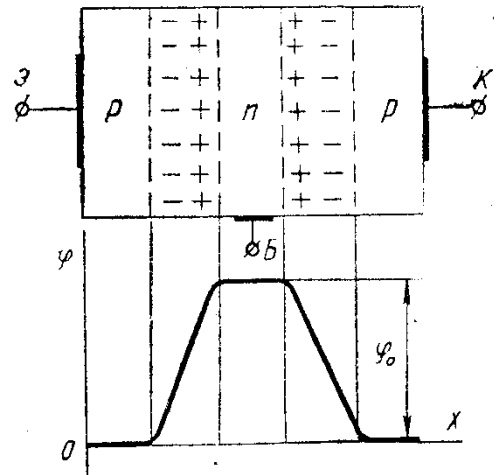


15.11- расм.

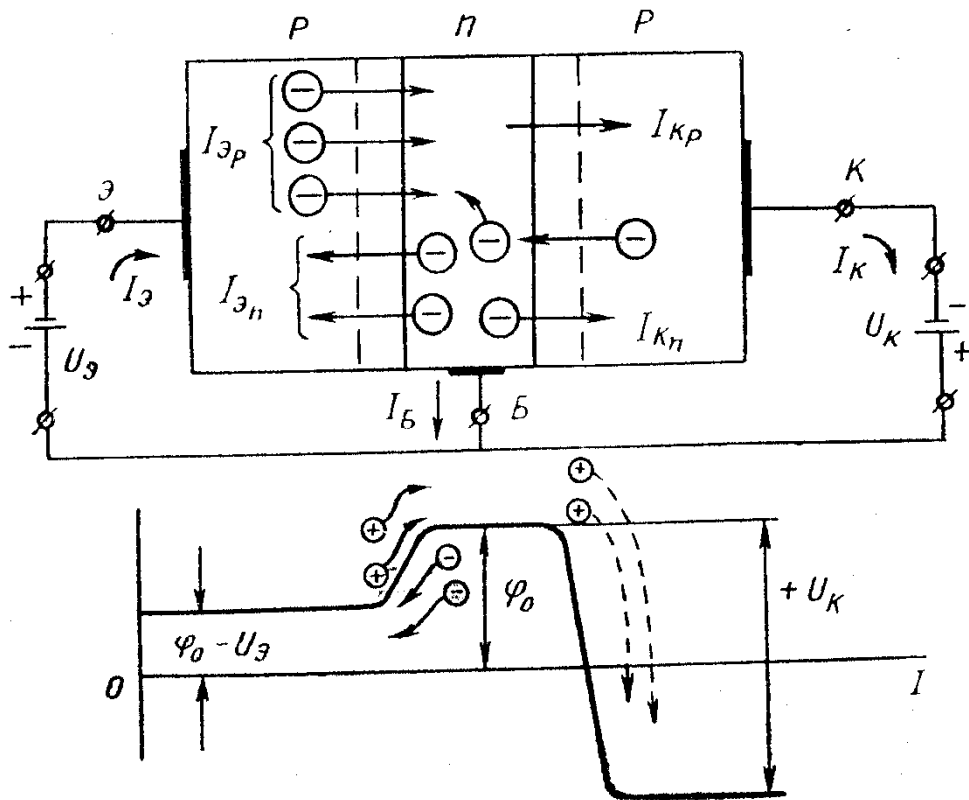
ярим ўтказгичдан, масалан, германий (Ge) пластинкадан иборат. Транзисторнинг тузилиши 15.11-расм, а да, унинг схематик тасвири эса 15.11-расм, б да кўрсатилган.

Электродлар бўлиши Э (эмиттер), Б (база) ва К (коллектор) лар орасидаги тоқлар икки хил ишорали заряд ташувчилар — эркин электронлар ва каваклар ёрдамида ҳосил бўлгани учун бундай транзистор биполяр, яъни икки қутбли транзистор дейилади.

Айрим электродларда тоқларнинг ҳосил бўлиши уларнинг бир-бирига таъсири ва ток, кучланиш ҳамда қувватни кучайтириш эффектнинг вужудга келишини  $p-n-p$  типдаги транзистор мисолида кўриб чиқамиз (15.12- ва 15.13-расмлар). „Тинч“ ҳолатда электродларга ташқи кучланиш уланмайди, бунда  $p-n$  ва  $n-p$  қатламлар чегарасида электронлар ва каваклар қисман рекомбинацияланади. Натижада „очиқ“ қолган мусбат ва манфий ионлар ҳосил бўлиб, улар потенциаллар айирмаси  $\varphi_0$  бўлган потенциал тўсиқ ҳосил қилади (15.12-расм, б).



15.12- расм.



15.13- расм.

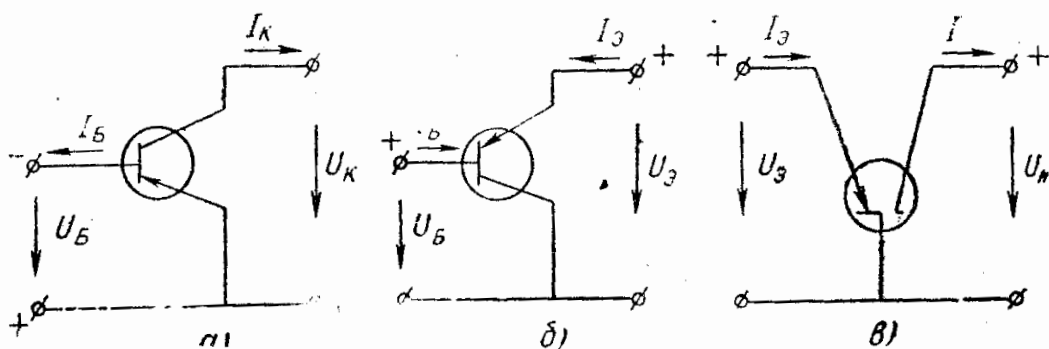
$U_э$  ва  $U_к$  ўзгармас кучланишларни транзисторнинг электродларига 15.13-расм, а да кўрсатилгандек улаймиз. Схеманинг чап томонини тўғри кучланишга уланган диодга, ўнг томонини эса тескари кучланишга уланган диодга ўхшатамиз. Лекин заряд ташувчилар (электрон ва каваклар)  $p-n-p$  қатламлар орасидан бемалол ўта олиши мураккаб физик жараёнлар ҳосил бўлишига олиб келади. Эмиттернинг валент зонасидаги электронлари  $U_э$  кучланиш таъсирида ташқи занжирга ўтади, натижада ҳосил бўлган каваклар база соҳасига ўтади. Бу зарядларнинг натижавий ҳаракати эса эмиттер токи  $I_э$  ни ҳосил қилади. Каваклар базада қисман германийнинг эркин электронлари билан рекомбинацияланади, асосий қисми эса  $p-n-p$  ўтишининг электр майдони таъсирида коллекторга утиб, унда  $I_к$  токини ҳосил қилади. Эмиттердан чиқиб базадан ўтаётган каваклар коллекторга яхшироқ йиғилиши учун коллектор ўтишининг юзаси эмиттер ўтишининг юзасидан каттароқ қилинади (15.10-расм, а, 15.11-расм, а).

Эмиттер каваклари билан рекомбинацияланган электронлар ўрнига базага ташқи занжирдан янги электронлар оқиб келади ва база токи  $I_б$  ҳосил бўлади:

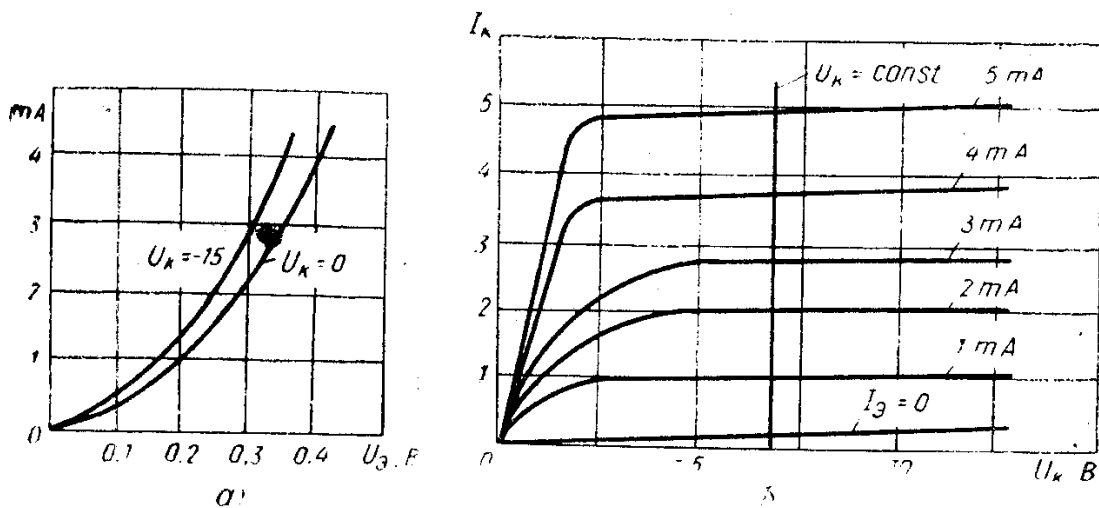
$$I_б = I_э - I_к.$$

Транзисторнинг бошқарилиш хусусияти шундаки, унча катта бўлмаган  $U_э$  кучланиш таъсирида ҳосил бўлган эмиттер токи  $I_э$  ўзига деярли тенг бўлган ток  $I_к$  ни ҳосил қилади. Бу ток эса тескари уланган ва  $U_э$  кучланишдан анча катта бўлган  $U_к$  кучланишни ўзгартиради ( $U_к > U_э$ ). Биполяр транзисторнинг ишлаши эмиттердан база орқали коллекторга заряд ташувчилар оқимининг ўтказилишидан иборат. Иккинчи томон, транзисторнинг структурасини иккита  $p-n$  ўтишга: эмиттер — база ва коллектор — базага ажратсак, биринчи ўтишга электр билан таъсир этиб, иккинчи ўтишнинг қаршилигини ўзгартиришимиз мумкин. Шунга асосан, асбобнинг номи ҳам иккита инглизча сўз (*transfer*—ўзгартирмоқ, *resistor*—қаршилик) дан келиб чиқади.

Ярим ўтказгичли биполяр транзистор учта схема бўйича уланиши мумкин: а) умумий эмиттер билан; б) умумий кол-



15.14-расм.



15.15- расм.

лектор билан; в) умумий база билан (15.14-расм). Бу схема-лар  $p-n-p$  типдаги транзисторнинг асосий иш характеристикаларини олиш учун қўлланилади. 15.15-расм, а ва б да умумий база (УБ) билан уланган биполяр транзисторнинг кириш  $I_3 = f(U_3)$ , бунда  $U_K = \text{const}$  ва чиқиш  $I_K = f(U_K)$ , бунда  $I_3 = -\text{const}$  характеристикалари кўрсатилган.

Кириш характеристикасидан кўринадикки, кучланиш  $U_3$  ўзгармаганида ҳам коллекторнинг манфий кучланишга уланиши ( $U_K < 0$ ) эмиттер токининг маълум даражада ортишга олиб келади. Бу эса электр майдоннинг коллектор — база ўтишдаги эмиттер инъекциялаётган кавакларга кўрсатаётган қўшимча таъсирини билдиради.

$I_K = f(U_K)$  характеристикалар орқали токнинг узатиш коэффициенти  $\alpha = \frac{\partial I_K}{\partial I_3} \approx \frac{\Delta I_K}{\Delta I_3}$  ни аниқлаш мумкин, бу коэффициент коллектор кучланишининг белгиланган ўзгармас миқдори учун аниқланади.

Характеристикаси 15.15-расм, б да кўрсатилган транзистор учун  $\alpha = 0,95$ .

Транзистор умумий эмиттерли (УЭ) схема бўйича уланганда (15.14-расм, а) токнинг узатиш коэффициенти (бу схема жуда кўп қўлланилади):  $\beta = \frac{\partial I_K}{\partial I_6} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_6}$ . Агар

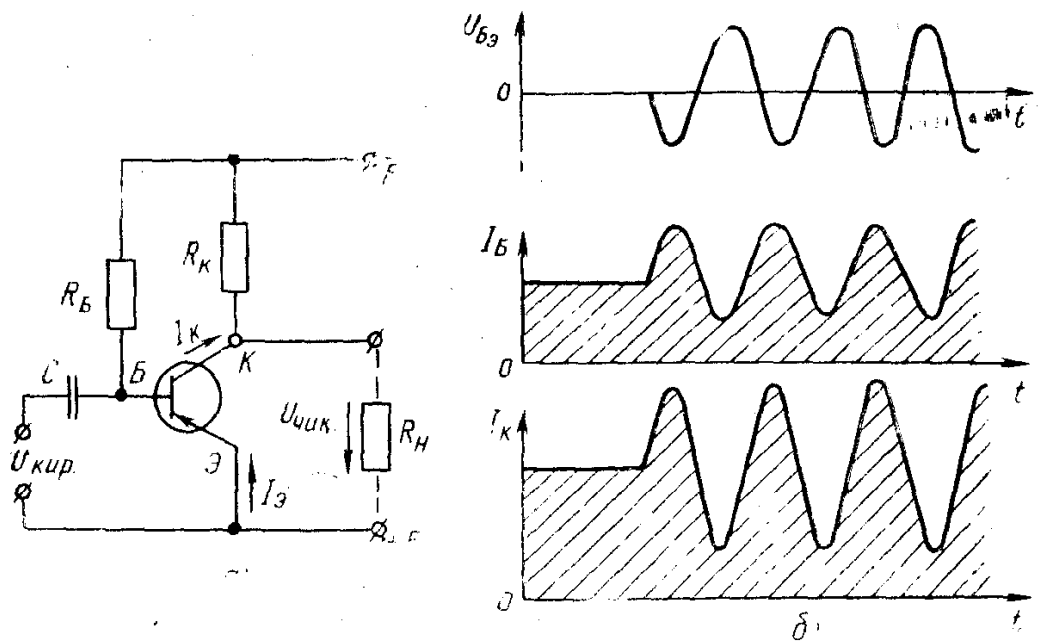
$$\Delta I_6 = \Delta I_3 - \Delta I_K$$

эканлигини ҳисобга олсак,

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_3 - \Delta I_K} = \frac{\Delta I_K / \Delta I_3}{1 - \frac{\Delta I_K}{\Delta I_3}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

лигини аниқлаймиз.





15.16- расм.

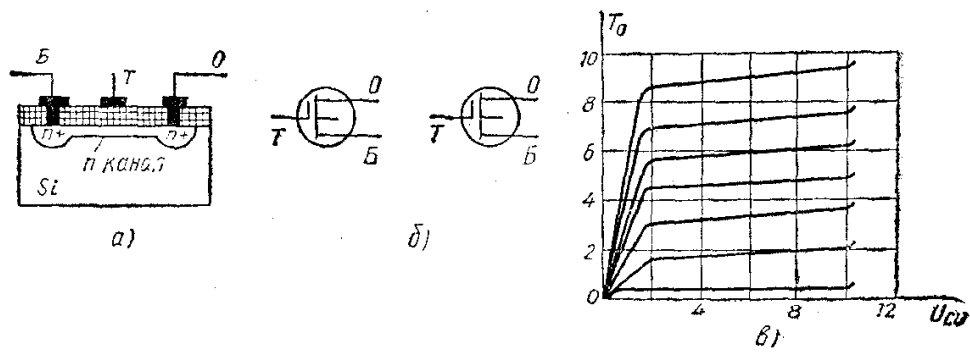
Агар  $\alpha=0,95\div 0,98$  бўлса,  $\beta = 20\div 50$  бўлади, яъни УЭ схемаси бўйича уланганда база токига пропорционал бўлган кириш сигнали транзистор ёрдамида  $\beta$  марта кучайтирилиши мумкин.

Битта манба  $E$  га УЭ схема бўйича уланган  $p-n-p$  типдаги транзисторда синусоидал сигналнинг кучайтирилишини кўриб чиқамиз (15.16- расм, а). База ва коллектор занжирлардаги  $R_б$  ва  $R_к$  қаршилиқлар қийматлари триоднинг иш характеристикаларидаги бошланғич нуқталарни аниқлаб беради.

15.16- расм, а да УЭ схемали транзисторнинг оддий схемаси, б да эса сигнал кучайишининг физикавий модели кўрсатилган.

Ажратувчи конденсатор  $C$  манба  $E$  токининг бошқарув сигнал занжирига ўтишидан сақлайди. Киришдаги синусоидал кучланиш  $U_{кир} = U_{бэ} = U_m \sin \omega t$  мусбат ярим даврларда эмиттернинг мусбат потенциални камайтиради, манфий ярим даврда эса орттиради, база токи  $I_б$  кучайтириляётган сигнал билан қарама-қарши фазада бўлади. Сигналнинг кучайиш қонуни  $I_к = \beta \cdot I_б$  га биноан чиқишдаги кучланиш истемолчининг қаршилигига боғлиқ, яъни  $U_{чик} = I_к \cdot R_н$ .

Ҳозирги вақтда электрон схемаларда биполяр, яъни икки қутбли транзисторлар билан бир қаторда майдонли ёки бир қутбли транзисторлар кенг ишлатилади. Улардаги ток фақат бир ишорали заряд ташувчилар (электронлар ёки каваклар) ҳисобига ўтади. Шундай транзисторлардан ўтаётган токнинг миқдори шу ток ўтаётган каналнинг ўтказувчанлиги билан аниқланади. Бир қутбли транзисторлар икки қутблиларга қараганда содда ва арзон бўлади.



15.17-расм.

Бир қутбли транзисторлар биринчи марта 1952 йилда В. Шокли томонидан яратилган ва кейинчалик бир неча бор қайта ишлаб чиқилган. Улар каналнинг турига қараб 1)  $p-n$  ўтишли, 2) ичига ўрнатилган каналли ва 3) индукцияланган каналли транзисторларга бўлинади. Иккинчи ва учинчи турдаги транзисторлар МОП (металл-оксид-ярим ўтказгич) ёки МДП (металл-диэлектрик-ярим ўтказгич) транзисторлар деб аталади. МДП транзисторнинг тузилиши 15.17-расм, а да, схематик белгиланиши эса 15.17-расм, б да ва, ниҳоят, чиқиш характеристикалари 15.17-расм, в да кўрсатилган.

Транзисторнинг заряд ташувчилар ҳаракати бошланувчи электроди чиқиш, улар етиб борувчи электроди кириш электроди деб аталади. Транзисторнинг заряд ташувчилар оқиб ўтадиган қисми канал дейилади. Канал четида затвор деб аталувчи металл электрод жойлашади. Затвор ва ярим ўтказгич бир-биридан юпқа кремний оксиди қатлами билан ажратилган бўлиб, каналнинг қаршилиги каттадир. Транзистордан ток ўтишини каналдаги сув оқимига қиёслаш мумкин. Манбадан оқиб келаётган сув тўғондан ўтади. Тўғон тамбаси юқорироқ кўтарилса, тўғондан кўпроқ сув ўтади, тамба пастроқ туширилса, сув оқими камаяди, тамба бутунлай ёпиб қўйилса, сув ўтолмайди. Каналнинг қаршилигини ўзгартирувчи тамба сифатида  $U_{з.н.}$  кучланиш ишлатилади.

$U_{з.н.}$  кучланиш нолга тенг бўлса,  $U_{с.н.}$  кучланиш қандай бўлишидан қатъи назар, канал қаршилиги катта бўлади. Ток  $I_c$  транзистордан ўтмайди. Затворга (тамбага) мусбат кучланиш берилганида каналнинг диэлектрикка яқин қисмида ток ўта бошлайди.  $U_{з.н.}$  кучланиш орттирилса, каналнинг ток ўтказувчи қисми кенгайди, транзисторнинг чиқиш қаршилиги камаяди.

Бир қутбли транзисторнинг чиқиш характеристикаси  $I_c = f(U_{с.н.})$  электрон лампалар характеристикасига ўхшайди (15.17.-расм). Бир қутбли транзисторнинг кириш қаршилиги  $10^{12} \div 10^{14}$  Омга кириш электроди—затвор характеристикасининг тиклиги  $0,3 \div 7$  мА/В, кириш токи 50 мА ва кириш-чиқиш кучланиши 50 В гача бўлади.

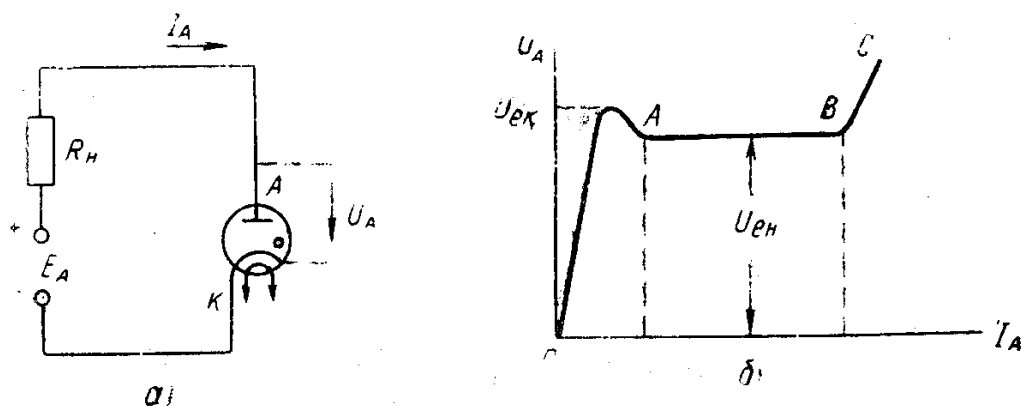
Бир қутбли транзисторлар икки қутбли транзисторлар каби уч хил схема бўйича уланади: умумий оқавали (УО), умумий бошли (УБ), умум тамбали (УТ).

### 15.3. ИМПУЛЬС БИЛАН БОШҚАРИЛАДИГАН ЭЛЕКТРОН ВА ЯРИМ УТКАЗГИЧ ДИОДЛАР. ГАЗОТРОН, ТИРАТРОН, ТИРИСТОР

Электрвакуум асбобларнинг махсус категориясини ионит ёки газ тўлдирилган электрон лампалар (газотронлар, игни-тронлар, тиратронлар, симоб колбалар ва б.) ташкил қилади. Термоэлектрон эмиссияли электрон асбоблардан фарқ қилиб, бу лампаларда анод ва катод орасидаги асосий заряд ташувчилар сифатида электронлар эмас, балки бу асбобларга тўлдирилган газларнинг ионлари хизмаг қилади. 15.18- расм, *а* да газ тўлдирилган электрон асбоб — газотроннинг схемаси, *б* да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган.

Асбоб икки электродли лампа бўлиб, ҳавоси сўриб олинган ва ўрнига газ тўлдирилган баллонга анод ва катод кири-тилган. Тўлдирувчи газ сифатида симоб буғлари, ксенон, криптон, неон, гелий ва бошқалар ишлатилади.

Аноднинг ишчи токини ҳосил бўлишидан олдин унча катта бўлмаган термоэлектрон эмиссия токи ҳосил бўлади. Бу ток анод томон йўналган электронлар оқими бўлиб, ўз йўлида газ атомлари билан тўқнашади. Натижада атомлар ионланади, яъни улардан электронлар ажралиб чиқиб, мусбат ионлар ҳосил бўлади. Ҳосил бўлган ионли қалин булут анод ва катод орасидаги потенциал тўсиқни камайтириб, электрон эмиссия токидан юқори бўлган, разряд токини ҳосил қилади. Анод ва катод орасидаги бўшлиқ газнинг ҳосил бўлган мусбат ионлари ва электронлар туфайли электр ўтказувчан бўлиб қолади, яъни ток ўтказувчи плазма ҳосил бўлади. Газ йўқотган электронларнинг ўрни манфий зарядланган катод ҳисобига тўлдирилиб, катод сиртида мусбат ионлар рекомбинацияси рўй беради. Актив рекомбинация жараёни газнинг гунафша нурланиши билан содир бўлади.



15.18- расм.

Бу ҳодисалар ионли асбобнинг ёниш жараёнини аниқлаб беради. Лампа анод ва катод орасидаги кучланишнинг маълум қиймати  $U_A = U_{\text{ёк}}$  да ёнади (ионланиш жараёни бошланади). Шундан кейин кучланиш  $U_A = U_{\text{ён}}$  гача камаяди (15.17- расм, б). Лампадаги кучланишнинг пасайиши  $15 \div 20$  В га тенг бўлади. Газотронларнинг иш токлари  $5 \div 10$  А лигини ҳисобга олиб, асбобнинг ички қаршилиги  $-2 \div 5$  Ом эканлигини аниқлаймиз. Иш токлари ўн ва юз амперга тенг бўлган катта қувватли ионли лампалар (симобли колбалар, ингитронлар) ҳам бор.

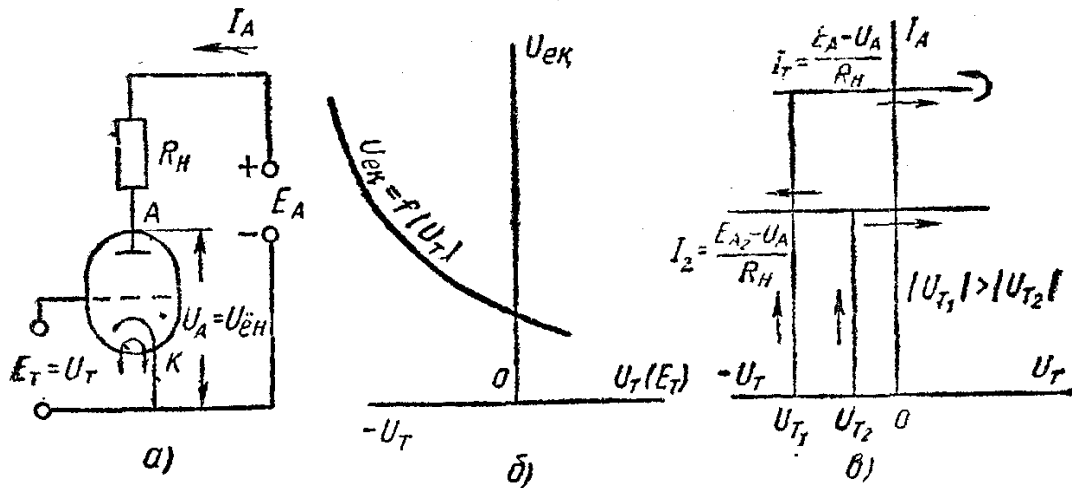
Газотрон характеристикасидан (15.18- расм, б) манба кучланиши  $E_A$  ортиши ҳисобига ток ортади ва  $U_{\text{ён}}$  бир хил бўлган оралиқ  $AB$  ҳам кенгайди,  $AB$  оралиқдан кейин токнинг ортиши тўхтайдди, чунки ионланиш жараёни тугайди, дегаи хулоса келиб чиқади. Токнинг кейинги ортиши анод кучланишининг анча ортиши ( $BC$  оралиқ) ва асбобнинг ички физик ҳамда химиявий структурасининг тузилиши билан боғлиқ. Ионли асбобнинг токини ЭЮК  $E_A = \text{const}$  бўлганида истеъмолчи қаршилиги  $R_H$  ни ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин.

Анод ва катоддан ташқари бошқарувчи тўрға эга бўлган уч электродли ионли асбоб *тиратрон* дейилади 15.19- расм, а да тиратроннинг схематик тасвири, расм б да ишга тушириш характеристикаси ва ниҳоят, расм, в да анод-тўр характеристикаси кўрсатилган. Тўр конструкцияси ва физик хусусиятлари бўйича электрон триод тўридан жуда фарқ қилади: тўр, диск ёки бўйлама тешикли қалин цилиндр шаклида қилиниб, қиздирилган катоддан чиқаётган электронлар оқимини *блокировка* қила олади; тўр фақат ионизациянинг бошланишини бошқаради ва лампа ёнганидан кейин анод токини бошқариб бўлмайди.

Тўрға  $U_T < 0$  бўлган манфий кучланиш берилади. Бу кучланиш  $U_A = E$  анод кучланишида катоддан чиққан электронлар оқимини катод атрофида ушлаб қолади. Электронлар оқими анод томон ўта олмайди. Газ эса ионизацияланмайди. Анод кучланиши ўзгармаган ҳолда манфий тўр кучланишининг қиймати камайтирилганда лампа ёнади ва ундан маълум миқдордаги ток  $I_A = \frac{1}{R_H} (E_A - U_{\text{ён}})$  ўтади.

Анод кучланиши  $E_A$  нинг (ёниш кучланиши) ҳар бир қийматига тўр кучланиши (ишга тушириш кучланиши)нинг бирор қиймати мос тушади (15.19- расм, б). Расмда кўрсатилган график  $U_{\text{ёк}} = f(U_T)$  тиратроннинг *ишга тушириш характеристикаси* дейилади.

Лампа ёнганидан кейин анод занжирида ўзгармас анод токи  $I_A = \text{const}$  вужудга келади ва унинг қиймати тўр кучланиши  $U_T$  нинг ишораси ҳамда қийматига боғлиқ бўлмайди (15.19-

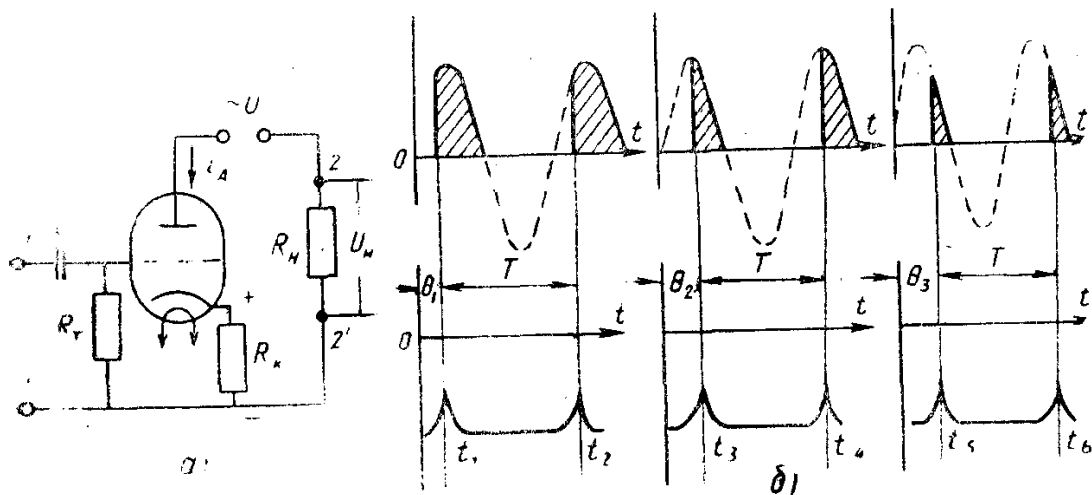


15.19- расм.

расм, в). Тиратрон ишга туширилганда унинг тўртини мусбат ионлар булути ўраб олади ва тўрнинг таъсирини йўқотади. Тўрнинг бошқарини хусусияти анод кучланиши узилгандан кейингина қайта тикланади. Шунинг учун тўр анод кучланиши мусбат бўлганида фақат ёқиш вақтидагина бошқарув вазифасини бажара олади. Ўзгарувчан синусоидал токни тўғри-лашда тиратроннинг тўри тўғриланаётган токнинг қийматини текис бошқара олади, чунки ҳар бир анод кучланишининг манфий ярим даврида ионлар тўлиқ рекомбинацияланиб, асбоб янги ёниш жараёнига тайёрланишга улгуради.

Тўғриланган  $U_A = I_A \cdot R_H$  кучланишининг қийматини тиратрон тўрига мусбат даврий импульслар бериш йўли билан бошқариш схемаси 15.20-расмда кўрсатилган. Тиратроннинг тўрига  $U_T < 0$  кучланиш берилганда тиратронга берилаётган синусоидал кучланиш  $u = U_m \sin \omega t$  нинг амплитуда қиймати ўтказмайди.

15.20-расмда тиратронга мусбат даврий импульслар бериб,



15.20- расм.

тўғрилланган токни бошқариш (а) ва асбобни турли бошланғич фазалар  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  да ёндириш графиклари кўрсатилган.

Энди белгиланган  $t_1$  вақтда тиратроннинг тўрига мусбат кучланиш импульсини берамиз. У ёнади ва  $(T/2 - \theta_1)$  вақт ичида  $i_a$  анод токини ўтказди. Агар импульслар частотаси тўғриланаётган токнинг частотасига мос тушса  $f = \frac{1}{T}$  бўлади,

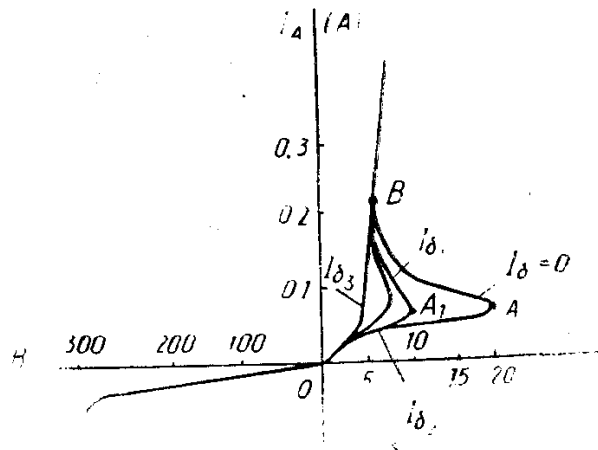
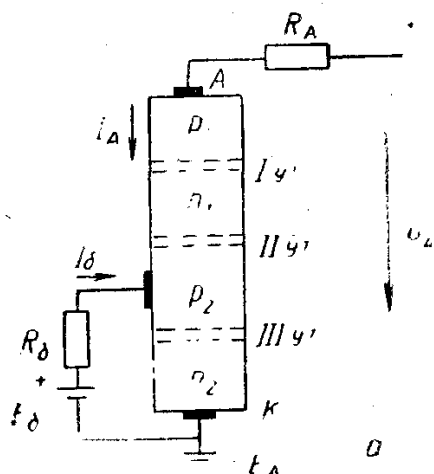
бунда  $t_2 = t_1 + T$  вақтда тиратрон яна ёнади ва тўғриланиш жараёни такрорланади.

Тўғриланаётган токнинг талаб этилган ўртача қийматига қараб тиратронга  $t_1 \div t_2, t_3 \div t_4$  ёки  $t_5 \div t_6$  вақтларда импульс берилиши мумкин. Бу вақтда ёндиришнинг бошланғич фазалари  $\theta_1, \theta_2$  ёки  $\theta_3$  га тенг бўлади. Тўғриланаётган ўзгарувчан токнинг бундай бошқарилиши импульс бошқарилиш дейилади ва ўзгармас токнинг катта импульс қувватли истеъмолчиларини текис бошқарилувчи кучланиш билан таъминлашда ишлатилади.

Ярим ўтказгичли тиристор тиратрон каби ишлайди. Тиристор—тўрт қатламли, уч „ $P_1 - n_1$ “, „ $n_1 - P_2$ “, „ $P_2 - n_2$ “ ўтишли ярим ўтказгич асбоб (15.21-расм).

15.21-расм, а да бошқариладиган ярим ўтказгичли диодтиристорнинг схемаси, расм, б да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган. Биринчи ва учинчи ўтишларга манбанинг ЭЮК  $E_A$  си тўғри уланади ва бу ўтишлар эмиттер ёки *катод* ўтиши дейилади. Манбанинг мусбат қутбига уланган контактлар *анод* деб аталади. Ўртадаги „ $n_1 - P_2$ “ (иккинчи) ўтиш коллектор ўтиши;  $P_2$  қатламга уланган электрод *бошқарувчи электрод* деб аталади.

Анодга катодга нисбаган мусбат кучланиш уланганида биринчи ва учинчи ўтишлар очиқ бўлиб, уларнинг қаршилиги кичик. Демак,  $U_A$  кучланиш асосан „ $n_1 - P_2$ “ ўтишга берилган бўлиб, бу ўтиш учун тескаридир. Ўтишнинг тескари кучланишга қаршилиги катта бўлгани учун  $I_A$  токнинг қиймати кичик. Анод кучланишини орттирсак ҳам анод токи деярли ўзгармайди (15.20-б расм, ОА қисми).  $U_A$  кучланиш критик деб аталувчи маълум бир қийматга эришганида (А нуқта) „ $n_1 - P_2$ “ ўтиш тешилади, заряд ташувчилар сони кўчкисимон ортади, ўтишнинг қаршилиги кескин камаяди, анод кучланиши ва ток кескин кам аяди (15.21-расм, б, АВ қисми), кучланиш ва токнинг қийматлари кейинчалик ВС чизиқ бўйича ўзгаради. Тиристорларда тешилиш асбоб структурасини бузилишига олиб келмайди ва ўтишнинг қаршилиги анод кучланиши ўчирилганидан сўнг жуда тез (10—20 микросекунддан кейин) қайга тиклинади. Агар „ $P_2 - n_2$ “ ўтишга қўшимча  $E_6$  бошқарувчи кучланиш берсак, „ $n_1 - P_2$ “ ўтишнинг тешилиш шартлари ўзгаради.  $E_6$  кучланиш таъсирида  $E_A$  кучланишга боғлиқ бўлмаган  $I_6$  токи ўтади. Бу ток „ $P_1 - n_1$ “ ўтишда электронлар ва каваклар инжекциясини кучайтиради ва „ $n_1 - P_2$ “ ўтишнинг қаршилиги камайи-



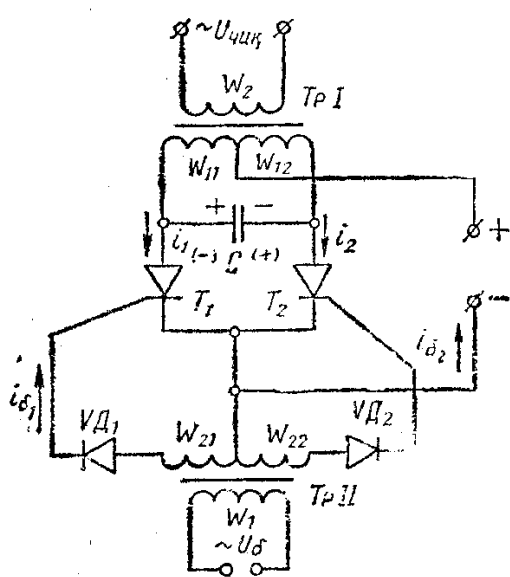
15.21-расм.

шига олиб келади. Тешилиш кучланиши камаяди ва тиристор  $U_A$  кучланишнинг кичикроқ қийматида очилади ( $A_1$  нуқтаси, 15.21-расм, б). Бошқарувчи токи  $I_\delta$  қанча катта бўлса, тиристордан ток ўтишини таъминловчи  $U_A$  кучланиш шунча кичик бўлади.

Агар тиристорга кучланишни тескари уласак (манфийсини анодга, мусбатини катодга), „ $n_2 - p_2$ “ ва „ $n_1 - p_1$ “ ўтишлар тескари, „ $p_2 - n_1$ “ ўтиш тўғри уланади. Икки тескари уланган ўтишнинг тешилиш кучланиши тўғри уланган ўтиш кучланишидан ўн мартага яқин катта бўлади.

Тиристорнинг қўлланишини берилган частотадаги даврий импульслар ҳосил қилувчи кучланишнинг автоном инвертори (КАИ) мисолида кўриб чиқамиз.

Ўзгармас кучланишни аниқ частотадаги ўзгарувчан синусоидал кучланишга айлантирувчи қурилма *инвертор* деб аталади. Энг оддий кучланиш инвертори иккита чулғамли трансформатор ( $T_p - 1$  ва  $T - 2$ ) орқали даврий  $U_\delta$  кучланиш ёрдамида бошқариладиган  $VT_1$  ва  $VT_2$  икки тиристор ва доимий ЭЮК  $E_0$  дан иборат (15.22-расм).



15.22-расм.

15.22-расмда кучланиш автоном инверторининг схемаси кўрсатилган.

Дастлабки ҳолатда иккала тиристор ёпиқ ва конденсатор  $C$  зарядланмаган  $t = t_0$  вақтда трансформатор  $T_p - 2$  нинг  $W_1$  бирламчи чулғамига ўзгарувчан бошқарув кучланиши  $u_\delta = U_{\delta m} \sin \omega t$  берилади. Кучланишнинг ўзгариш частотаси  $\omega$ . Шу сигнал биринчи ярим тўлқини  $VD_1$  диод орқали ўтиб,  $i_\delta$

бошқарув токини ҳосил қилади ва  $VT_1$  тиристорни очади. Ўз навбатида, бу асосий манба  $E_0$  дан биринчи трансформаторнинг бирламчи чулғамининг чап қисмидаги  $W_2$  тиристор  $VT_1$  орқали  $i_1$  токи ўтишига олиб келади. Бу ток трансформаторнинг ўзагида магнит оқимини ҳосил қилади. Магнит оқими трансформаторнинг ҳамма чулғамлари ( $W_{11}$ ,  $W_{12}$  ва  $W_2$ ) да ЭЮК ни индукциялайди.  $W_{11}$  ва  $W_{12}$  чулғамларнинг натижавий ЭЮК, тахминан  $2E_0$  га тенг. Очиқ тиристорнинг қаршилиги  $R_T \cong 0$  лигини ҳисобга олиб, манбанинг ЭЮК  $E_0$   $W_{11}$  чулғамга берилганлигини кўраимиз. Шундай қилиб, конденсаторнинг қисмаларида ҳам  $U_c = 2E_0$  кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш таъсирида конденсатор тиристор  $VT_1$  очик бўлган вақт ичида зарядланади.

$U_6$  кучланишнинг йўналиши ўзгариши билан тиристор  $VT_1$  ёпилади, тиристор  $VT_2$  диод  $VD_2$  орқали  $i_{o_2}$  ток ўтиши ҳисобига очилади. Асосий манба  $E_0$  занжирида тиристор  $VT_2$  ва  $W_{12}$  чулғам орқали  $i_2$  ток ўтади.  $W_{12}$ ,  $W_{11}$  ва  $W_2$  чулғамларида бу ток  $i_1$  токини ҳосил қилган ЭЮК тескари йўналишдаги ЭЮК ни ҳосил қилади. Инверторнинг чиқишидаги  $U_{\text{чик}}$  кучланишнинг йўналиши ҳам тескарига ўзгаради. Тескари қутбланишдаги кучланиш таъсирида конденсатор бирламчи чулғамнинг  $W_{11}$  ва  $W_{12}$  қисмлари орқали қайта зарядланиб, инвертордан кучланишни оширади. Ток  $i_{o_2}$  нолга тенг бўлганида  $i_{o_1}$  токи пайдо бўлиб, цикл давом этади. Чиқиш кучланишининг частотаси  $f_{\text{чик}}$  бошқарувчи кучланишнинг частотаси билан аниқланади.  $U_6$  сигнални ҳосил қилиш учун ярим ўтказгичлар асосида йиғилган кичик қувватли автогенератор ишлатиш мумкин.

#### 15.4. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Ҳозирги фан-техника тараққиёти саноатда ЭҲМ, автоматлаштирилган системаларнинг ишлатилиши билан боғлиқ. ЭҲМ ва бундай системалар жуда кўп мураккаб электрон элементларни ўз ичига олади. Элементлар кўпайган сари системанинг ишончлилиги, унинг элементларининг уланиш пухталиги камая боради. Бунда системанинг ўлчамлари ҳам ортиб боради. Шу масалаларни ҳал қилиш йўлидаги изланишлар асримизнинг 60-йилларида электрониканинг яна бир соҳаси—микроэлектрониканинг вужудга келишига сабаб бўлди. Микроэлектроника ўта кичрайтирилган электрон блокларни ва қурилмаларни яратиш ва ишлатиш билан шуғулланади.

Микроэлектрониканинг асосий элементи интеграл микросхема—ИМС (*integer*—бутун, чамбарчас боғлиқ) дир.

Конструктив тугалланган, маълум функцияни бажарувчи, бир технологик жараёнда ҳосил қилиниб, бир-бири билан электр жиҳатдан боғланган элементлардан ташкил топган кичик қурилма *интеграл микросхема дейилади.*



ИМС (интеграл микросхема) кремний кристалл ёки пластинкасида ҳосил қилинган ва бир-бири билан схемага уланган транзистор, диод, резистор ва бошқалардан иборатдир.

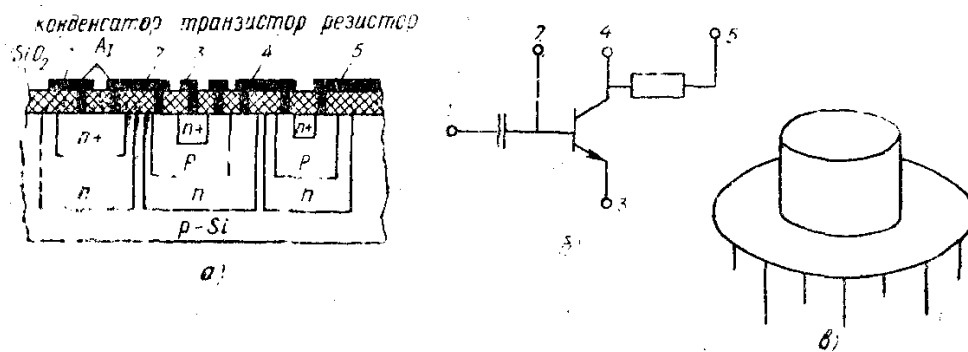
Бажарилишига қараб ИМС лар ярим ўтказгичли, гибрид ва бирлаштирилган ИМС ларга бўлинади. Ярим ўтказгичли ИМС да кремний пластинкасининг айрим жойлари турли элементлар (транзистор, резистор, конденсатор ва бошқалар) вазифасини бажаради. Актив элементлар — транзисторлар бўлиб, уларнинг турига қараб ярим ўтказгичли ИМС лар биполяр ёки МДЯ (металл, диэлектрик, ярим ўтказгич) микросхемаларга бўлинади. Биполяр микросхемада транзистор, уч қатламли диод, икки қатламли структура (конденсатор) вазифасини тескари уланган  $p-n$  ўтиш, резистор вазифасини  $p$ -типдаги юпка по юса бажаради. МДЯ микросхемаларда, асосан, индукцияланган каналли бир қутbli транзисторлар ишлатилади.

Ҳар бир элементнинг эгаллаган жойи микрометрлар билан ўлчанади. Элементлар бир-бири билан қисман пластинка ичида, қисман сиртдаги металл йўлакчалар орқали боғланади (15.23-расм).

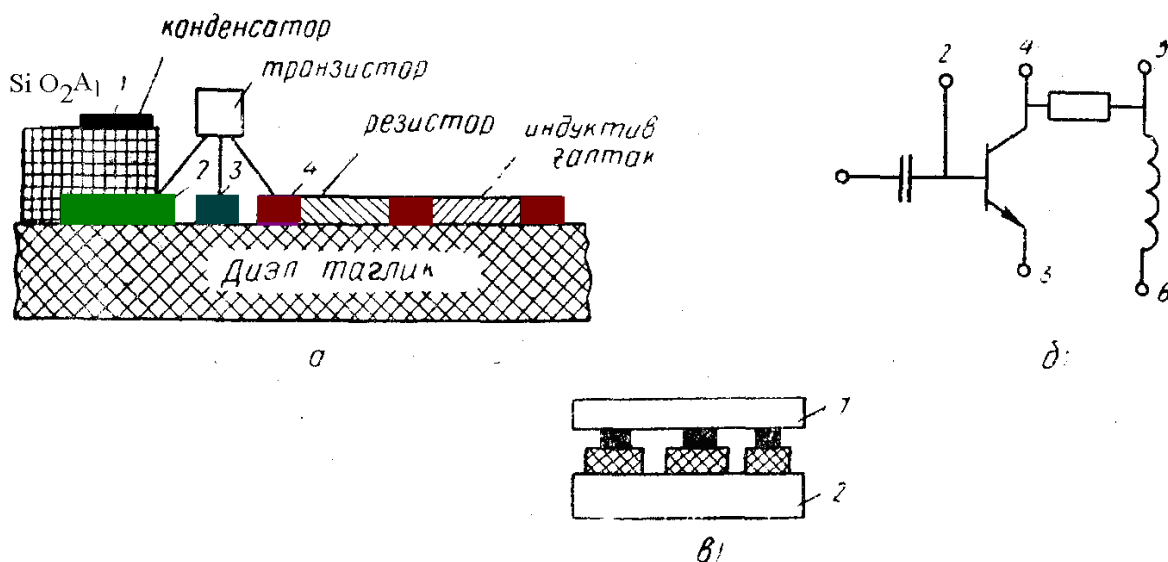
Бир технологик жараёнда бир неча минг микросхема ҳосил қилинади. Микросхема учун 0,2 — 0,3 мм қалинликдаги, диаметри 30 — 50 мм бўлган кремний пластинкаси олинади. Битта пластинка асосида 300—500 микросхема ҳосил қилинади.

15.23-расм, *a* да ярим ўтказгичли ИМС нинг конструкцияси, расм *b* да эса схемаси ва, ниҳоят, расм *в* да умумий кўриниши берилган.

Ярим ўтказгичли ИМС ларда транзистор ва диодлар яхши характеристикаларга эга. Пассив элементлар, конденсатор, резисторларнинг номинал параметрлари эса чегараланган ( $C = 50-400$  пФ гача,  $R = 10-30$  кОм гача) бўлади. Бу элементлар параметрларининг ўзгариши 20% ни ташкил қилади. Пассив элементларнинг параметрлари аниқ бўлиши учун гибрид ИМС лардан фойдаланилади. Гибрид ИМС лар плёнкали пассив элементлар ва корпуссиз транзистордан ташкил топган бўлади. Олдин диэлектрик таглик (шиша, сопол) да пуркаш йўли билан актив қаршилиқ, конденсатор ва элементлараро уланишлар ҳосил қилинади, бунда ҳосил бўлган плёнка қалинлиги  $10^{-6}$  м бўлади. Сўнг термокомпрессион пайвандлаш



15.23-расм.



15.24- расм.

й ўли билан транзисторлар контакт майдончаларга пайвандланади (15.24-расм).

15.24-расм, *а* да гибридли ИМС нинг тузилиши, *б* да схемаси, *в* да эса умумий кўриниши берилган.

Бирлаштирилган ИС ларда ярим ўтказгич ҳажмида актив элементлар ҳосил қилиниб, пассив элементлар пуркаш йўли билан плёнка шаклида ҳосил қилинади. Бир микросхема ўз ичига олган элементлар сонига қараб унинг интеграция даражаси аниқланади. Агар элементлар сони 100 гача бўлса, бундай ИС (интеграл схема) лар базавий элементлар сифатида кўпайтириш мантиқий операцияларни бажариш учун ишлатилади.

$10^2$ — $10^3$  элементга эга бўлган ИС лар ўрта даражали (ЎДИС) интеграцияга эга. Счётчик, регистор, дешифратор ва бошқа мураккаб функционал вазифаларни бажара олади.

Элементлар сони  $10^3$ — $10^4$  гача бўлса, микросхема юқори даража интеграцияли (КИС) бўлади ва турли инженерлик ҳисобларни бажара олувчи калькулятор сифатида ишлатилади.

Элементлар сони  $10^4$ — $10^6$  гача бўлса, микросхема ўта юқори даражали интеграцияга эга (ЎЮДИС). Улар кўп ишловчи микропроцессорлар сифатида ишлатилади.

Иш режимига қараб ИМС лар аналогли ва рақамли ИМС ларга бўлинади.

Аналогли ИМС лар узлуксиз электр сигналларни ўзгартириш ва қайта ишлаш учун мўлжалланган. Улар генераторлар, кучайтиргичлар ва бошқа қурилмалар сифатида ишлатилади. Рақамли ИМС лар асосан мантиқий элементлар сифатида ишлатилади.

ИМС лар қуйидаги афзалликларга эга:

1) жуда ишончли; 2) ўлчамлари ва массаси кичик (бир

неча граммдан ортмайди); 3) тез ишга тушади; 4) кам қувват истеъмол қилади.

Асосий камчилиги чиқиш қуввати камлигидир.

Интеграл микросхемаларнинг ГОСТ бўйича белгиланишидаги К ҳарфи кенг қўлланишга мўлжалланганлигини кўрсатади. Бу ҳарфдан кейинги рақам ИМС нинг конструктив технологик бажарилишини кўрсатади: агар 1, 5, 7 бўлса, ярим ўтказгичли, 2, 4, 6, 8 бўлса, гибридли бўлади. Бу рақамдан кейин сериянинг номерини кўрсатувчи икки хонали рақам (00 дан 99 гача) бўлади. Рақамлардан кейинги ҳарфлар микросхеманинг функционал вазифасини кўрсатади (УН — кучланиш кучайтиргичи, ЛЭ — мантиқий элемент, УД — дифференциал кучайтиргич). Охиридаги рақам серияли ишлаб чиқариш номерини кўрсатади.

### 15.5. ФОТОЭЛЕКТРОН АСБОБЛАР

Электрон схемаларда фотоэлектрон асбоблардан кенг фойдаланилади. Уларнинг ишлаши фотоэффектга, яъни электромагнит нурланиш таъсирида электрон эмиссия ҳосил бўлишига асосланган. Фотоэффект 1886 йилдан бошлаб ўрганила бошлаган. Рус олими А. Г. Столетов фотоэлектрон эмиссия туфайли ҳосил бўлган ток  $I_{\phi}$  ва мазкур ток келтириб чиқарувчи нур оқими орасидаги боғланишни аниқлади:

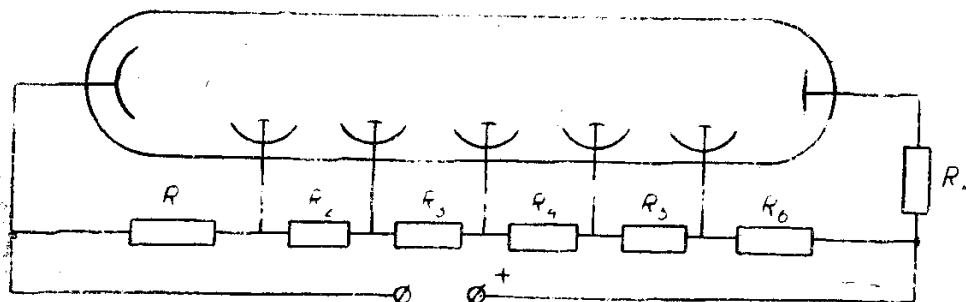
$$I_{\phi} = S \cdot \Phi,$$

бу ерда  $S$  — фотокатоднинг сезгирлиги, мкА/лм;  $\Phi$  — ёруғлик оқими, лм.

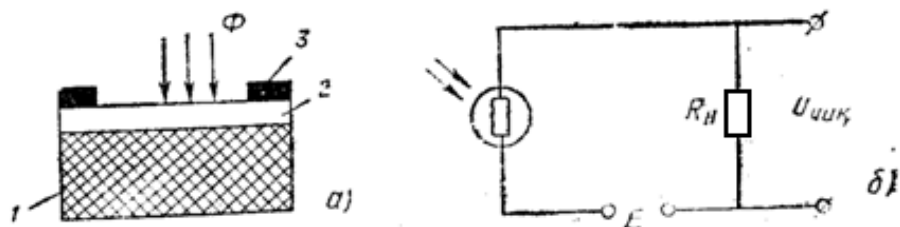
1905 йилда А. Эйнштейн фотон энергияси ( $h\nu$ ) электроннинг чиқиш ишига сарфланган энергия ( $W_0$ ) ва унинг кинетик энергияси ( $0,5 mv^2$ ) га сарф бўлишини аниқлади:

$$h\nu = W_0 + \frac{mv^2}{2}.$$

Фотоэлектрон асбоблар, ёруғлик таъсирида ўзидан электронларни чиқарувчи фотокатод ва аноддан иборатдир. Ташқи фотоэффект қўлланилган фотоэлектрон асбоб фотоэлектрон кучайтиргичнинг (ФЭК) ишлашини кўриб чиқамиз (15.25-расм).



15.25- расм.



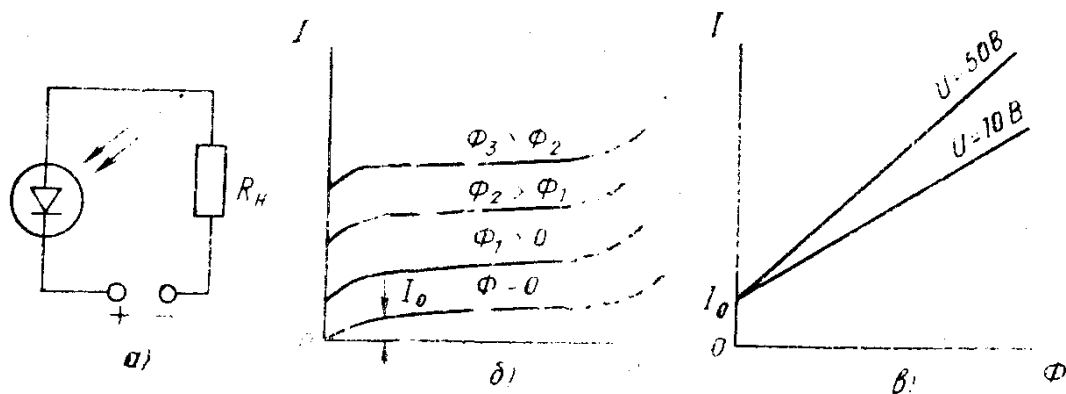
15.26- расм.

Ёруғлик оқими туфайли фотокатод (ФК) дан электронлар учиб чиқади. ФЭК да ҳосил бўлган фототок  $I_\phi$  иккиламчи эмиссия туфайли кучайтирилади. ФК дан учиб чиққан электронлар фотокатодга нисбатан мусбат потенциалга эга бўлган, *динод* деб аталувчи электрод ( $D_1$ ) томон ҳаракатланади ва фототок  $I_\phi$  ни ҳосил қилади. Бу ток  $D_1$  дан иккиламчи электронларни уриб чиқаради. Бу электронлар сони бирламчи электронлар сонидан  $\sigma$  марта каттадир ( $\sigma$  — диноднинг иккиламчи эмиссия коэффициенти). Иккиламчи электронлар  $I_1 = \sigma I_\phi$  токни ҳосил қилади. Бу ток мусбат потенциали биринчи динодникидан юқорироқ бўлган иккинчи динод ( $D_2$ ) га келиб, унда яна иккиламчи эмиссия туфайли  $I_2 = \sigma I_1 = \sigma^2 I_\phi$  токни ҳосил қилади. Ўз навбатида,  $I_2$  токи ўзидан юқорироқ мусбат потенциалли динод ( $D_3$ ) да  $I_3 = \sigma I_2 = \sigma^3 I_\phi$  токни ҳосил қилади ва ҳоказо. Сўнгги  $n$ - динод ( $D_n$ ) дан  $I_n$  ток анод томон ўтади. Бунда анод токи  $I_a = I_n = \sigma^n I_\phi$  бўлади.

ФЭК ларда фототокнинг кучайтириш коэффициенти  $K_I = \sigma^n$  га тенг бўлади.

ФЭК лар кам инерцион бўлиб, юқори частоталарда ишлатилиши мумкин. Улардан астрономия, фототелеграфия, телевиденида ёруғлик нури импульсларини ҳисобга олиш, кичик ёруғлик оқимларини ўлчаш ва спектрал анализда фойдаланилмоқда.

Ярим ўтказгичларда нурланиш таъсирида заряд ташувчилар жуфти (электрон ва каваклар) нинг ҳосил бўлиши кузатилади ва бу ҳодиса *ички фотоэффект* дейилади. Фотонлар таъсирида ҳосил бўлган қўшимча ўтказувчанлик *фотоўтказувчанлик* деб аталади. Масалан, кадмий сульфиди ёки кадмий селенидидан тейёрланган ярим ўтказгичли қаршилик нурлакиш таъсирида ўз қаршилигини ўзгартиради. Бундай қаршилик *фоторезистор* деб аталади. 15.26- расм, *а* да фоторезисторнинг тузилиши, *б* да уланиш схемаси, *в* да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган. Диэлектрик таглик (1) га ярим ўтказгич (2) нинг юққа қатлами суртилган. Ярим ўтказгич контактлар (3) ёрдамида манбага уланади. Ёруғлик нури тушмаганда фоторезисторнинг қаршилиги катта ( $R_k \leq 10^4 \div 10^7$  Ом) бўлиб, *қоронгилик қаршилиги* дейилади. Занжирдан эса қиймати жуда кичик бўлган қоронгилик токи ўтади. Агар шу ярим ўтказгичга ёруғлик оқими тушса, фотонлар энергияси



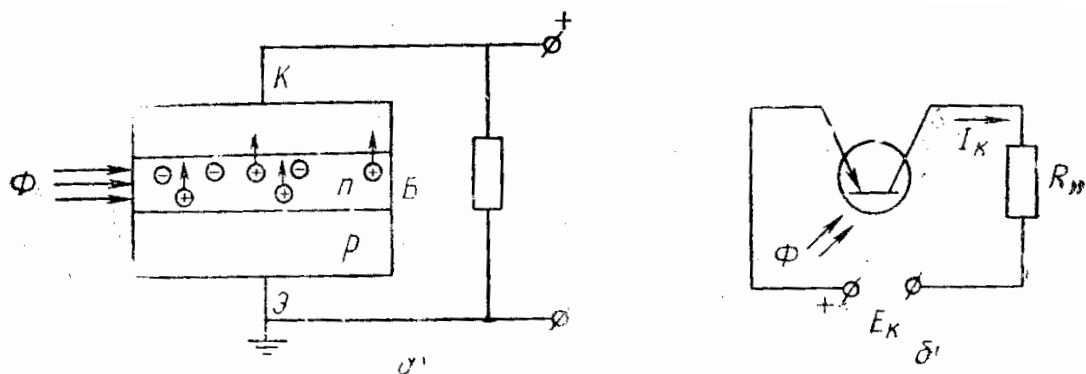
15.27- расм.

таъсирида заряд ташувчилар генерацияси юзага келиб, қаршилиқ камаяди ва занжирдан ўтувчи ток ортади. Фоторезисторлар вентиль хусусиятига эга эмас, яъни токни иккала йўналишда ҳам ўтказа олади. Фоторезисторлар, асосан, автоматик схемаларда ишлатилади

Фотодиод бир ( $p-n$ ) ўтишли фотоэлектрик асбобдир (15.27-расм). Улар оддий диодлар каби токни бир йўналишда ўтказишади. Лекин ёруғлик оқими ёрдамида уларнинг тескари токини ҳам бошқариш мумкин. Бунда электрон-кавакли ўтиш жойига ва унга яқин соҳага ёруғлик оқими таъсир қилади. Натижада заряд ташувчилар жуфти генерацияланиб, диоднинг тескари ўтказувчанлиги ва тескари токи ортади. Фотодиоднинг вольт-ампер характеристикаси (15.27-расм, б) умумий база билан уланган биполяр транзисторнинг чиқиш характеристикасини эслатади. Ёруғлик оқими йўқлигида фотодиоддан оддий бошланғич тескари ток  $I_{тес}$ , яъни қоронғилик токи ўтади (15.27-расм, б — в). Ёруғлик оқими таъсир этганда диоддаги ток ортади. Оқим қанча катта бўлса, ток ҳам шунча катта бўлади. Диодга таъсир этувчи тескари кучланишнинг ортиши токнинг қийматига деярли таъсир этмайди. Бироқ маълум кучланишда тешилиш юз беради (характеристикадаги узиқ чизиқлар). Фототокнинг қиймати, асосан, ёруғлик оқимига пропорционалдир. Кремнийли фотодиодларнинг сезгирлиги 3 мА/лм, германий фотодиодларники 20 мА/лм га етади.

Фототранзистор икки  $p-n$  ўтишли, уч қатламли ярим ўтказгич бўлиб, ёруғлик энергияси таъсирида фототокни кучайтириш учун хизмат қилади. Фототранзисторнинг тузилиши оддий ясси транзисторнинг тузилишига ухшайди (15.28-расм).

Фототранзистор икки хил (уланмаган базали ва умумий эмиттерли) схема бўйича уланиши мумкин. Ёритилган базада бўш электронлар ва каваклар ҳосил бўлади, Каваклар базада ёрдамчи ташувчи вазифасини ўтаб, коллектор ўтишида коллекторга тўртиб олинади ва коллектор занжирда фототок ҳосил қилади. Электронлар эмиттер ўтишидаги потенциал тўсиқни камайтирувчи ҳажмли зарядни ҳосил қилади. Эмиттер



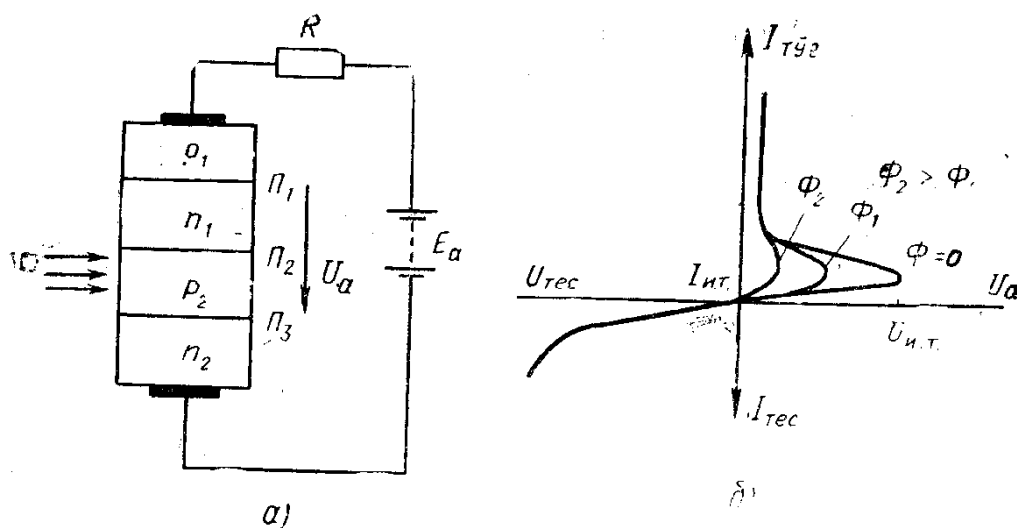
15.28- расм.

ўтиши очилиб, каваклар базадан коллекторга ўтади ва фотодиод токидан  $\beta$  марта катта бўлган қўшимча коллектор токини ҳосил қилади. Истеъмолчидаги умумий ток қоронғилик токи  $I_{\text{к0}}$ , фотодиод токи  $I_{\text{ф}}$  ва кучайтирилган фототок  $\beta I_{\text{ф}}$  ларнинг йиғиндисига тенг, яъни  $I_{\text{и}} = I_{\text{к0}} + I_{\text{ф}} + \beta I_{\text{ф}} \cong (1 + \beta) I_{\text{ф}}$ . Фототранзистор УЭ схема бўйича уланганида чиқиш токи  $I_{\text{и}}$  ни ёруғлик ва электрик сигналлар ёрдамида бошқариш мумкин. Фототранзисторлар автоматик қурилмаларда, фототелеграфияда, киноаппаратлар ва оптоэлектроникада сезгир элемент сифатида ишлатилади.

Фоторезистор учта  $p-n$  ўтишли ярим ўтказгичдир. У  $p_1 - n_1 - p_2 - n_2$  қатламлардан иборат бўлиб, оддий тиристор каби кремнийдан тайёрланади. Биринчи ва учинчи ўтишларга нисбатан кучланиш тўғри, иккинчисига нисбатан эса тескари уланади. Ёруғлик оқими таъсир этмаганда фототиристор оддий тиристор каби ишлайди. Ёруғлик таъсири бошқарувчи ток таъсири каби бўлиб, унинг оқими қанчалик катта бўлса, фототиристорнинг анод кучланиши шунчалик кичик бўлади (15.29-расм).

Юқорида кўриб чиқилган фотоэлектрон асбобларда ёруғлик оқими электр токининг фақат қийматига таъсир эта олади. Бу асбоблардан ташқари, ёруғлик оқимининг энергиясини ЭЮК га ва, аксинча, электр токини нурланишга айлантирувчи асбоблар ҳам мавжуддир. Вентиль ёки гальваник фотоэлемент нурланиш энергиясини электр энергиясига айлантириш учун хизмат қилади. Селен, кадмий сульфиди, кремнийдан тайёрланган диодлар ташқи кучланишсиз ишлаб, ёруғлик нури таъсирида ўз ЭЮК ни ҳосил қилади.

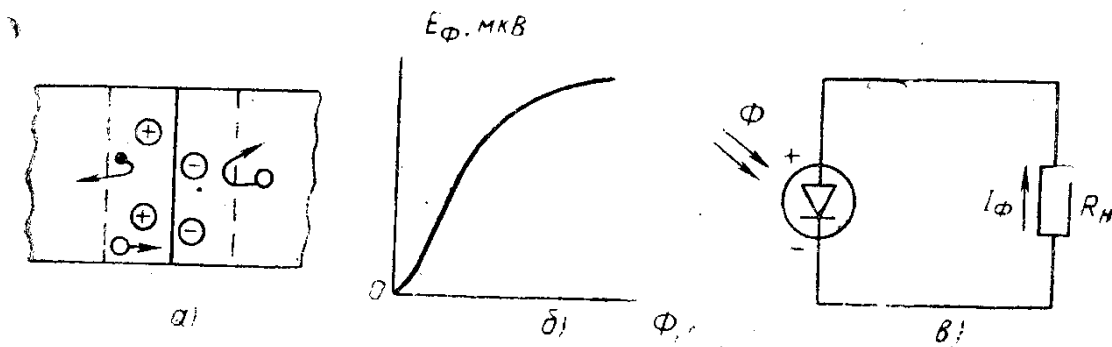
15.30-расм, *a-v* да гальваник фотоэлементнинг ёруғлик таъсирида уйғотилган заряд ташувчиларнинг  $p-n$  ўтиш майдони таъсирида ажратилиши фото-ЭЮК нинг ёруғлик оқимига боғлиқлиги ва вентиль фотоэлементнинг уланиш схемаси кўрсатилган.



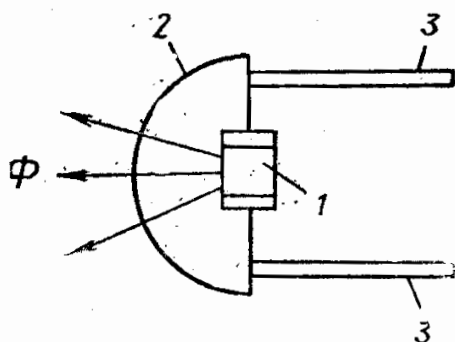
15.29- расм.

Фотонлар  $p-n$  ўтиш жойи ва унга яқин соҳага таъсир этиб, заряд ташувчилар жуфтини генерациялайди. Натижада  $p$  ва  $n$  соҳаларда ортиқча асосий заряд ташувчилар йиғилиб, фото-ЭЮК деб аталувчи потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади. Ёруғлик оқими тушиши билан фото-ЭЮК ( $E_{\phi}$ ) чизиқли бўлмаган қонун бўйича ўзгаради. Агар фотоэлемент занжирига истеъмолчи уланса, бу занжирдан фототок  $I_{\phi}$  ўтади. Ҳозирги вақтда ишлатиладиган кремнийли фотоэлементлар қуёш нурининг энергиясидан 0,4 — 0,5 В ли ЭЮК ни ҳосил гилади. Бундай элементларни ўзаро кетма-кет ва параллел улаш йўли билан қуёш батареялари ҳосил қилинади.

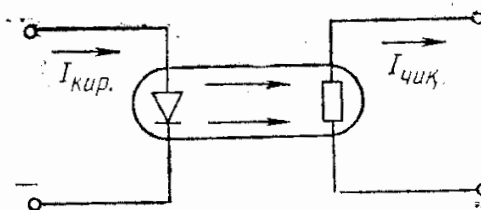
Фотогальваник элементнинг акси бўлган ёруғлик диоди электр энергиясини ёруғлик энергиясига айлантиради. Ёруғлик диоди бир нечта  $p-n$  ўтишли ярим ўтказгичдир (15.31-расм). Ундаги уйғонган электронлар тўғри уланган кучланиш таъсирида нисбатан пастроқ энергетик сатҳга ўтади ва коваклар билан кўпроқ тўқнашиб, рекомбинацияланади. Рекомбинация туфайли ҳар бир ташувчи электрон ва коваклар жуфтидан фотон ҳосил бўлади. Электрон ва коваклар кўп бўлгани учун фотонлар (ёруғлик энергияси) ажралиб чиқади. Нурланиш ран-



15.30- расм.



15.31- расм.



15.32- расм.

ги ярим ўтказгич (диод) қандай материалдан тайёрланганлигига, нурланиш равшанлиги эса диоддан ўтаётган токнинг миқдорига боғлиқ бўлади. Ярим ўтказгичлар электроникасининг ривожланаётган соҳаси бўлмиш оптик электроника ёруғлик диодлари асосида ишлайди. Оптик электроника электр токининг ярим ўтказгичларда нурга айланишини ва, аксинча, ёруғликнинг ярим ўтказгичларга таъсир қилиши натижасида электр сигналининг ҳосил бўлиш қонунларини ўрганайди. Оптик электрониканинг асосий элементи *оптрондир*. Оптрон ўзаро оптик боғланган ёруғлик манбаи ва истеъмолчидан ташкил топган. Ёруғлик манбаи кириш занжирига, ёруғлик истеъмолчиси эса чиқиш занжирига уланган. Энг кенг тарқалган оптрон ёруғлик диод-фоторезистори ва диод-фототранзисторидир (15.32-расм).

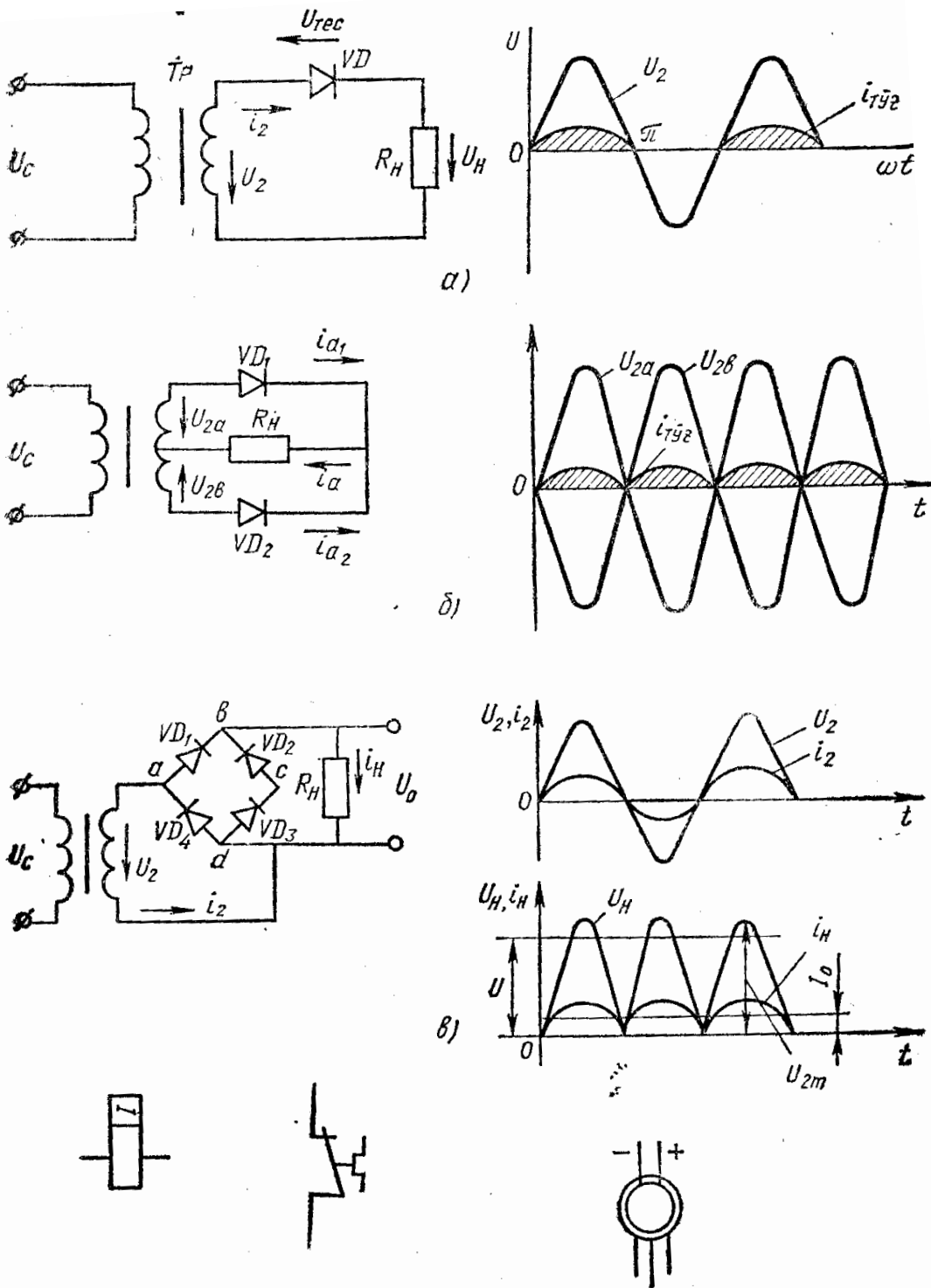
Ёруғлик диодидан ўтаётган кириш токининг ўзгариши ёруғлик равшанлигини ўзгартиради. Ёруғлик оптик алоқа каналидан ўтиб, фоторезисторга келиб тушади. Нур оқимининг ўзгариши фоторезисторнинг қаршилигини ўзгартиради. Натижада оптроннинг чиқиш занжиридаги токнинг қиймати ўзгаради. Оптрон электр сигналларни кириш занжири чиқиш занжиридан ажратилган ҳолда кучайтириш имконини беради. Унинг бу хусусияти оптик телефон алоқа системаларида, фототелеграфияда кенг қўлланилади.

### 15.6. ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИ ТУФИРЛАШ ЗАНЖИРЛАРИ

Ўзгарувчан электр токидан ўзгармас ток олиниши анчадан бери маълум. Катта қувватли ўзгармас токни кимёвий, магнитогидродинамик ва бошқа қурилмалар ёрдамида ҳосил қилиш имконияти бўлмагани учун у ўзгарувчан токни ўзгармасга айлантириш йўли билан олинади. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришни мустақил манбаи ҳисобланмиш ўзгармас ток генераторларида ҳам амалга ошириш мумкин. Синусоидал ЭЮК дан ҳосил бўлган токнинг бир йўналишида ўтишини чўтка-коллектор қурилмаси таъминлаб беради.

Бир томонлама ўтказувчанликка эга бўлган электрон ва ярим ўтказгичли диодлар ихтиро қилинганидан сўнг ўзгармас





15.33- расм.

Токни халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларига саноат электроникаси етказиб бера бошлади. Тўғрилаш техникаси бошқариладиган ва бошқарилмайдиган ярим ўтказгичли диодларни такомиллаштириш, уларнинг кувватини ошириш ҳисобига янада ривожланмоқда. Ўзгарувчан токни тўғрилаш электрон зан-

жирлари ҳозирги вақтда ЭҲМ, радиотехника ва алоқа воситаларини ток билан таъминловчи манбаларнинг асосий қисмидир.

Бир ва кўп фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш схемалари кенг тарқалган. 15.33-расм, а да бир фазали синусоидал токнинг ярим даврли тўғрилаш схемаси кўрсатилган. Икки чулғамли трансформатор  $Tr$  нинг  $W_1$  ўрамли бирламчи чулғами  $U_1$  синусоидал кучланишли занжирга уланган. Мазкур кучланиш  $W_2$  ўрамли иккиламчи чулғамдан олинадиган  $U_2$  кучланишга айлантирилади. Кучланиш  $U_2$  нинг қиймати  $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$

боғланишдан аниқланади. Кучланиш  $U_2$  нинг тўғриланган қисми  $U_{тўғ} = R_n \cdot I_{тўғ}$ .

$U_2$  кучланиш тўғриланган ток  $I_{тўғ}$  ва диоднинг параметрлари мослигини таъминлаши керак.

15.33-расм, а даги графиклардан ток  $R_n$  қаршиликдан  $U_2 = U_{2m} \sin \omega t$  кучланишнинг мусбат ярим даврларидагина, яъни 0 дан  $\pi$  гача,  $2\pi$  дан  $3\pi$  гача бўлган оралиқларда ўтишини кўрамиз. Агар диоднинг ички қаршилиги ҳисобга олинмаса ( $r_d = 0$ ), тўғриланган кучланишнинг бир даврдаги ўртача қиймати қуйидагича бўлади:

$$U_{ўр} = U_{тўғ} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt = \\ = \frac{U_{2m}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t dt = \frac{\sqrt{2} U_2}{2\pi T} (-\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \approx 0,45 U_2,$$

бу ерда  $U_2$  — трансформаторнинг  $W_2$  чулғамидаги кучланишнинг эффектив қиймати, В.

Истеъмолчининг қаршилиги  $R_n$  дан утувчи ток (расмда штрихланган) йўналиш жиҳатдан ўзгармас, қиймат жиҳатдан пульсацияланувчи. Унинг бир даврдаги ўртача қиймати қуйидагига тенг:

$$I_{ўр} = I_{тўғ} = \frac{U_{тўғ}}{R_n} = 0,45 \frac{U_2}{R_n},$$

яъни  $I_{ўр}$  тўғриланган кучланиш ва истеъмолчининг қаршиликка боғлиқдир.

Тўғриланган кучланиши пульсацияланувчи бўлгани учун бундай схема жуда кам қўлланилади. Ундан радиосигналларни детекторлаш, аккумуляторларни зарядлаш, магнит ўзақларни импульсли магнитлаш ва бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин.

Трансформаторнинг иккиламчи чулғами икки секциядан иборат бўлган, икки ярим даврли тўғрилаш схемаси мукамалроқ ва сифатлироқдир (15.33-расм, б). Иккиламчи чулғам ( $W_2$ ) иккита бир хил секциядан иборат ( $W_2' = \frac{1}{2} W$ ). Бу чулғам-

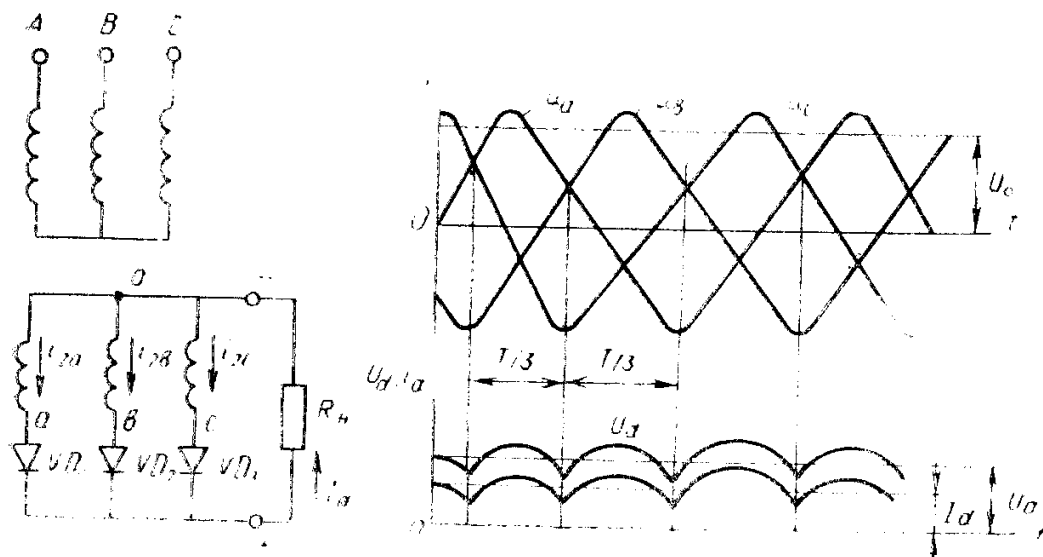
ларнинг охириги учлари бир хил диодлар ( $VD_1$  ва  $VD_2$ ) орқали  $R_n$  қаршиликнинг мусбат қутбига уланади. Бош учлари эса истеъмолчининг манфий қутбига уланади. Тўғрилаш қуйидагича амалга оширилади. Трансформаторнинг кириш занжирига таъсир этувчи  $U_1(t)$  кучланишнинг битта ярим даврида  $W_1$  секцияларида индукцияланган  $U_2$  кучланиш пастдан юқорига йўналган бўлсин. У ҳолда кучланишдан ҳосил бўладиган ток  $W_2 - VD_1 - R_n$  занжирдан ўтади, пастдаги  $W_2 - R_n - VD_2$  занжирда эса ток ўтмайди, чунки  $VD_2$  диод бу токни ўтказмайди (токнинг йўналиши тескари бўлгани учун).  $R_n$  қаршилигида ток ўнгдан чапга ўтади (15.33-расм. б). Иккинчи ярим даврда  $W_2'$  секцияларда  $U_2 = -U_2$  кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш юқоридан пастга йўналади ва  $VD_2 - R_n - W_2$  ва  $R_n - VD_1 - W_2'$  контурларда соат милининг ҳаракатига қарши йўналган токни ҳосил қилади. Бунда  $VD_1$  диоди ёпиқ бўлиб, ток фақат пастки контурдан (истеъмолчи  $R_n$  да яна ўнгдан чапга) ўтади. Бир давр ичида  $R_n$  қаршилик  $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$  кучланишнинг тўғри ва  $180^\circ$  га ағдарилган тескари ярим тўлқинлари остида икки марта бўлади (15.33-расм. б нинг қуйи қисми). Иккиламчи кучланишнинг қиймати  $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$  ва тўғриланган кучланишга боғлиқ ҳолда аниқланади.

Агар диодларнинг ички қаршилиги ҳисобга олинмаса ( $r_d = 0$ ), қаршилик учларидаги кучланишнинг ўртача қиймати:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{ўр}} = U_{\text{тўғр}} &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u^2 dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt = \\
 &= \frac{2U_{2m}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \omega t dt = -\frac{V2U_{2m}}{\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \approx 0,9U_2.
 \end{aligned}$$

15.33-расм, б даги графикдан икки ярим даврли тўғрилаш схемасига ўтилганда чиқиш кучланишининг пульсацияланиш частотаси икки марта ортиши ва пульсация чуқурлиги камайиши кузатилади.

Кўриб чиқилган схемаларда тўғрилагичлардан ташқари трансформаторлар ҳам бор. Улар ҳисобига тўғрилагичларнинг вазни ва габаритлари ортиб кетади. Трансформатор схемага манба ўзгарувчан кучланишнинг қийматини тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш билан мослаш учун уланади. Агар ўзгарувчан синусоидал кучланишнинг қиймати трансформация қилинмаган ҳолда тўғриланиши керак бўлса, 15.33-расм, а да кўрсатилган икки ярим даврли кўприк схемадан фойдаланилади. Бу схемада тўғрилашни кўприк шаклида уланган 4 та бир хил электрон ёки ярим ўтказгичли диодлар ( $VD_1, VD_2, VD_3, VD_4$ ) бажаради. Кўприк диагоналларининг бирига ўзга-



15.34- расм.

рувчан кучланиш манбаи  $U$ , иккинчисига эса истеъмолчи қаршилиги  $R_n$  уланади. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка тўғри-лаш қуйидагича бажарилади. Кириш кучланишининг мусбат ярим даврида (манбанинг юқори қисмаси мусбат, пастки қисмаси манфий зарядланган) ток манбадан  $VD_2$ ,  $R_n$  ва  $VD_4$  лар орқали берилган кучланишнинг мусбат қутбидан манфий қутбига ўтади. Иккинчи ярим даврда эса ток  $VD_3$ ,  $R_n$  ва  $VD_1$  лар орқали ўтади. Бинобарин, токнинг ҳар бир ярим даврида тўғри-лагагичдаги маълум жуфтлик (масалан,  $VD_1$  ва  $VD_2$ ) ишлайди, иккинчи жуфтликка эса (масалан,  $VD_3$  ва  $VD_4$ ) тесқари кучланиш берилган бўлади. Бунда тўғри-лаш коэффициенти 15.33-расм, б да кўрсатилган схеманики каби  $U_{\text{ўр}} = U_{\text{тўғ}} =$

$$= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_a dt \approx 0,9U_1 \text{ га тенг, чунки } U_1 \text{ кучланиш бевосита тўғ-}$$

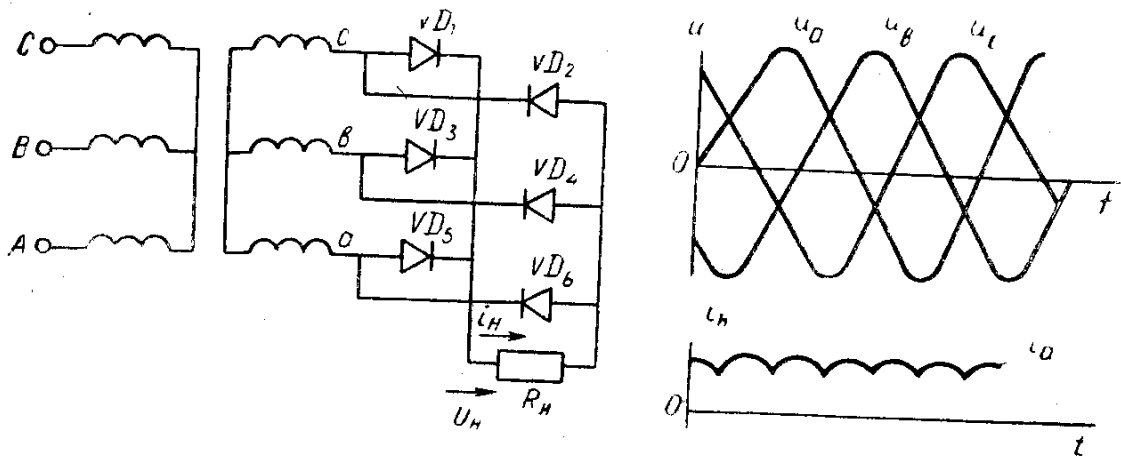
риланади ( $U_1$ —занжирнинг киришидаги кучланишнинг эффектив қиймати). Тўғриланган токнинг ўзгариш графиги 15.33-расм, в нинг ўнг томонида кўрсатилган.

15.34-расмда уч фазали ўзгарувчан токни тўғри-лаш схемаси ва тўғриланган уч фазали токнинг диаграммаси кўрсатилган.

15.35-расмда уч фазали токни иккита ярим даврли тўғри-лаш схемаси ва тўғриланган токнинг графиги кўрсатилган. Айрим фазалардаги ток ва кучланишларни тўғри-лаш қуйидагича амалга оширилади. Трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги фаза кучланишлари бир-бирига нисбатан  $2\pi/3$  бурчакка силжияган:

$$u_a = U_m \sin \omega t; \quad u_b = U_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right);$$

$$u_c = U_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right).$$



15.35- расм.

Бу синусоидаларнинг мусбат ярим тўлқинларидаги максимумлар даврининг учдан бир қисми ( $\frac{1}{3} T$ ) да алмашиб туради. Шу вақт ичида бир томонлама ҳаракатланувчи  $i_a, i_b, i_c$  тоқлар ҳосил бўлади. Бу схемада  $VD_1, VD_2$  ёки  $VD_3$  диодлардан ўтувчи тоқ берилаётган кучланишнинг бутун мусбат ярим тўлқини даврида эмас, балки  $T/3$  ичида ўтади. Масалан,  $i_a$  тоқи  $a$  фазада  $t_1 = \frac{\pi}{6\omega}$  вақтда ҳосил бўлиб,  $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$  вақтда тугайди, тоқ  $i_b$  эса  $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$  вақтда ҳосил бўлиб,  $t_3 = \frac{3\pi}{2\omega}$  вақтда тугайди ва ҳоказо.

Тўғриланган кучланишнинг (тоқнинг) ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{\text{ўр}} = U_{\text{тўғр}} = \frac{1}{T/3} \int_{t_1}^{t_2} u dt \quad \text{ёки}$$

$$U_{\text{ўр}} = \frac{3}{T} \int_{T/12}^{5\pi/12} u dt = \frac{3}{\omega T} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin \omega t d\omega t =$$

$$= \frac{3U_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/6}^{5\pi/6} = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6}U}{6,28} = 1,17U.$$

$$I_{\text{тўғр}} = \frac{U_{\text{ўр}}}{R_{\text{н}}} = \frac{1,17U}{R_{\text{н}}}.$$

Уч фазаги схемада тўғриланган тоқнинг гульсацияланиш чуқурлиги бир фазагидагига нисбатан анча камдир. Тўғрилаш коэффициентини, яъни чиқишдаги тўғриланган  $U_{\text{тўғр}} = U_{\text{ўр}}$  кучланишнинг киришдаги кучланиш  $U$  нинг эффектив қийматига нисбати ( $K_{\text{тўғр}} = \frac{U_{\text{ўр}}}{U}$ ) тўғрилагичининг фазалар сони ортиши би-

лан ортиб боради ва фазалар сони  $m \rightarrow \infty$  бўлганида  $K_{\text{тўғ}} \rightarrow 1,41$  бўлади. Демак, идеал ҳолатда тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати берилган ўзгарувчан кучланиш амплитудасига тенгдир.

Уч фазали кўприк схемада уч фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш жараёнини кўриб чиқамиз (15.35-расм). Агар  $VD_1 \dots VD_6$  диодларнинг ток ўтказётгандаги қаршиликлари ҳисобга олинмаса,  $R_n$  нинг учларидаги кучланиш уч фазали системанинг линия кучланишига тенг бўлади. Схема элементларининг уланиши  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  кучланишларнинг қиймати мусбат бўлганида ҳам, манфий бўлганида ҳам токнинг ўтишини таъминлай олади. 0 дан  $t_1$  гача бўлган вақт ичида  $U_{CB} = -U_{BC}$  кучланиш энг катта қийматга эга бўлади ва бу кучланиш таъсирида ток манбанинг  $C$  фазаси учидан  $VD_3$ ,  $R_n$  ва  $VD_5$  орқали  $B$  фазанинг бошига ўтали.  $t_1 - t_2$  вақт ичида ток  $A$  фазадан  $VD_1$  ва  $VD_5$  диодлар ва  $R_n$  орқали  $B$  фазага ўтади.  $t_2 - t_3$  вақт ичида  $VD_1$  ва  $VD_6$  диодлар ишлайди,  $t_3 - t_4$  вақт ичида  $VD_2$  ва  $VD_6$ ,  $t_4 - t_5$  да  $VD_2$  ва  $VD_4$ ,  $t_5 - t_6$  вақт ичида  $VD_3$  ва  $VD_4$  диодлар ишлайди. Кейин жараён яна бошидан такрорланади.

Ҳар бир диод даврнинг учдан бир қисмида узлуксиз ишлайди, бошқа вақт эса ёпиқ ҳолатда бўлади.  $t_1 - t_2$  вақт ичида  $VD_1$  ишлайди.  $t_2 - t_4$  вақт ичида  $VD_6$  ишлайди ва ҳоказо. Тўғриланган токнинг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I_{\text{тўғ}} = \frac{U_{\text{тўғ}}}{R_n} = \frac{U_m(AB)}{R_n T/6} \int_{t_1}^{t_2} \sin \omega t dt = \frac{6I_m}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sin \omega t d\omega t =$$

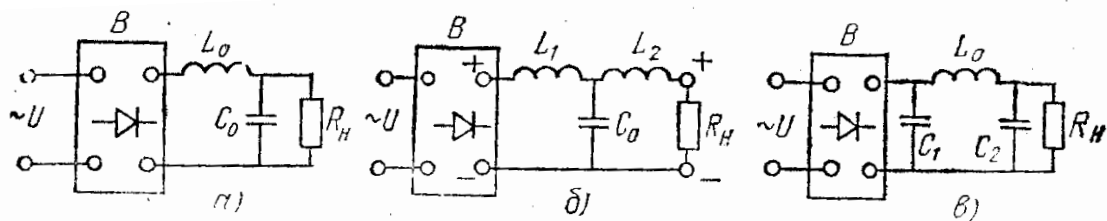
$$= \frac{3\sqrt{2}I}{\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/3}^{2\pi/3} = 1,346 I = 1,346 \frac{U_{AB}}{R_n}.$$

Занжирнинг чиқишидаги тўғриланган кучланишнинг қиймати:

$$U_{\text{тўғ}} = I_{\text{тўғ}} R_n = 1,346 U_{AB}.$$

Демак, олти фазали кўприк схема ток ва кучланишларни нисбатан сифатли тўғрилаб беради. Шунингдек, мазкур схема трансформаторсиз бўлиб, анча соддадир.

Тўғриланган токнинг шаклини ўзгармас ток шаклига яқинлаштириш ва, энг аввало, пульсацияланишни камайтириш ёки бутунлай йўқотиш мақсадида тўғрилагичнинг чиқишига истеъмомчидан олдин текисловчи филтрлар ўрнатилади. Тўғриланган кучланишдаги пульсациялар эгри чизиғи Фурье қаторига ёйилганида асосий ва бир нечта юқори гармоникалардан иборат бўлгани учун юқори гармоникаларни ушлаб қолиш ёки сусайтириш мақсадида схемага уланган индуктивлик ва сифимлардан фойдаланилади. Бундай схемалар *филтрлар* дейилади. Оддий филтрларнинг кенг тарқалган схемалари Г-симон,

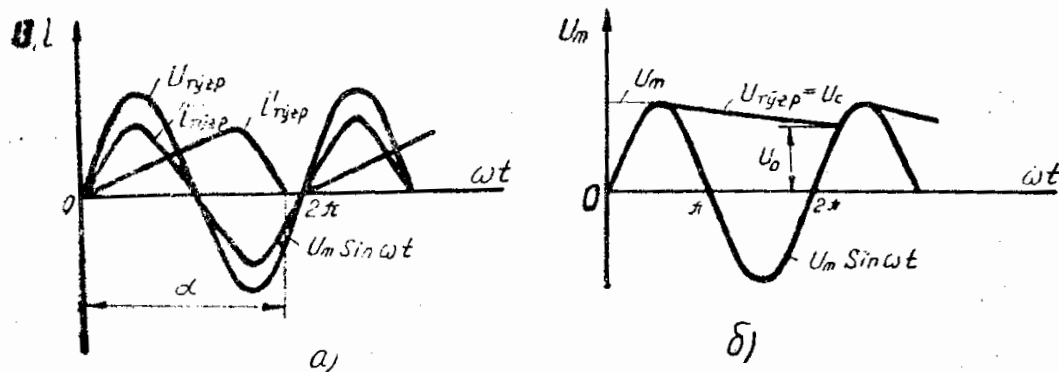


15.36-расм.

T-симон ва П-симондир (15.36-расм, а — в). Улар кетма-кет уланган индуктивлик ва параллел уланган сиғим элементлардан иборатдир. Индуктивлик  $L_0$  (15.36-расм, а) токнинг ўзгарувчан ташкил этувчилари (гармоникалар) га қўшимча қаршилиқ кўрсатади, ўзгармас токка эса қаршилиқ кўрсатмайди. Сиғим  $C_0$  эса, аксинча, ўзгарувчан ташкил этувчиларга қаршилиги кичик. Шунинг учун гармоникалар истеъмолчи  $R_n$  дан эмас, сиғим орқали ўтади. Конденсатор эса ўзгармас токни ўтказмайди.

15.37-расм, а ва б да индуктив ва сиғим филтрлар ёрдамида текисланган ток ва кучланиш графиклари кўрсатилган.  $R_n-L_0$  занжирдаги ўтиш жараёни ҳисобига ток  $i_{тўғ}$  нинг ярим тўлқини тўғриланган кучланиш  $U_{тўғ}$  нинг ярим тўлқинидан фаза жиҳатдан орқада қолади. Шу сабабли бу токнинг оқиб ўтиш вақти фаза жиҳатдан  $\alpha > \pi$  бурчакка ортади ва  $\pi$  дан  $2\pi$  гача бўлган пауза қисман тўлатилади.

Параллел уланган сиғимнинг тўғриланган кучланишга таъсири 15.37-расм, б да кўрсатилган 0 дан  $\pi/2$  гача бўлган фазада тўғриланган кучланиш 0 дан  $U_m$  гача ортади ва конденсаторни  $U_c = U_m$  гача зарядлайди.  $\pi/2$  дан  $\pi$  гача бўлган кейинги фазада кучланиш  $U_m$  дан 0 гача камаяди. Бу вақт ичида конденсатор истеъмолчи  $R_n$  орқали зарядсизланиб улгурмайди ва  $\pi$  дан  $2\pi$  гача бўлган фаза давомида зарядланиш давом этади. Бу вақт ичида конденсатор кучланиш  $U_0$  гача зарядсизланади. Бу кучланишнинг қиймати конденсаторнинг вақт доимийси  $\tau = R_n C$  га боғлиқдир. Шунинг ҳисобига кучланиш  $U_{тўғ} = U_c$  филтрсиз тўғриланган кучланиш ўртача қийматидан ортиб кетади.



15.37-расм.

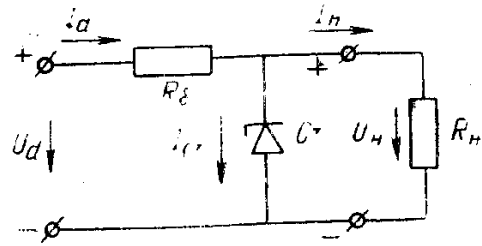
Шундай қилиб, текисловчи филтрлардан фойдаланиш чиқишдаги токнинг (кучланишнинг) пульсациясини камайтириши билан бирга, тўғрилаш коэффициентини ҳам бир қанча орттиради (айниқса, ярим даврли схемалар учун).

Агар тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланишнинг мўътадиллиги талаб қилинса, у ҳолда тўғрилагич билан истеъмолчининг орасига *кучланиш стабилизатори* уланади. Стабилизаторлар параметрик ва компенсацион хилларга бўлинади. Параметрик стабилизаторларда стабилитрон турдаги асбоблардан фойдаланилади. Бў асбобларда токнинг қиймати ўзгаргани билан кучланиш ўзгармайди. Компенсацион стабилизаторларда истеъмолчига берилаётган кучланишни автоматик ростлаш принциpidан фойдаланилади.

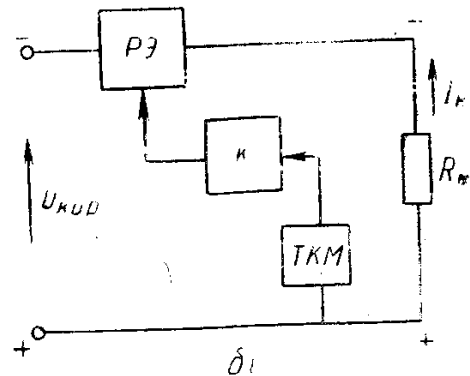
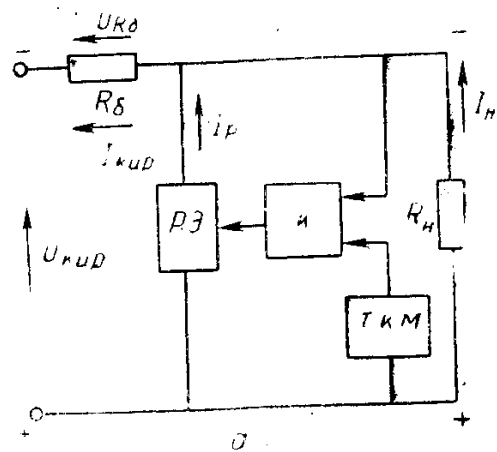
Параметрик кучланиш стабилизатори балласт қаршилик  $R_6$  ва стабилитрондан тузилган (15.38- расм). Манба кучланишнинг ёки истеъмолчи қаршилигининг ўзгариши тўғриланган кучланиш  $U_d$  нинг ўзгаришига сабаб бўлиши мумкин. Бироқ истеъмолдаги кучланиш ( $U_H$ ) ўзгармайди, чўнки бў кучланиш стабилитроннинг тескари кучланишига боғланган. Стабилизаторни ҳисоблаш истеъмолдаги кучланишга қараб стабилитрон турини ва балласт қаршилик ( $R_6$ ) нинг қийматини танлашлан иборатдир.

Кучланишни стабиллашнинг сифат кўрсаткичи стабиллаш коэффициентидир. Бў коэффициент чиқишдаги кучланишнинг нисбий ўзгаришини кўрсатади:  $K_{ст} = \frac{\Delta U_d}{U_d} : \frac{\Delta U_H}{U_H}$ . Одатда,  $K_{ст} = 20 \div 50$  бўлади.

Компенсацион кучланиш стабилизатори (ККС) нинг ишлаши истеъмолчидаги кучланишнинг ўзгариши ростловчи элемент (РЭ) га узатилишига асосланган. Бў элемент кучланиш-

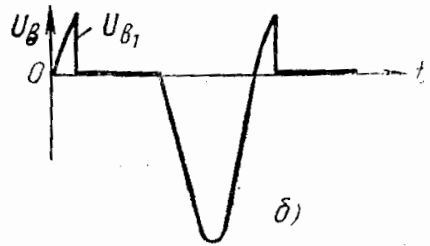
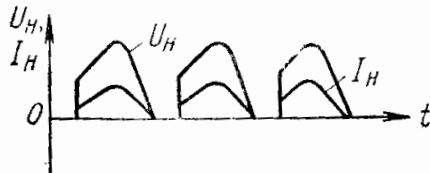
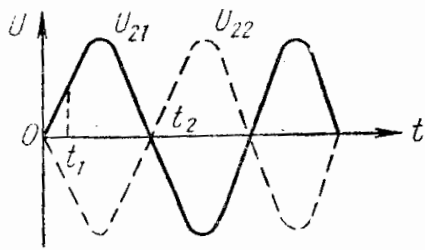
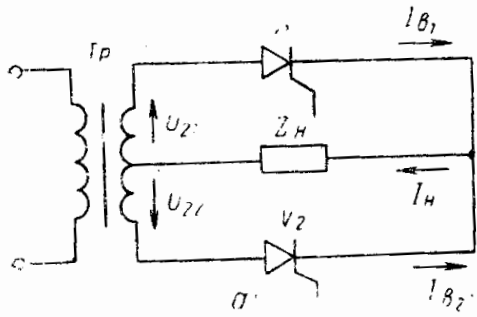


15.38- расм.

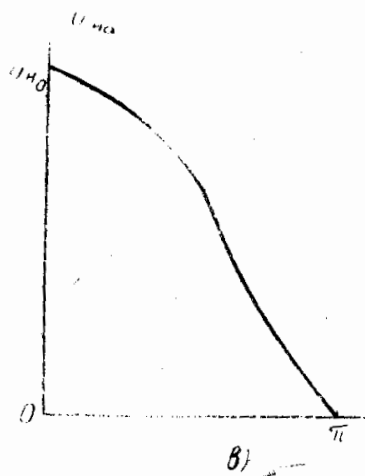


15.39- расм.

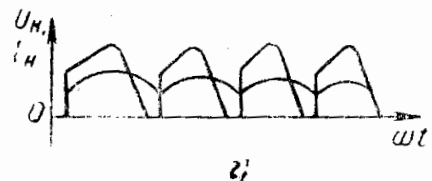
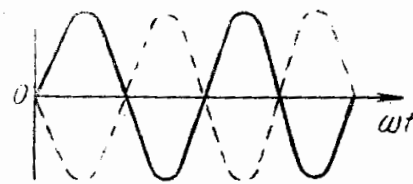




б)



в)



г)

нинг ўзгаришига тўсқинлик қилади. 15.39-расмда компенсацион кучланиш стабилизаторининг параллел ва кетма-кет уланиш схемалари кўрсатилган. РЭ га ўзгармас ток кучайтиргичи (К) ва таянч кучланиш манбаи (ТКМ) дан ташкил топган бошқариш схемаси таъсир этади. ТКМ ёрдамида истеъмолчидаги кучланиш таянч кучланиши билан таққосланаётган кучланишларнинг айирмасини кучайтириб РЭ га узатади 15.39-расм, б даги схемада РЭ истеъмолчи билан кетма-кет уланган. Бунда РЭ даги кучланишнинг ўзгариши истеъмолчи кучланишининг стабиллигини таъминлаб беради. РЭ ва истеъмолчидан бир хил ток ўтади. РЭ нинг қаршилиги кучайтиргичнинг чиқиш кучланиши таъсирида ўзгаради.

Компенсацион кучланиш стабилизаторларининг стабиллаш коэффициенти нисбатан юқори, чиқиш қаршилиги эса параметрикларникига қараганда анча кичик.

1-масала. 15.33-расмда кўрсатилган бир фазали, иккита ярим даврли тўғрилагич учун тўғриланган кучланишнинг ўрта-

15.40- расм.

ча қиймати  $U_d = 400$  В, тўғриланган токнинг ўртача қиймати эса  $I_d = 0,1$  А, манба кучланишининг таъсир этувчи қиймати  $U = 127$  В, частотаси 50 Гц, тўғрилагичнинг иш температураси  $t \leq 50^\circ\text{C}$  бўлса, қуйидагилар аниқлансин: ҳар бир вентилдан ўтаётган тўғриланган токнинг қиймати  $I_a$ ; тўғриланган токнинг максимал қиймати  $I_{\max}$ ; вентилдаги тескари кучланишнинг максимал қиймати  $U_{m \text{ тес}}$ ; трансформатор иккиламчи чулғамининг бир бўлагидаги кучланишнинг таъсир этувчи қиймати  $U_2$ ; трансформаторнинг иккиламчи чулғамидан ўтаётган токнинг таъсир этувчи қиймати  $I_2$ ; трансформатор бирламчи чулғамининг қуввати  $P_1$ ; иккиламчи чулғамнинг қуввати  $P_2$ ; бирламчи чулғам токи  $I_1$ ; истеъмолчи қаршилиги  $R_{\text{н}}$ .

*Ечилиши.*  $I_a = 0,5 I_d = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05$  А;

$$I_m = \frac{\pi}{2} I_d = \frac{\pi}{2} \cdot 0,1 = 1,57 \cdot 0,1 = 0,157 \text{ А};$$

$$U_{m \text{ тес}} = 3,14 U_d = 3,14 \cdot 400 = 1256 \text{ В};$$

$$U_2 = 1,11 U_d = 1,11 \cdot 400 = 444 \text{ В};$$

$$I_2 = 0,785 I_d = 0,785 \cdot 0,1 = 0,0785 \text{ А};$$

$$P_1 = 1,48 P_0 = 1,48 U_d I_d = 1,48 \cdot 400 \cdot 0,1 = 59,2 \approx 60 \text{ Вт};$$

$$P_2 = 2 U_2 I_2 = 2 \cdot 444 \cdot 0,0785 = 70 \text{ Вт}, P_1 \approx P_2 = 70 \text{ Вт};$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{70}{127} = 0,55 \text{ А};$$

$$R_{\text{н}} = \frac{U_d}{I_d} = \frac{400}{0,1} = 4000 \text{ Ом}.$$

## 15.7. ТИРИСТОРЛИ ЎЗГАРТИРГИЧЛАР

Ҳозирги замон электр энергетикасида тиристорли ўзгартиргичлардан кенг фойдаланилади. Улар ўзгартирувчан токни тўғрилаш, ўзгармас токни инверторлаш, ток частотасини ўзгартириш учун ишлатилади. Дастлаб тиристорли ўзгартиргичлардан ўзгармас ток двигателларига ўзгармас кучланиш беришда фойдаланилган. Тиристорли ўзгартиргич ёрдамида ўзгармас ток двигателларига берилаётган кучланишни ўзгартириб двигателнинг айланиш тезлигини бошқариш мумкин. Бошқариладиган тўғрилагичлардан шу мақсадда фойдаланилади. Бу тўғрилагичларда тиристор бошқариладиган вентиль вазифасини бажаради. Бир фазали иккита ярим даврли бошқариладиган тўғрилагичнинг ишланишини кўриб чиқамиз (15.40-рasm, а). Мазкур тўғрилагичнинг схемаси бошқарилмайдиган тўғрилагичникидан деярли фарқ қилмайди. Фақат вентиль элементи сифатида тиристордан фойдаланилган. Ток даврнинг биринчи ярмида  $V_1$  вентилдан, иккинчи ярмида эса  $V_2$  дан ўтади. Истеъмолчидаги ток ва кучланишнинг йўналиши ўзгармасдир. Бошқариладиган вентилларнинг қулланиши кучланиш қийматини ростлаш имконини беради. Вентиль унга очувчи

импульс берилганидан кейингина уланади. Бу импульс вентилнинг табиий уланиш вақтида эмас, балки қандайдир кечикиш билан берилади. Вентилнинг табиий уланиш вақтидан бошлаб ҳисобланадиган кечикиш бурчаги  $\alpha$  бошқариш бурчаги дейилади ва электрик градусларда ўлчанади.

Тўғрилагичга актив характерга эга бўлган истеъмолчи уланган бўлсин.  $t=0$  вақтда  $V_1$  ва  $V_2$  вентиллар ёпиқ, истеъмолчидан ток ўтмайди.  $t=t_1$  бўлганда  $V_1$  вентилга оқувчи импульс берамиз. Бунда вентиль ва истеъмолчидан ток ўтади. Истеъмолчидаги кучланиш кескин ортади ва шу лаҳзада трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги  $u_{21}$  кучланишга тенглашади (15.40-расм, б). Кейин истеъмолчининг кучланиши трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланишнинг ўзгариш қонунига биноан ўзгаради.  $t=t_2$  бўлганда  $u_{21}$  кучланиш нолга тенг бўлиб, ўз йўналишини ўзгартиради. Вентиль  $V_1$  даги ток камайиб, нолга тенглашади ва у ёпилади. Истеъмолчидаги ток ва кучланиш нолга тенглашади ва иккинчи вентиль  $V_2$  га оқувчи импульс берилмагунча ўзгармайди.  $V_2$  га оқувчи импульс берилганда истеъмолчидан ток ўтади ва ундаги кучланиш трансформаторнинг шу вақтдаги иккиламчи чулғамидаги кучланиш  $u_{22}$  га тенг бўлади. Истеъмолчидаги кучланиш мазкур чулғамдаги кучланишнинг ўзгариш қонуни бўйича ўзгаради. Вентиль  $V_2$  дан ўтаётган ток нолга тенг бўлганда истеъмолчидаги ток ва кучланиш ҳам нолга тенг бўлиб қолади. Истеъмолчидаги ток ва кучланиш тўғриланган ва пульсацияланувчидир. Тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{\text{на}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_{21} \sin \omega t d \omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{21} (1 + \cos \alpha)$$

$$\frac{2\sqrt{2}U_{21}}{\pi} = U_0 = 0,9U_{21} \text{ эканлигини ҳисобга олсак,}$$

$$U_{\text{на}} = \frac{U_0}{2} (1 + \cos \alpha)$$

деб ёзиш мумкин.

$\alpha=0$  бўлганида истеъмолчидаги кучланиш бошқарилмайдиган тўғрилагичларникидаги каби  $U_0$  га тенг,  $\alpha=180^\circ$  бўлганда  $U_{\text{на}}=0$ .  $\alpha$  нинг қийматини 0 дан  $180^\circ$  гача ўзгартириб,  $U_{\text{на}}$  нинг турли қийматларини олиш мумкин (15.40-расм, в).

Тўғриланган токнинг ўртача қиймати:

$$I_{\text{ўр}} = \frac{U_{\text{на}}}{R_{\text{н}}} = \frac{U_0}{R_{\text{н}}} \frac{1 + \cos \alpha}{2}.$$

Вентилдаги тўғри кучланиш  $\alpha$  га боғлиқдир.  $\alpha=90^\circ$  бўлганида тўғри кучланиш максимал қийматга эга. Вентилдаги максимал тесқари кучланиш трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги линия кучланишининг амплитудасига тенгдир:

$$U_{\text{тес}} = \sqrt{2} U_2 = 2\sqrt{2} U_{21}.$$

Истеъмолчидаги кучланиш истеъмолчининг характериға боғлиқдир. Агар истеъмолчи актив-индуктив характерға эға бўлса,  $V_1$  ва  $V_2$  венти́лларнинг ёпиқ ҳолатида ҳам истеъмолчидан ток ўтади. Индуктив истеъмолчининг магнит майдони энергияси ҳисобига ток узлуксиз бўлади.

Истеъмолчидаги кучланиш қуйидагича аниқланади:

$$U_{\text{на}} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} U_{21} \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_{21}}{\pi},$$

$$[-\cos(\pi + \alpha) + \cos \alpha] = \frac{2\sqrt{2} U_{21}}{\pi} \cos \alpha = U_0 \cos \alpha.$$

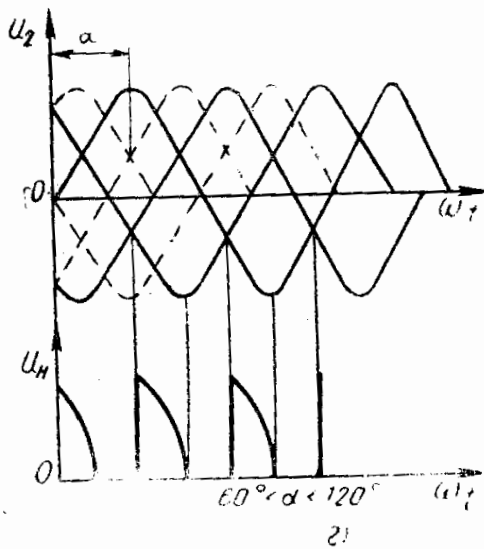
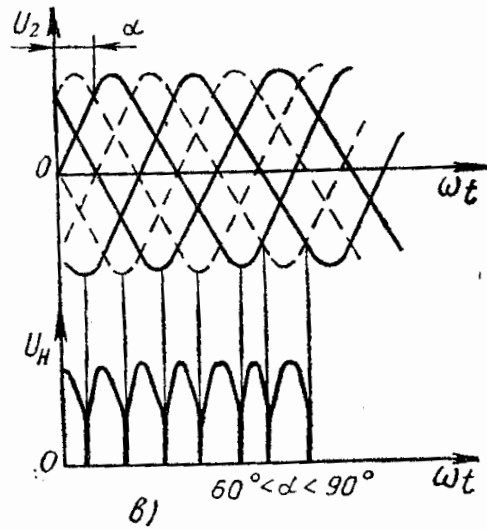
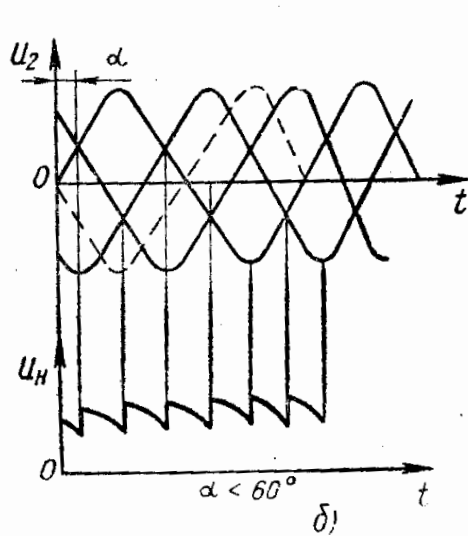
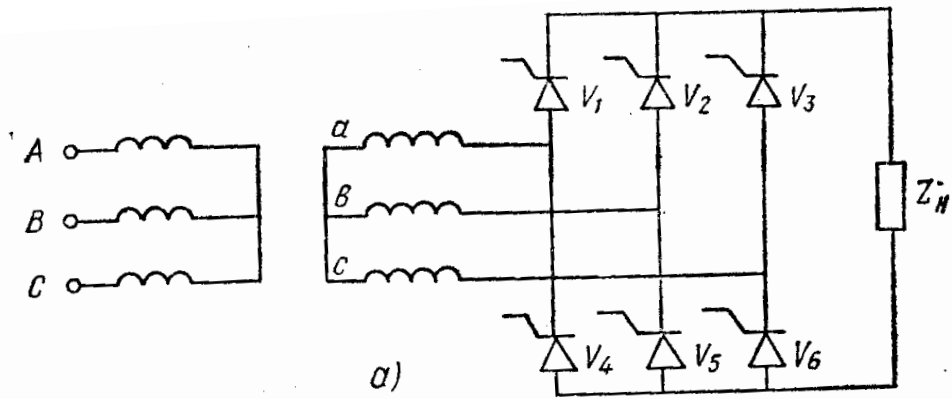
Тўғриланган кучланишнинг қиймати, истеъмолчининг характери́дан қатъи назар,  $\alpha$  га боғлиқдир. Истеъмолчи ва венти́лдаги кучланишларнинг эгри чизиқлари 15.41-расмда келирилган. Венти́ль  $V_1$  ни улашдан олдин унга трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги  $U_{21}$  тўғри кучланиш берилади.  $\alpha = \omega t$  бўлганида  $V_1$  очилади ва ундаги кучланишнинг пасаюви нолга тенг бўлади.  $\omega t_2 = 180^\circ$  бўлганида  $V_1$  ёпилади ва трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш остида бўлади.  $V_2$  даги кучланиш қиймати  $V_1$  даги кучланиш каби бўлади, фақат фаза жиҳатдан ярим даврга силжийди.

Уч фазали токни тўғрилаш учун чулғамнинг ўртасидан сим чиқарилган схема ва кўприк схемалардан фойдаланилади. Кўприк схемали бошқариладиган тўғрилагичнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.41-расм). Схемادا уч фазали трансформатор ва олтига венти́лдан фойдаланилган. Бунда ҳамма вақт жуфт венти́ллар ишлайди, масалан,  $V_1$  ва  $V_4$ ,  $V_2$  ва  $V_5$ ,  $V_6$  ва  $V_3$  ва ҳоказо. Схеманинг нормал ишлаши учун тегишли венти́лларга очувчи бошқариш импульсларини бараварига бериш лозим. Бошқариш бурчаги  $\alpha < 60^\circ$  бўлганида тўғриланган кучланиш узлуксиздир,  $\alpha > 60^\circ$  бўлганда эса узлуклидир. Кучланишнинг қиймати  $\alpha < 60^\circ$  бўлганида  $U_{\text{на}} = U_0 \cos \alpha$  ( $U_0$  — уч фазали бошқарилмайдиган тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш),  $\alpha > 60^\circ$  бўлганда эса

$$U_{\text{на}} = U_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right].$$

Шундай қилиб, бошқариш бурчаги  $\alpha$  ни ўзгартириш орқали тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланишнинг қийматини ўзгартириш мумкин. Бошқариладиган тўғрилагичлар ўзгармас ток электр юритмаларини бошқаришда ишлатилади. Г—Д системалардаги генератор ўрнига бошқариладиган тўғрилагич ўрнатиб, унинг чиқиш кучланишини бошқариш орқали электр юритманинг тезлигини бошқариш мумкин. Катта қувватли тиристорларни симобли тўғрилагичлар ўрнида ишлатиш мумкин.

Юқорида қайд этилганидек, тиристорли тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш тиристорнинг бошқариш бурчагига боғлиқдир. Тиристорни очиш учун сигнал бошқариш системаси-



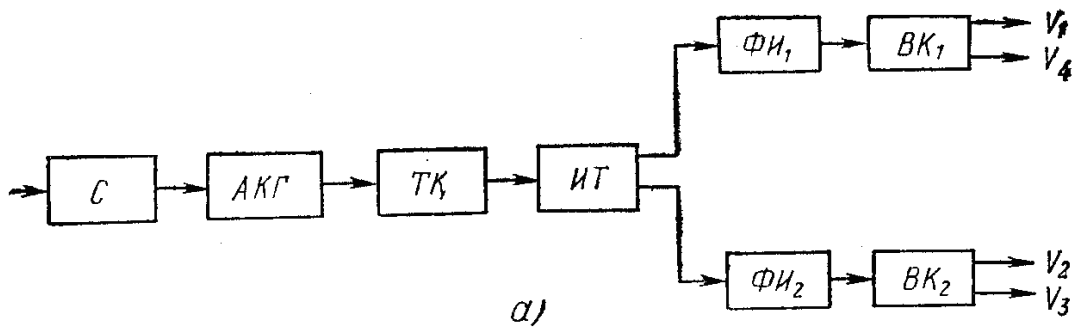
15 41- расм.

дан берилди. Бошқариш системасининг вазифаси қуйидагилардан иборат:

- импульсининг вентилни очишга етарли бўлган ток ва кучланиш амплитудасини таъминлаш;
- бошқариш импульсларининг тиклигани таъминлаш;
- бошқариш импульсларининг фазалар бўйича симметрик бўлишини таъминлаш;
- ростлашни кенг доирада амалга ошириш.

Бошқарувчи импульс тиристорнинг очилиш бурчагинигина ростлайди Тиристорнинг ёпилиши эса анод токи нолга тенг

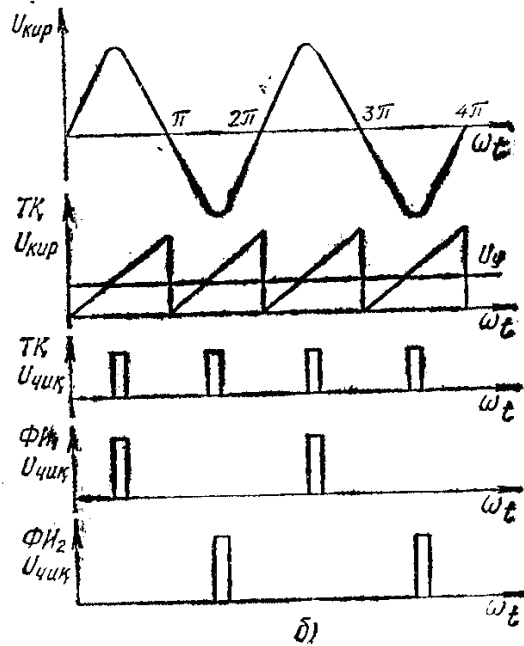
бўлганда ўз-ўзидан рўй беради. Шу сабабли, бошқариш импульслари қисқа, лекин анод токи ишлаб кетиш токига тенг бўлишини таъминлаб берадиган вақт ичида таъсир этиши керак.



Қандай элементлардан тузилганлигига қараб бошқариш системаси электромагнит ва ярим ўтказгичли системаларга бўлинади. Электромагнит системаларга импульсларда ҳосил қилувчи ва фаза силжитувчи тузилмалар сифатида ферромагнит элементлар ишлатилади. Ярим ўтказгичли системалар транзисторли ёки кичик қувватли схемалардан иборатдир.

Бошқарувчи импульслар бир ёки бир неча каналда ишлаб чиқарилишига қараб бошқариш системалари бир ва кўп каналли хилларга бўлинади.

Бошқариш системалари бошқарувчи импульснинг фазаси қандай ўзгаришига қараб горизонтал, вертикал ва рақамли системаларга бўлинади. Горизонтал бошқариш системасида бошқарувчи импульс синусоидал кучланиш нолга тенг бўлган вақтда ҳосил қилинади. Импульснинг фазаси синусоидал кучланишнинг фазасини ўзгартириш йўли билан ўзгартирилади. Вертикал бошқариш системасида бошқарувчи импульс ўзгарувчан ва ўзгармас кучланишларни таққослаш натижасидан келиб чиқиб ҳосил қилинади. Импульс мазкур кучланишлар ўзаро тенглашганида ҳосил бўлади. 15.42-расм, а да бир фазали кўприк тўғрилагични бошқарадиган вертикал бир каналли системанинг структура схемаси кўрсатилган. Тиристорлардаги кучланиш тўғри уланганда  $C$  синхронизаторнинг киришига  $U_{кир}$  кучланиш берилади. Сигнал синхронизатордан ўзгарувчан ток генератори АКГ (аррасимон кучланишлар генератори) га узатилади. АКГ аррасимон кучланиш ишлаб чиқариб, уни таққослаш қурилмасига (ТҚ) узатади. ТҚ да бу кучланиш ўзгармас кучланиш билан таққосланади. Аррасимон ва ўзгармас кучланишлар ўзаро тенглашганида ТҚ импульс ишлаб чиқаради ва уни импульсларни тақсимловчи (ИТ) га



15.42- расм.

узатади. ИТ импульсни импульс ҳосил қилувчи ИХҚ<sub>1</sub> ёки ИХҚ<sub>2</sub> га узатади. Уларда импульс шаклланиб, чиқиш каскадлари ЧК<sub>1</sub> ва ЧК<sub>2</sub> орқали тиристорларга узатилади.

Рақамли бошқариш системалари, бошқарувчи импульслар фазасини рақамли код шаклида ишлаб чиқаради. Бу код вентилли ўзгартиргичнинг рақамли бошқариш системасидаги хотира қурилмасига ёзиб олинади. Сўнгра у импульслар фазасига айлантирилади. Рақамли бошқариш системаси, асосан, ўзгартиргич автоматик ростлаш системасининг бир қисми бўлганда ишлатилади.

## 15.8. ИНВЕРТОРЛАР

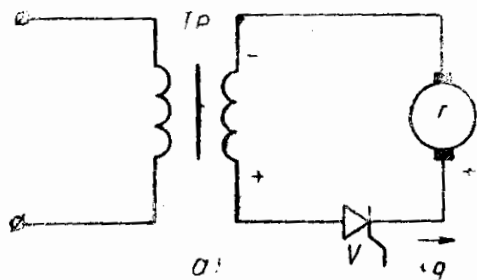
Кўпинча, ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантириш талаб этилади. Ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантириб берувчи қурилма *инвертор* деб аталади.

Инверторлар ўзгармас ток занжиридаги энергияни ўзгарувчан ток занжирига узатиши мумкин. Бунда инверторнинг иши манбанинг ўзгарувчан кучланиши билан белгиланади. Инвертор эса манбага боғланган дейилади. Агар инвертор истеъмолчини манба билан соғланмаган ҳолда энергия билан таъминласа, у автоном инвертор дейилади.

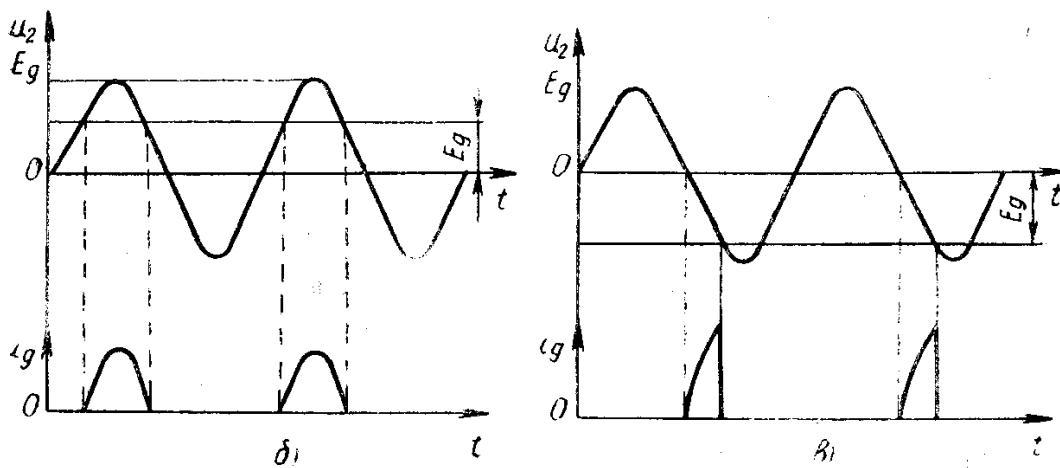
Инверторлаш жараёни тўғрилаш жараёнига тескарисидир. Шу боис инверторлаш жараёнини бошқариладиган ярим даврли тўғрилагич мисолида кўриб чиқиш мумкин (15.43-расм). Ўзгармас ток генератори трансформатор ТР нинг иккиламчи чулғами билан вентиль  $V$  орқали боғланган. ТР нинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш синусоидал конун бўйича ўзгаради.  $V$  фақат  $|u_2| > |E_g|$  бўлгандагина ишлайди. Бунда ток трансформаторнинг иккиламчи чулғамидан генератор (Г) га оқиб ўтади. Бу эса тўғрилаш режимига мос келади (15.43-расм, а). Агар генератор ЭЮК нинг қутбларини ўзаро алмаштирсак ва тиристорнинг бошқариш бурчагини  $\alpha > 180^\circ$  қилсак, ток генератордан трансформаторга оқиб ўтади. Мазкур ток фаза жиҳатдан трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш билан мос тушади. Схема инвертор режимда ишлайди (15.43-расм, б). Бунда  $E_g > U_2$ .

Демак, ўзгартиргич тўғрилаш режимдан инверторлаш режимига ўтиши учун, биринчидан, генератор ЭЮК ининг йўналишини ўзгартириш ва  $E_g > U_2$  бўлишини таъминлаш, иккинчидан, тиристorni бошқарув бурчаги  $\alpha$  ни  $180^\circ$  дан катта қилиб олиш керак.

Манба билан боғланган инверторнинг ишлашини бир фаза-ли инвертор мисолида кўриб чиқамиз (15.44-расм). Трансфор-

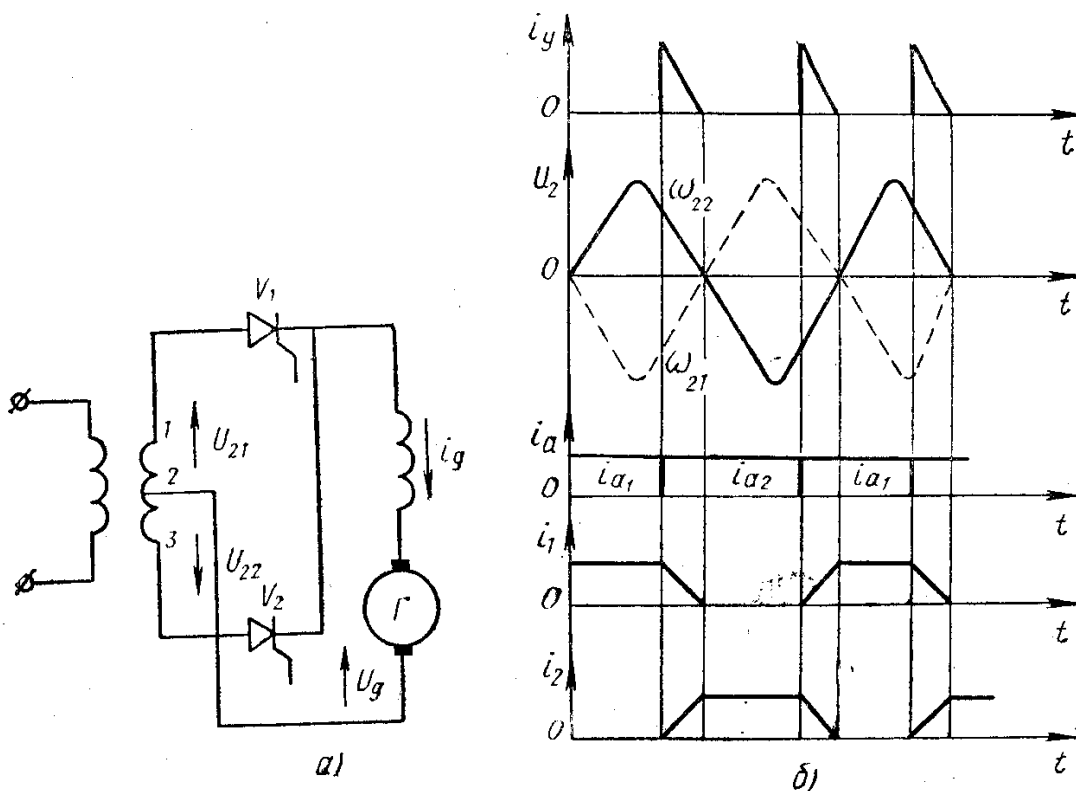


15.43-расм.



15.43- расм

маторнинг иккиламчи чулғамига иккита вентиль ( $V_1$  ва  $V_2$ ), генератор ( $\Gamma$ ) уланган. Вентиль  $V$  очик бўлиб,  $u_{21}$  кучланиш манфий қийматга эга бўлса, ток трансформаторнинг 1—2 учларига мусбат потенциалга эга бўлган учидан кириб келади. Бунда энергия генератор  $\Gamma$  дан ўзгарувчан ток манбаига узатилади. Инвертор учун чиқиш кучланиши бўлмиш  $U_g$  вентил  $V_1$  ёпилмагунича  $u_{21}$  нинг ўзгариш қонуни бўйича ўзгаради. Кейинги ярим давр ичида трансформаторнинг 2—3 учларида манфий ишорали  $u_{22}$  кучланиш бўлади. Импульс ёрдамида вентиль  $V_2$  ни очилади. Ток вентиль  $V_2$  дан ўтиб, трансформатор 2—3 чулғамининг охиридан бош учига оқиб ўтади. Бунда энергия



15.44- расм.



яна генератор Г дан манбага узатилади. Бентиль  $V_1$  га иккиламчи чулгамнинг тўлиқ кучланиши берилган бўлиб, мазкур кучланиш  $V_1$  учун тескардир. Бунда вентиль  $V_1$  ёпилади.

Ўзгартиргич инвертор режимда ишлаганида очилишни илгарилатиш бурчаги деган тушунча киритилади. Бу бурчак  $\beta$  билан белгиланади ( $\beta = \pi - \alpha$ ). Ҳар бир венгилнинг очилиш бурчаги  $u_{21}$  ва  $u_{22}$  кучланишлар нолга тенг бўлган лаҳзадан бошлаб  $\beta$  бурчагига чапга силжиган. Бунда бир вентиль беркилганида иккинчисининг бир зумда очилиши таъминланади. Шунинг ҳисобига трансформатор чулгамларидаги ток узлуксиздир. Тиристорларнинг нормал ишлаши учун  $\beta > \gamma + t_{yc}$  шарҳ бажарилиши керак. Бу ерда  $\gamma$  — тиристорнинг коммутация бурчаги,  $t_{yc}$  — тиристор ёпилиш хоссаларининг қайта тикланиш вақти.

Инвертор кучланишининг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{нв} = \frac{1}{\pi} \int_{-\beta}^{\beta} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = -U_{но} \cos \beta,$$

бу ерда  $U_{но} = 0,9U_2 - \beta = 0$  бўлгандаги кучланишнинг ўртача қиймати.

$\beta$  ни  $\alpha$  орқали ифодаласак:

$$U_{нв} = -U_{но} \cos(\pi - \alpha) = U_{но} \cos \alpha = U_{на}.$$

Кучланишнинг ўртача қиймати тўғрилагичники каби аниқланади:

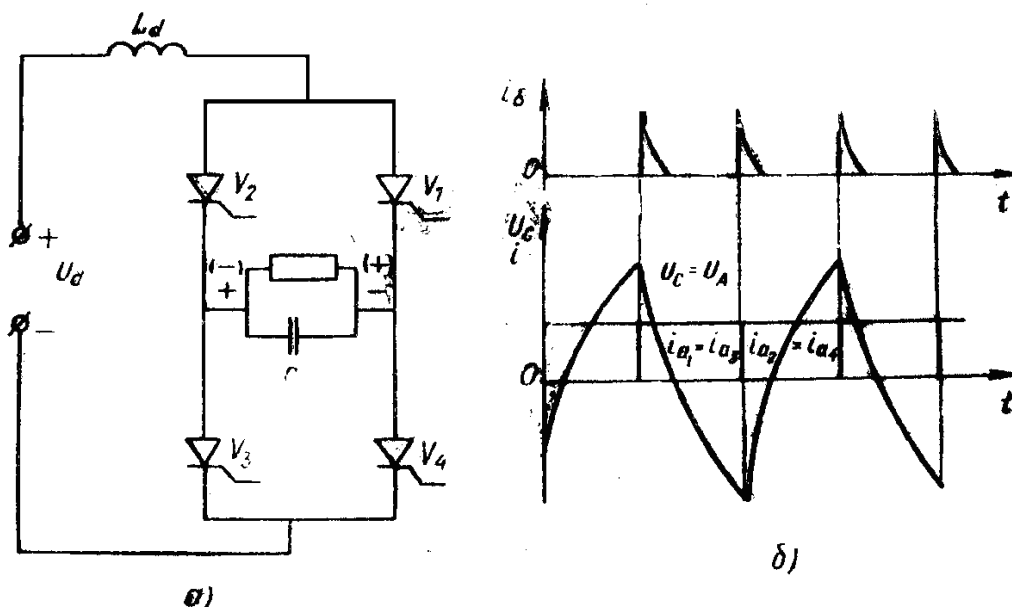
$$U_{на} = U_{но} \cos \alpha.$$

$\alpha > \frac{\pi}{2}$  бўлганда ўзгартиргич инвертор режимда ишлайди.

$\alpha < \frac{\pi}{2}$  бўлганда ўзгартиргич тўғрилаш режимда ишлайди.

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  бўлганда, ўзгартиргич фақат реактив қувват ишлаб чиқаради ( $U_{на} = 0$  бўлади).

Иккита бир хил тиристорли ўзгартиргичларнинг очилиш бурчакларини ростлаш орқали улардан бирини тўғрилагич, иккинчисини эса инвертор сифатида ишлагса бўлади. Ўзгармас ток ЭУЛ (электр узатиш линиялари) да тўғрилагич сифатида ишловчи тиристорли ўзгартиргичлар ўрнатилади, Улар уч фазали ўзгарувчан токни пульсацияланувчи ўзгармас токка айлантириб беради. ЭУЛ орқали ўзгармас ток узатилади. Линиянинг охирида инвертор режимда ишловчи тиристорли ўзгартиргич ўрнатилади. У пульсацияланувчи ўзгармас токни уч фазали ўзгарувчан токка айлантиради. Бунда тўғрилагич ҳам,



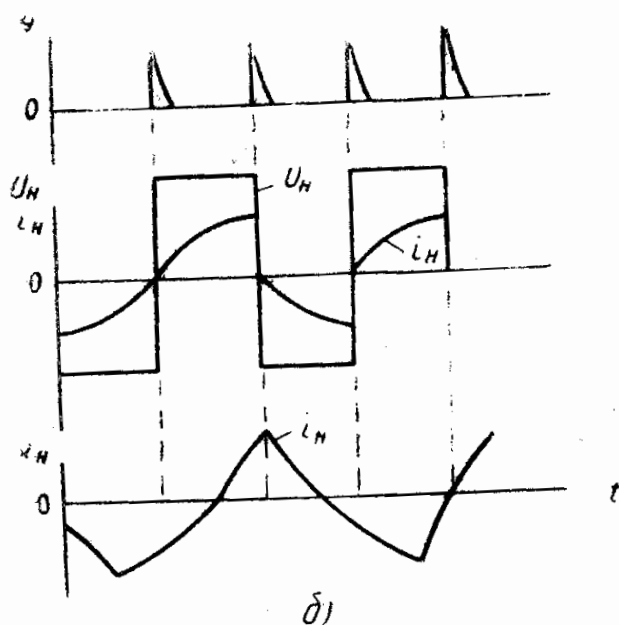
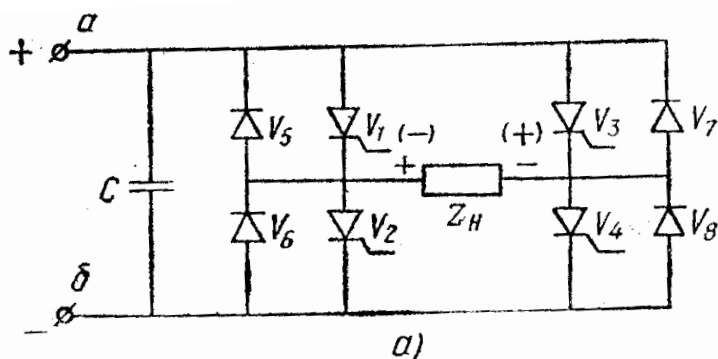
15.45- расм.

инвертор ҳам бир хил тиристорларга эга бўлиб, секциялардан йиғилади.

Тиристорли ўзгартиргичлар ўзгармас ток двигателларининг тезлигини бошқариш ва айланиш йўналишини ўзгартиришда кенг қўлланади.

Мустақил ишловчи инверторлар автоном инверторлар дейилади. Автоном инверторлар ток инверторлари ва кучланиш инверторларига бўлинади. Ток инверторлари ўзгармас ток манбаига катта индуктивликка эга бўлган дроссель орқали уланади. Ток инверторининг кириш занжиридаги токнинг қиймати ўзгармасдир. 15.45- расмда кўрсатилган ток инверторининг ишлаши билан танишиб чиқамиз.

Киришдаги дроссель индуктивлиги  $L_d \rightarrow \infty$ . Кириш токи ўзгармас ( $i_d = I_d$ ). Вақт  $t = t_1$  бўлганда  $V_1$  ва  $V_3$  венти́ллари очик бўлса, ток бу венти́ллари орқали  $Z_u$  истеъмолчидан ўтади. Истеъмолчига конденсатор  $C$  параллел уланган. Бунда унинг ўнг қопламаси мусбат, чап қопламаси манфий потенциалга эга бўлади. Вақт  $t = t_2$  бўлганда  $V_2$  ва  $V_4$  венти́ллари бошқариш импульси берилади. Венти́ллари  $V_1$  ва  $V_3$  ёпилишга улгурмаганда конденсатор венти́ллари орқали қисқа туташган бўлиб қолиб, зарядсизланади. Конденсаторнинг зарядланиш токнинг йўналиши  $V_2$  ва  $V_4$  венти́лларидаги токнинг йўналиши билан мос тушади,  $V_1$  ва  $V_3$  венти́лларидан ўтувчи токка эса тескарисдир. Венти́ллари  $V_1$  ва  $V_3$  ёпилади. Бунда  $V_2$  ва  $V_4$  венти́лларидан ўтувчи ток  $i = I_d$  бўлади. Конденсатор қайта зарядланади. Энди унинг ўнг қопламаси манфий потенциалга, чап қопламаси эса мусбат потенциалга эга бўлади (15.45- расм. б). Конденсатор кучланиши ўзгарувчан бўлгани учун истеъмолчидаги кучланиш ҳам ўзгарувчан ва унинг



15.46- расм.

эффектив қиймати  $U = \frac{U_d}{0,9 \cos \psi}$  бўлади. Бу ерда  $\psi$  — инверторланган кучланиш ва инверторланган токнинг асосий гармоникалари орасидаги бурчак. Кириш кучланиши ўзгармас бўлганда чиқиш кучланиши  $U$  бурчак  $\psi$  нинг қийматига боғлиқдир. Чиқиш кучланишининг шакли истеъмолчи характерига ва  $C$  сифимнинг қийматига боғлиқдир.

Кучланиш инверторларида кириш кучланишининг ўзгармас бўлишини таъминлаш учун улар манбага конденсатор  $C$  орқали уланади. 15.46- расмда автоном кучланиш инверторининг схемаси кўрсатилган.  $V_1$  ва  $V_4$  вентиллар очик бўлганида ток  $V_1$  вентиль,  $Z_H$  истеъмолчи ва  $V_4$  вентиллар орқали ўтади. Бу вақтда  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар ёпиқ бўлади. Истеъмолчидаги ток  $V_1$  вентилга уланган учликдан  $V_4$  вентилга уланган учликка оқиб ўтади. Агар истеъмолчи актив характерга эга бўлса, ток кучланишнинг шаклини такрорлайди. Агар истеъмолчи актив-индуктив характерга эга бўлса,  $V_1$  ва  $V_4$  вентиллар ёпилиб,  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар очилганида ток ўз йўналишини сақлаб қолишга ҳаракат қилади. Бунда у қисман  $V_4$  ва  $V_6$  вентиллар, қисман  $V_1$  ва  $V_7$  вентиллар орқали туташади ва нолга тенглашади. Манбадан келаётган ток очилган  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар орқали истеъмолчидан ўтади. Мазкур токнинг йўналиши олдинги токникага нисбатан қарама-қаршидир. Сўнгра  $V_2$  ва  $V_3$  вентиллар ёпилиб,  $V_1$  ва  $V_4$  вентиллар очилади ва жараён такрорланади. Бошқарилмайдиган  $V_5, V_6, V_7$  ва  $V_8$  вентиллар бошқариладиган вентилларни шунтлаш учун ишлатилади. Истеъмолчидаги ток

ва кучланишларнинг ўзгариш графиги 15.46-расмда кўрсатилган.

### 15.9. ЧАСТОТА УЗГАРТИРГИЧЛАР

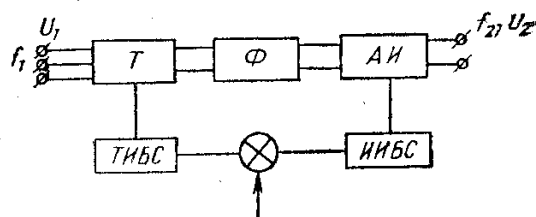
Частота ўзгартиргичлар маълум частотали ўзгарувчан токнинг частотасини ўзгартириш учун хизмат қилади. Тиристорли частота ўзгартиргичлар икки турга: оралиқда ўзгармас ток занжири бўлган ва бевосита боғланган ўзгартиргичларга бўлинади.

Оралиқда ўзгармас ток занжири бўлган ўзгартиргичлар иккита ўзгартиргичдан иборат. 15.47-расмда мазкур частота ўзгартиргичнинг структура схемаси кўрсатилган. Частотаси  $f_1$  бўлган ўзгарувчан кучланиш ( $U_1$ ) тўғрилагич ёрдамида ўзгармасга айлантирилади ва Фильтр  $\Phi$  ёрдамида текисланиб, автоном инвертор (АИ) га берилади. Мазкур ўзгармас кучланиш инвертор ёрдамида частотаси  $f_2$  бўлган кучланиш ( $U_2$ ) га айлантирилади.  $U_2$  нинг қиймати тўғрилагич ёрдамида, частотаси эса АИ ёрдамида бошқарилади. ТИБС (тўғрилагичнинг ишлашини бошқариш системаси) ва ИИБС (инверторнинг ишлашини бошқариш системаси) частотани кенг оралиқда бошқариш имконини беради.

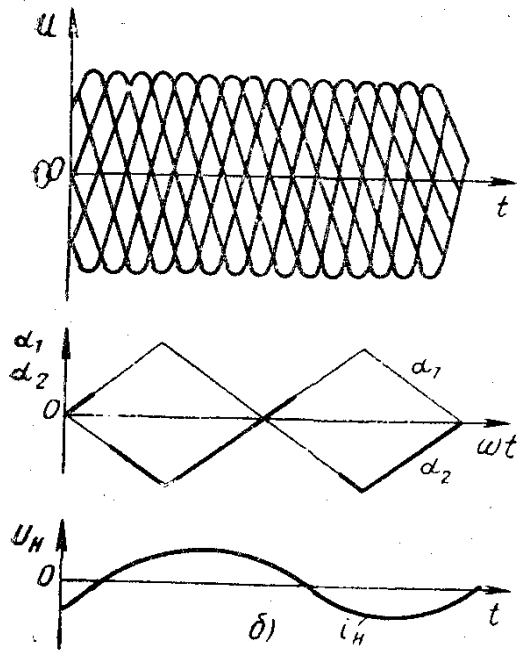
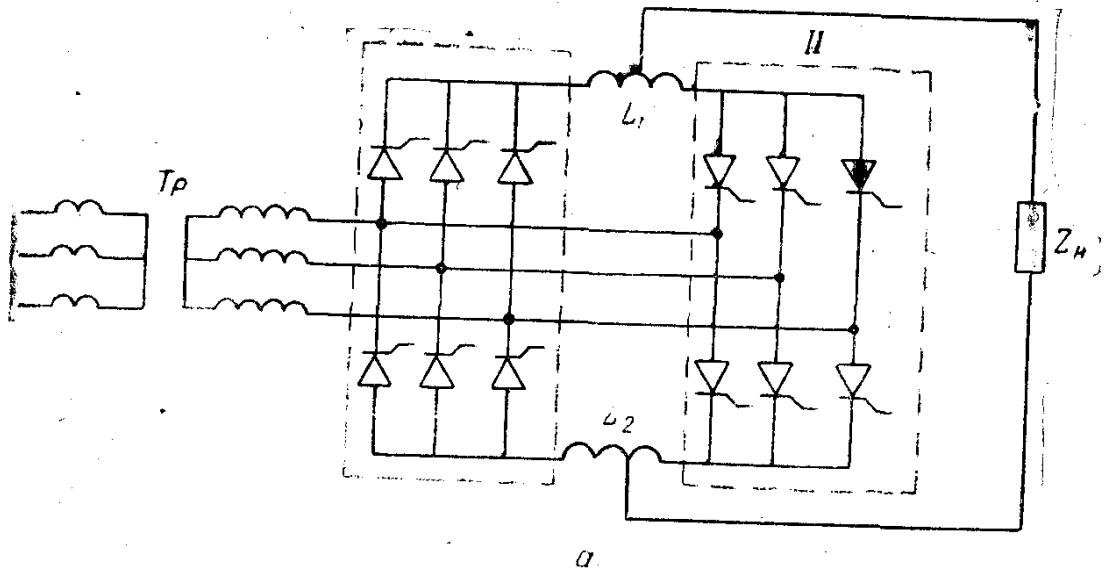
Частота ўзгартиргичлар айланиш частотаси катта оралиқда ўзгарадиган электр двигателларни таъминлашда ишлатилади. Бу ўзгартиргичларнинг тузилиши анча содда. Уларнинг асосий камчилиги иккита ўзгартириш бўғинининг мавжудлиги, ФИК нининг нисбатан кичиклиги ҳамда бошқариш системасининг катталиги ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда бевосита боғланган ўзгартиргичлар ишлаб чиқарилмоқда. Бевосита боғланган тиристорли ўзгартиргичлар чегараловчи  $L_1$  ва  $L_2$  реакторлар орқали параллел уланган икки гуруҳ тиристорлардан иборатдир. Ҳар бир тиристорлар гуруҳи гоҳ тўғрилагич, гоҳ инвертор режимида ишлайди. Маълум вақт ичида биринчи гуруҳ венти́лларни очиш бурчаги  $\alpha_1 < \frac{\pi}{2}$  бўлса, бу венти́ллар тўғрилагич режимида ишлайди.

Иккинчи гуруҳ венти́лларнинг очиш бурчаги  $\alpha_2 = \pi - \alpha_1 = \beta_1$ . Улар инвертор режимида ишлайди, кейин улар алмашади. Маълум частота билан венти́лларни очиш бурчагини даврий равишда ўзгартириб, тўғрилаш ва инверторлаш режимлари бошқарилса, ўзгартиргичнинг чиқшидан ўзгарувчан кучланиш олиш мумкин. Бу кучланиш асосий гармоникасининг частотаси ва амплитудаси бошқариш сигналининг частота ва амплитудасига боғлиқдир:



15.47- расм.



15.48- расм.

$$U_2 = U_{1 \max} \frac{m_1}{\pi} \sin \frac{\pi}{m_1} \sin \omega_2 t,$$

бу ерда:  $m_1$  — манбанинг фазалар сони;  $U_{1 \max}$  — таъминловчи кучланиш амплитудаси;  $\omega_2$  — чиқиш кучланиши асосий гармоникасининг частотаси.

15.48- расмда частота ўзгартиргичнинг схемаси ундаги кучланишнинг ўзгариш графиклари кўрсатилган. Реакторлар  $L_1$  ва  $L_2$  мувозанатловчи кучланиш таъсирида ҳосил бўладиган мувозанатловчи токни чегаралаш учун ишлатилади. Мувозанатловчи ёки тенглаштирувчи кучланиш бошқариш бурчаклари ( $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$ ) нинг даврий равишда ўзгариши ҳисобига юзага келади.

Частота ўзгартиргичларнинг афзаллиги қуйидагилардан иборат:

1. Бошқариш системасининг нисбатан ихчамлиги.
2. Чиқишдаги кучланиш амплитуда ва частотасининг текис бошқарилиши.
3. Тиристорнинг очилиш бурчагини бошқариш орқали чиқишда синусоидал кучланиш ҳосил қилиш мумкин.

Частота ўзгартиргичларнинг камчилиги сифатида реактив қувват кўпроқ истеъмол қилинишини, иш частоталарининг юқори қиймати чегараланганлигини, частота фақат камайтирилишини кўрсатиш мумкин.

## 15.10. КУЧАЙТИРГИЧЛАР

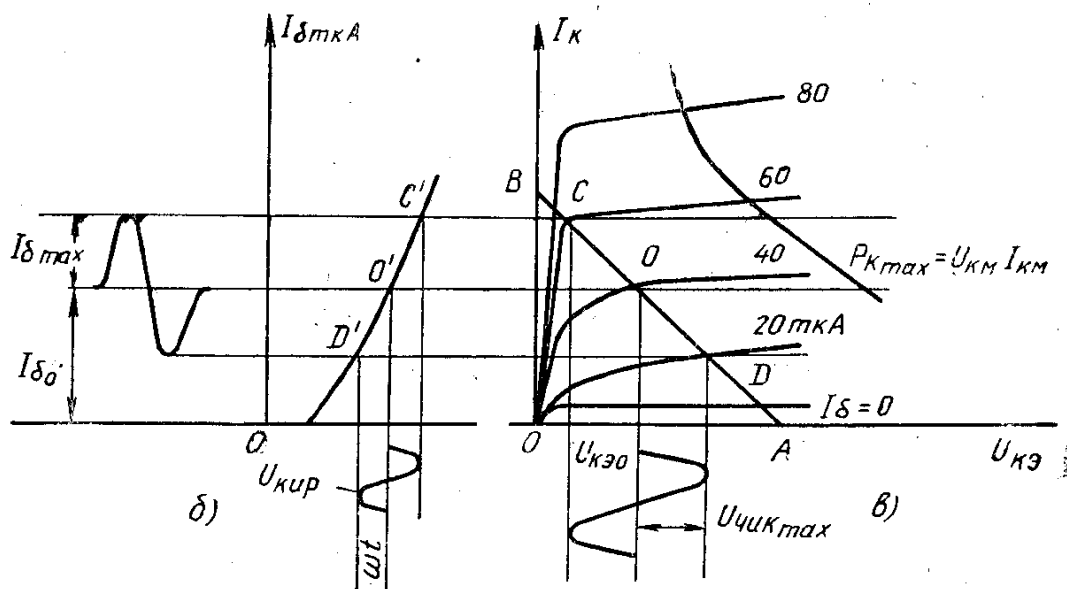
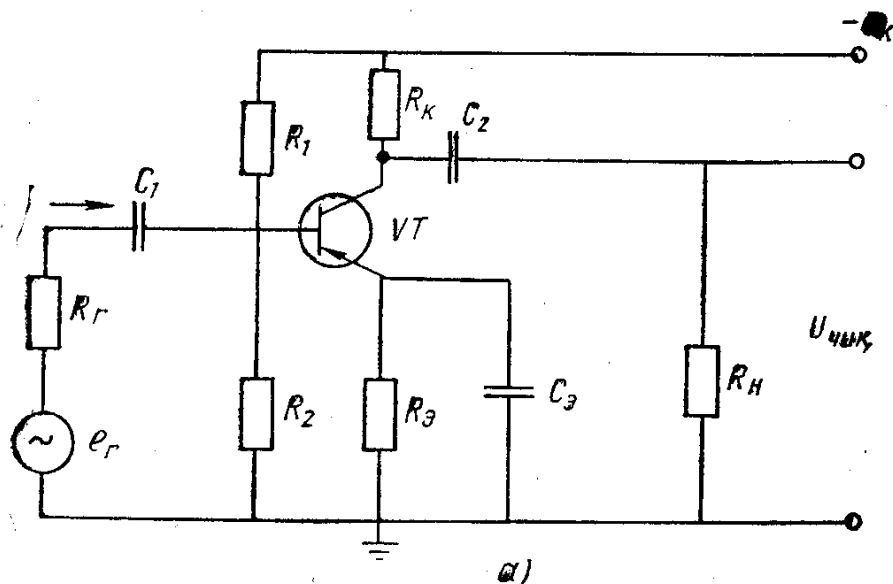
Автоматик бошқариш системалари, радиотехника, радиолокация ва бошқа системаларда кичик қувватли сигналларни кучайтириш учун кучайтиргичлардан фойдаланилади. Кичик қувватли ўзгарувчан сигналнинг параметрларини бузмасдан доимий кучланиш манбаининг қуввати ҳисобига кучайтириб берувчи қурилма кучайтиргич деб аталади.

Кучайтиргич қурилмаси кучайтирувчи элемент, резистор, конденсатор, чиқиш занжиридаги доимий кучланиш манбаи ҳамда истеъмолчидан иборат. Битта кучайтирувчи элемент бўлган занжир каскад деб аталади. Кучайтирувчи элемент сифатида қандай элемент ишлатилишига қараб кучайтиргичлар электрон, магнитли ва бошқа хилларга бўлинади. Иш режимига кўра улар чизиқли ва ноизиқли кучайтиргичларга бўлинади. Чизиқли иш режимда ишловчи кучайтиргичлар кириш сигналини унинг шаклини ўзгартирмасдан кучайтириб беради. Чизиқли бўлмаган иш режимда ишловчи кучайтиргичларда эса кириш сигнали маълум қийматга эришганидан сўнг чиқишдаги сигнал ўзгармайди.

Чизиқли режимда ишлайдиган кучайтиргичларнинг асосий характеристикаси амплитуда частота характеристикаси (АЧХ) дир. Ушбу характеристика кучланиш бўйича кучайтириш коэффициентининг модули частотага қандай боғлиқлигини кўрсатади. АЧХ сига кўра чизиқли кучайтиргичлар товуш частоталар кучайтиргичи (ТЧК), қуйи частоталар кучайтиргичи (ҚЧК), юқори частоталар кучайтиргичи (ЮЧК), секин ўзгарувчан сигнал кучайтиргичи ёки ўзгармас ток кучайтиргичи (ЎТК) ва бошқаларга бўлинади.

Ҳозирги вақтда энг кенг тарқалган кучайтиргичларда кучайтирувчи элемент сифатида икки қутбли ёки бир қутбли транзисторлар ишлатилади. Кучайтириш қуйидагича амалга оширилади. Бошқариладиган элемент (транзистор) нинг кириш занжирига кириш сигналнинг кучланиши ( $i_{кир}$ ) берилади. Бу кучланиш таъсирида кириш занжирида кириш токи ҳосил бўлади. Бу кичик кириш токи чиқиш занжиридаги токда ўзгарувчан ташкил этувчини ҳамда бошқариладиган элементнинг чиқиш занжирида кириш занжиридаги кучланишдан анча катта бўлган ўзгарувчан кучланишни ҳосил қилади. Бошқариладиган элементнинг кириш занжиридаги токнинг чиқиш занжиридаги токка таъсири қанча катта бўлса, кучайтириш хусусияти шунча кучлироқ бўлади. Бундан ташқари, чиқиш токнинг чиқиш кучланишига таъсири қанча катта бўлса (яъни  $R_{и}$  катта), кучайтириш шунча кучлироқ бўлади.

15.49-расмда умумий эмиттерли (УЭ) кучайтириш каскадининг схемаси ҳамда кириш ва чиқиш характеристикалари кўрсатилган. Кучайтириш каскадлари УЭ, УБ, УК схемалар бўйича йиғилади. Умумий коллекторли (УК) схема ток ва қувват бўйича кучайтириш имкониятига эга. Бунда  $K_u \ll 1$ . Схе-



15.49- расм.

ма, асосан, каскаднинг юқори чиқиш қаршилигини кичик қаршиликли истеъмолчи билан мослаш учун ишлатилади ва эмиттерли такрорлагич деб аталади. Умумий базали (УБ) схема бўйича йиғилган каскаднинг кириш қаршилиги кичик бўлиб, кучланиш ва қувват бўйича кучайтириш имкониятига эга. Бунда  $K_i \leq 1$ . Чиқишдаги кучланишнинг қиймати катта бўлиши талаб этилганда, мазкур каскаддан фойдаланилади. Кўпинча, умумий эмиттерли (УЭ) схема бўйича йиғилган каскадлар ишлатилади (15.49-расм, а). Бундай каскад токни ҳам, кучланишни ҳам кучайтириш имкониятига эга. Кучайтириш каскадининг асосий занжири транзистор (VT), қаршилик  $R_k$  ва манба  $E_k$  дан иборат. Қолган элементлар ёрдамчи сифатида ишлатилади.  $C_1$  конденсатор кириш сигналининг ўзгармас ташкил

этувчисини ўтказмайди ва базанинг тинч ҳолатидаги  $U_{\text{бл}}$  кучланишнинг  $R_{\text{г}}$  қаршиликка боғлиқ эмаслигини таъминлайди. Конденсатор  $C_2$  истеъмоли занжирига чиқиш кучланишининг доимий ташкил этувчисини ўтказмай ўзгарувчан ташкил этувчисинигина ўтказиш учун хизмат қилади.  $R_1$  ва  $R_2$  резисторлар кучланиш бўлгич вазифасини ўтаб, каскаднинг бошланғич ҳолатини таъминлаб беради.

Коллекторнинг дастлабки токи ( $I_{\text{кл}}$ ) базанинг дастлабки токи  $I_{\text{бл}}$  билан аниқланади. Резистор  $R_1$  ток  $I_{\text{бл}}$  нинг ўтиш занжирини ҳосил қилади ва резистор  $R_2$  билан биргаликда манба кучланишининг м. сбат қутби билан база орасидаги кучланиш  $U_{\text{бл}}$  ни юзага келтиради.

Резистор  $R_3$  манфий тескари боғланиш элементи бўлиб, дастлабки режимнинг температура ўзгаришига боғлиқ бўлмаслигини таъминлайди. Каскаднинг кучайтириш коэффициенти камайиб кетмаслиги учун қаршилик  $R_3$  га параллел қилиб конденсатор  $C_3$  уланади. Конденсатор  $C_3$  резистор  $R_3$  ни ўзгарувчан ток бўйича шунтлайди.

Синусоидал ўзгарувчи кучланиш ( $u_{\text{кыр}} = U_{\text{кыр max}} \sin \omega t$ ) конденсатор  $C$  орқали база — эмиттер соҳасига берилади. Бу кучланиш таъсирида, бошланғич база токи  $I_{\text{бл}}$  атрофида ўзгарувчан база токи ҳосил бўлади.  $I_{\text{бл}}$  нинг қиймати ўзгармас манба кучланиши  $E_{\text{к}}$  ва қаршилик  $R_1$  га боғлиқ бўлиб, бир неча микроамперни ташкил қилади. Берилаётган сигналнинг ўзгариш қонунига бўйсунадиган база токи истеъмоли ( $R_{\text{и}}$ ) дан ўтаётган коллектор токининг ҳам шу қонун бўйича ўзгаришига олиб келади. Коллектор токи бир неча миллиамперга тенг. Коллектор токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси истеъмолида амплитудаси жиҳатдан кучайтирилган кучланиш пасажуви  $U_{\text{чик}}$  ни ҳосил қилади. Кириш кучланиши бир неча милливольтни ташкил этса, чиқишдаги кучланиш бир неча вольтга тенгдир.

Каскаднинг ишини график усулда таҳлил қилиш мумкин. Транзисторнинг чиқиш характеристикасида  $AB$  нагрузка чизигини ўтказамиз (15.49-расм, б). Бу чизиқ  $U_{\text{кэ}} = E_{\text{к}}$ ,  $I_{\text{к}} = 0$  ва  $U_{\text{кэ}} = 0$ ,  $I_{\text{к}} = \frac{E_{\text{и}}}{R_{\text{и}}}$  координаталари  $A$  ва  $B$  нуқталардан ўтади.  $AB$  чизиқ  $I_{\text{к max}}$ ,  $U_{\text{кэ max}}$  ва  $P_{\text{к}} = U_{\text{к max}} \cdot I_{\text{к max}}$  билан чегараланган соҳанинг чап томонида жойлашиши керак.  $AB$  чизиқ чиқиш характеристикасини кесиб ўтадиган қисмда иш участкасини танлаймиз. Иш участкасида сигнал энг кам бузилишлар билан кучайтирилиши керак. Нагрузка чизигининг  $C$  ва  $D$  нуқталар билан чегараланган қисми бу шартга жавоб беради. Иш нуқтаси  $O$ , шу участканинг ўртасида жойлашади.  $DO$  кесманинг абсциссалар ўқидаги проекцияси коллектор кучланиши ўзгарувчан ташкил этувчисининг амплитудасини билдиради.  $CO$  кесманинг ординаталар ўқидаги проекцияси коллектор токининг амплитудасини билдиради. Бошланғич коллектор токи ( $I_{\text{к0}}$ ) ва кучланиши ( $U_{\text{кэ0}}$ )  $O$  нуқтанинг проекциялари билан



аниқланади. Шунингдек,  $O$  нуқта бошланғич ток  $I_{б0}$  ва кириш характеристикасидаги  $O$  иш нуқтасини аниқлаб беради. Чиқиш характеристикасидаги  $C$  ва  $D$  нуқталарга кириш характеристикасидаги  $C'$  ва  $D'$  нуқталар мос келади. Бу нуқталар кириш сигнаlining бузилмасдан кучайтириладиган чегарасини аниқлаб беради.

Каскаднинг чиқиш кучланиши

$$U_{чик} = I_k \cdot R_n.$$

Каскаднинг кириш кучланиши

$$U_{кир} = I_0 \cdot R_{кир};$$

бу ерда  $R_{кир}$  — транзисторнинг кириш қаршилиги.

Ток  $I_n \gg I_0$  ва қаршилик  $R_n \gg R_{кир}$  бўлгани учун схеманинг чиқишидаги кучланиш кириш кучланишидан анча каттадир. Кучайтиргичнинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти  $K_u$  қуйидагича аниқланади:

$$K_u = \frac{U_{чик \max}}{U_{кир \max}},$$

ёки гармоник сигналлар учун

$$K_u = \frac{U_{чик}}{U_{кир}}.$$

Каскаднинг ток бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_I = \frac{I_{чик}}{I_{кир}},$$

бу ерда:  $I_{чик}$  — каскаднинг чиқиш томонидаги токнинг қиймати;  $I_{кир}$  — каскаднинг кириш томонидаги токнинг қиймати. Кучайтиргичнинг қувват бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_p = \frac{P_{чик}}{P_{кир}},$$

бу ерда  $P_{чик}$  — истеъмолчига бериладиган қувват;  $P_{кир}$  — кучайтиргичнинг кириш томонидаги қувват.

Кучайтириш техникасида бу коэффициентлар логарифмик қиймат — децибеллда (америкалик инженер Белл шарафига қўйилган) ўлчанади.

$$K_u (\text{дБ}) = 20 \lg K_u \quad \text{ёки} \quad K_u = 10^{\frac{K_u (\text{дБ})}{2}};$$

$$K_I (\text{дБ}) = 20 \lg K_I \quad \text{ёки} \quad K_I = 10^{\frac{K_I (\text{дБ})}{2}};$$

$$K_p (\text{дБ}) = 10 \lg K_p \quad \text{ёки} \quad K_p = 10^{K_p (\text{дБ})}.$$

Одамнинг эшитиш сезгирлиги сигнаlining 1 дБ га ўзгаришини ажрата олгани учун ҳам шу ўлчов бирлиги киритилган.

Ҳар бир кучайтиргич кучайтириш коэффициентларидан ташқари қуйидаги параметрларга ҳам эгадир.

Кучайтиргичнинг чиқиш қуввати (истеъмолчига сигнални бузмасдан бериладиган энг катта қувват):

$$P_{\text{чик}} = \frac{U_{\text{чик max}}^2}{R_H}$$

Кучайтиргичнинг фойдали иш коэффициенти

$$\eta = \frac{P_{\text{чик}}}{P_{\text{ум}}}$$

бу ерда  $P_{\text{ум}}$  — кучайтиргичнинг ҳамма манбалардан истеъмол қиладиган қуввати. Кучайтиргичнинг динамик диапазони кириш кучланишининг энг кичик ва энг катта қийматларининг нисбатига тенг бўлиб, дБ да ўлчанади:

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{кир max}}}{U_{\text{кир min}}}$$

Частотавий бузилишлар коэффициенти  $M(f)$  ўрта частоталардаги кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти  $K_{\text{ио}}$  нинг ихтиёрий частотадаги кучланиш бўйича кучайтириш коэффициентига нисбатидир:

$$M(f) = \frac{K_{\text{ио}}}{K_{\text{иф}}}$$

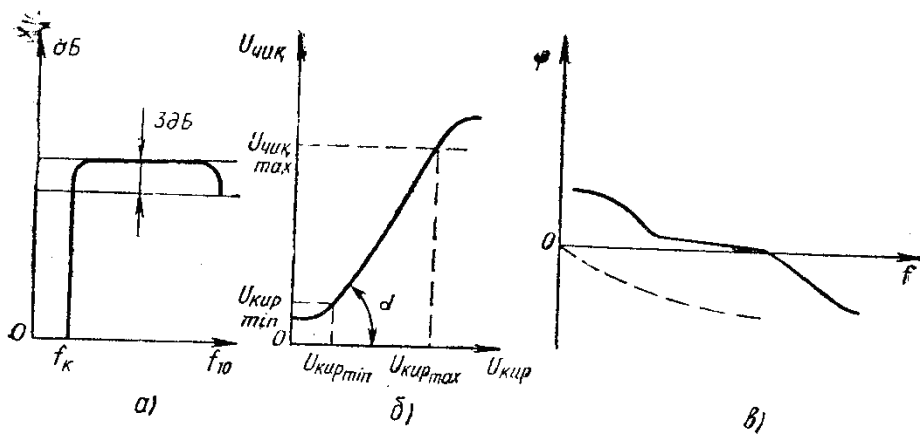
Чизиқли бўлмаган бузилишлар коэффициенти  $\gamma$  юқори частоталар гармоникаси ўрта квадратик йигиндисининг чиқиш кучланишининг биринчи гармоникасига нисбатидир:

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_{m_2 \text{ чик}}^2 + U_{m_3 \text{ чик}}^2 + \dots + U_{m_n \text{ чик}}^2}}{U_{m \text{ чик}}}$$

Сифатли кучайтиргичлар учун  $\gamma \leq 4\%$ , телефон алоқаси учун  $\gamma \leq 15\%$ .

Кучайтиргичнинг шовқин даражаси — шовқин кучланишининг кириш кучланишига нисбатини кўрсатади. Булардан ташқари, кучайтиргичлар амплитуда, частота ва амплитуда-частота характеристикалари билан ҳам баҳоланади.

Амплитуда характеристикаси чиқиш кучланишининг кириш кучланишига қандай боғланганлигини кўрсатади ( $U_{\text{чик}} = f \times \times (U_{\text{кир}})$ ). 15.50-расмда кучайтиргичнинг амплитуда, амплитуда-частота ва фаза-частота характеристикалари кўрсатилган. Бу характеристикалар ўрта частоталарда олинади. Ҳақиқий кучайтиргичнинг амплитуда характеристикаси идеал кучайтиргичникидан шовқин мавжудлиги ( $A$  нуқтанинг чап қисмидаги участка) ва чиқиш кучланишининг чизиқли эмаслиги ( $B$  нуқтанинг ўнг қисмидаги участка) билан фарқ қилади (15.50-расм,  $a$ ).

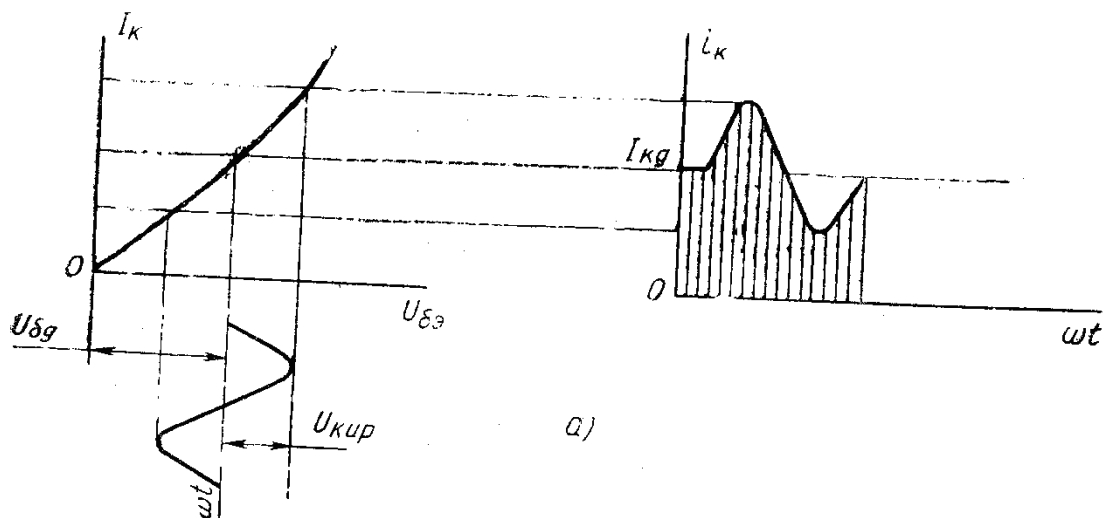


15.0- расм.

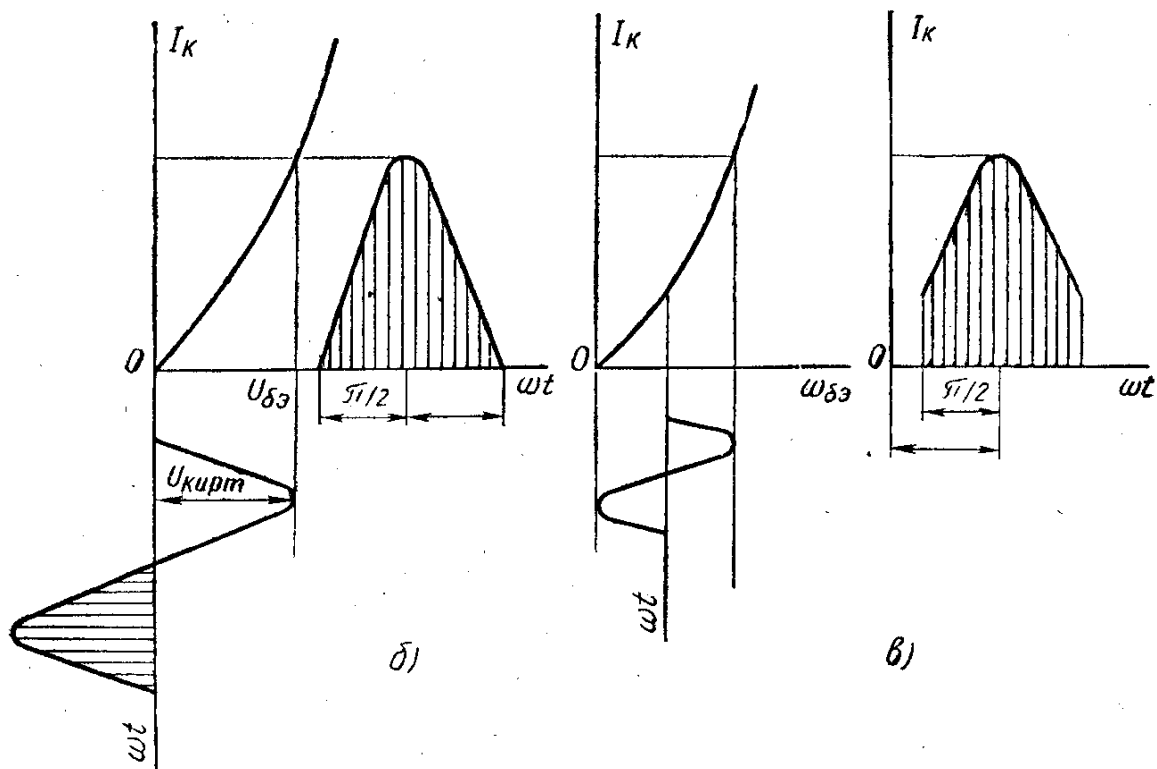
Кучайтиргичнинг частота характеристикаси кучайтириш коэффициентининг частотага боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чизиқдир. Мазкур характеристика логарифмик масштабда қурилади (15.50 расм. б).

Кучайтиргичнинг фаза-частота характеристикаси кириш ва чиқиш кучланишлари орасидаги силжиш бурчаги  $\varphi$  нинг частотага қандай боғланганлигини кўрсатади (15.50- расм, в). Бу характеристика кучайтиргич томонидан киритилган фазавий бузилишларни баҳолайди.

Иш нуқтасининг кириш характеристикасида қандай жойлашишига қараб кучайтиргичлар *A*, *B* ва *AB* режимларда ишлаши мумкин. 15.51- расмда кучайтиргичнинг иш режимларига оид графиклар кўрсатилган. *A* режимда, асосан, бошланғич кучайтириш каскадлари ва кичик қувватли чиқиш каскадлари ишлайди. Бу режимда ишлайдиган каскаднинг базага берилган силжиш кучланиши ( $U_{бэо}$ ) иш нуқтасининг динамик ўтиш характеристикаси чизиқли қисмининг ўргасида жойлашишини таъминлаб беради. Бундан ташқари, кириш сигналнинг амплитудаси



15.51- расм.



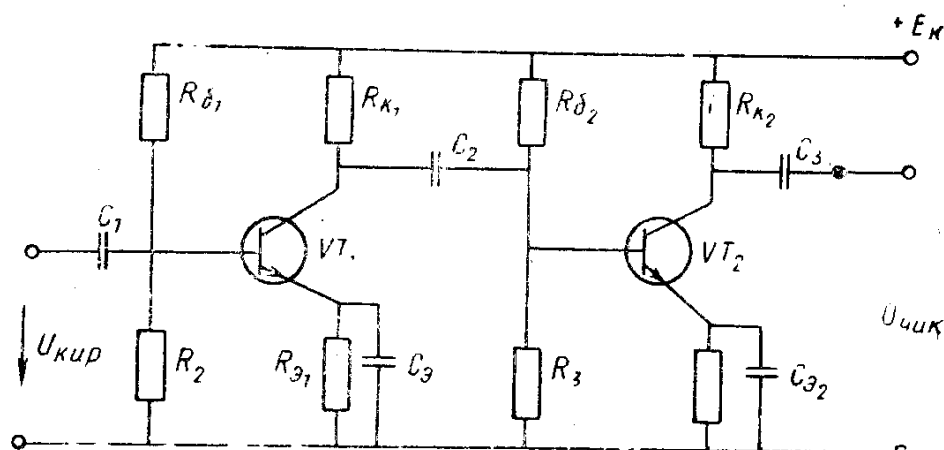
15.51-расм.

литудаси силжиш кучланишидан кичик ( $U_{\text{кирт}} < U_{\delta\text{э}}$ ) бўлиши ва бошланғич коллектор токи  $I_{\text{к0}}$  чиқиш токи ўзгарувчан ташкил этувчисининг амплитудасидан катта ёки тенглиги ( $I_{\text{к0}} \geq I_{\text{кт}}$ ) шартига амал қилинади. Натижада каскаднинг киришига синусоидал кучланиш берилганда чиқиш занжиридаги ток ҳам синусоидал қонун бўйича ўзгаради. А режимда сигналнинг чизиқли бўлмаган бузилишлари энг кам бўлади. Аммо кучайтиргич каскадининг мазкур режимдаги фойдали иш коэффициенти 20 — 30% дан ошмайди.

В режимда иш нуқғаси шундай танланадики, бунда *осойишталик токи* нолига тенг бўлади ( $I_{\text{к0}} = 0$ ). Кириш занжирига сигнал берилганда чиқиш занжиридан сигнал ўзгариш даврининг фақат ярмидагина ток ўтади. Чиқиш токи импульслар шаклида бўлиб, ажратиш бурчаги  $\theta = \frac{\pi}{2}$  бўлади. В режимда чизиқли бўлмаган бузилишлар кўп бўлади. Лекин бу режимда каскаднинг ФИК 60 — 70% ни ташкил қилади. Мазкур режимда, асосан икки тактли катта қувватли каскадлар ишлайди.

АВ режими А ва В режимлар оралиғидаги режим бўлиб, чиқишда катта қувват олиш, шунингдек чизиқли бўлмаган бузилишларни камайгириш мақсадида қўлланилади.

Кучайтиргичлар  $U = 10^{-7}$  В кучланиш ва  $I = 10^{-14}$  А токларни кучайтира олади. Бундай сигналларни кучайтириб бериш учун битта каскад етарли бўлмагани учун бир нечта кас-



15.52-расм.

кад ишлатилади. Улар бир нечта дастлабки кучайтириш каскади (каскад кучланишни кучайтириб берали) ва қувватни кучайтирувчи чиқиш каскадларидан иборатдир. Каскадлар бири бири билан резистор (резистив боғланиш), трансформатор (трансформаторли боғланиш), сифим ва резистор (резистив-сифим боғланиш) ва бошқа элементлар ёрдамида уланиши мумкин.

Резистив-сифим боғланишли каскадларнинг ишлаши билан танишиб чиқамиз. Бу каскадлар кенг тарқалган бўлиб, микросхема шаклида ҳам ишлаб чиқарилади (15.52-расм). Кучайтиргич иккита умумий эмиттерли (УЭ) кучайтириш каскадидан иборат. Бу каскадлар  $C$  конденсатор орқали ўзаро боғланган. Мазкур конденсатор транзистор  $VT_1$  нинг коллектор занжирига, транзистор  $VT_2$  нинг база занжирига уланган. У биринчи транзистордан чиқаётган сигналнинг ўзгармас ташкил этувчисини иккинчи транзисторга ўтказмайди. Транзисторларнинг иш нуқталарини  $R_{\delta_1}$  ва  $R_{\delta_2}$  қаршиликлар таъминлаб беради. Иш нуқталарининг стабиллигини резистор ва конденсаторлар ( $R_{\varepsilon_1}, C_{\varepsilon_1}$  ва  $R_{\varepsilon_2}, C_{\varepsilon_2}$ ) таъминлаб беради.

Бир нечта каскадли кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ҳар бир каскад кучайтириш коэффициентларининг кўпайтмасига тенг:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n.$$

Керакли кучайтириш коэффициентиغا кўра ва ҳар бир УЭ ли каскад кучланиш бўйича 10 — 20 марта, қувват бўйича эса 100 — 400 марта кучайтириб беришини ҳисобга олиб, каскадлар сони аниқланганидан кейин ҳар бир каскад алоҳида ҳисобланади. Дастлабки кучайтириш каскадлари  $A$  режимда ишлайди. Каскадни ҳисоблаш қуйидаги тартибда бажарилади. Манба кучланиши  $E_k$  ва истеъмолчининг қаршилигига қараб

$$U_{кэ.ж} \geq (1,1 \div 1,3) E_k;$$

$$I_{кж} > 2I_{н \max} = 2 \frac{U_{чик \max}}{R_n},$$

бу ерда:  $k$ ,  $\varepsilon$ ,  $\beta$  — коллектор — эмиттер ўтишдаги кучланишнинг жоиз қиймати;  $I_{к\cdot ж}$  — коллектор занжиридаги токнинг жоиз қиймати.

Юқоридаги шартларни қаноатлантирадиган транзистор танланади. Унинг чиқиш характеристикасида иш нуқтаси аниқланади. Шу дастлабки иш нуқтасини таъминлаб берувчи база токи  $I_{б0}$  ўтиш характеристикасидан аниқланади ва  $R_6$  қаршиликка боғлиқ бўлади. Бу қаршилик қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$R_{61} = \frac{U_{к\varepsilon} - (I_{к0} + I_6) R_9}{I_{б0}}$$

$R_k$  ва  $R_9$  қаршиликларни аниқлаш учун чиқиш характеристикалардан  $R_{ум} = R_k + R_9$  аниқланади.  $R_{ум} = \frac{E_k}{I_k}$ ,  $R_9 = (0,15 - 0,25) R_k$  деб ҳисоблаб,

$$R_k = \frac{R_{ум}}{1,1 \div 1,25},$$

$$R_9 = R_{ум} - R_k.$$

Каскаднинг кириш қаршилиги

$$R_{кир} = \frac{2U_{кир\ max}}{2I_6\ max}$$

Агар база токи кучланиш бўлгичи орқали бериладиган бўлса, бўлгичнинг  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликлари қуйидагича аниқланади.

$$R_{12} \geq (8 \div 12) R_{кир} \text{ ва } R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ шартлардан}$$

$$R_1 = \frac{E_k R_{12}}{I_{к0} R_9}; \quad R_2 = \frac{R_1 \cdot R_{12}}{R_1 - R_{12}}$$

ларни аниқлаймиз.

Ажратувчи конденсаторнинг сифими қуйидагича аниқланади:

$$C = \frac{1}{2\pi f_k R_{чик} \sqrt{M_k^2 - 1}},$$

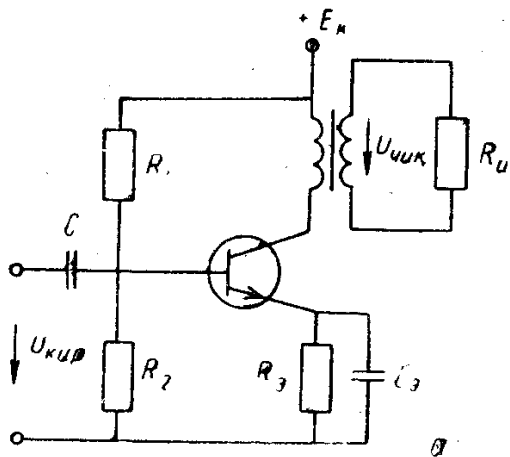
бу ерда:  $M_k$  — қуйи частоталардаги частотали бузилишлар коэффициенти;  $f_k$  — қуйи частоталар чегараси;  $R_{чик} = R_k + R_{и}$ .

Конденсаторнинг сифими қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$C_9 \geq \frac{10}{2\pi f_k R_9}.$$

Каскаднинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_u = \frac{U_{чик\ max}}{U_{кир\ max}}.$$



15.53- расм

Кучайтиргичнинг охирги каскади чиқиш каскадидир. Чиқиш каскади, асосан, қувватни кучайтириб беради ва бир тактли ёки икки тактли бўлади (15.53- расм). Каскаднинг чиқишидаги сигнал трансформатор орқали кичик қаршиликка эга бўлган истеъмолчига узатилади. Коллектордаги кучланиш ўзиндукция ЭЮК ҳисобига  $E_{кэ}$  дан икки марта катта бўлиши мумкин. Шунинг учун

$$E_{кэ} \leq U_{кэ.ж}/2$$

қилиб олинади.

Каскаднинг чиқишидаги қувват:

$$P_{чик\ max} = 0,5 U_{к\ max} \cdot I_{к\ max} \cdot \eta_{тр}$$

бу ерда  $\eta_{тр}$  — трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти.

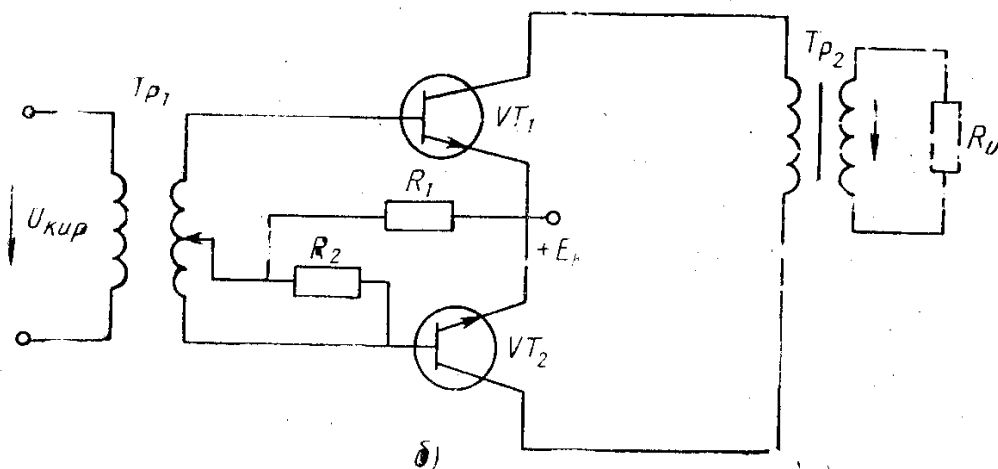
Кириш занжиридаги қувват ва кучайтириш коэффициенти:

$$P_{кир} = 0,5 I_{б\ max} U_{бэ\ max};$$

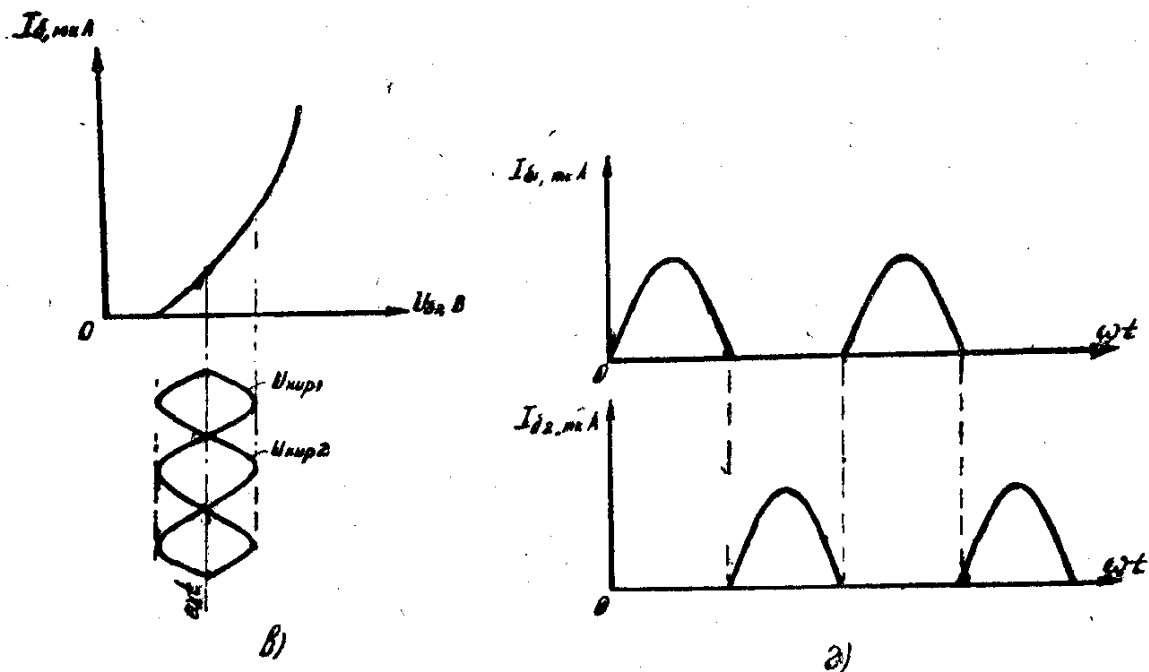
$$K_p = \frac{P_{чик}}{P_{кир}}$$

Трансформатор каскад чиқиш қаршилигининг истеъмолчининг кириш қаршиликкага яхши мос тушишини ва қувватнинг узатилиши учун энг яхши шароит яратилишини таъминлайди. Трансформаторнинг трансформация коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$n = \sqrt{\frac{R_{чик}}{R_{и}}}$$



15.53- расм.



15.53- расм.

Агар кучайтиргичнинг чиқишидаги қувват 20 Вт дан ортиқ бўлса, икки тактли симметрик схемалардан фойдаланилади. Бу схемадаги икки транзисторнинг ҳар бири  $B$  режимда ишлайди. Бундай схемаларнинг фойдали иш коэффициенти (70—75)% га етади. Тинч ҳолатда  $I_0 = 0$  ва бошланғич ҳолатда схема истеъмол қиладиган қувват

$$P_0 = 2E_{кэ} I_{00}.$$

Биринчи ярим даврда биринчи транзистор, иккинчи ярим даврда эса иккинчи транзистор ишлайди. Битта транзисторнинг чиқишидаги қувват:

$$P'_{\text{чиқ}} = \frac{U_{к\text{ max}} \cdot I_{к\text{ max}}}{2} = \frac{(I_{к\text{ max}} - I_{к0}) E_{кэ}}{4}.$$

Икки тактли каскаднинг чиқишидаги қувват:

$$P_{\text{чиқ}} = 2P'_{\text{чиқ}} = \frac{E_{кэ} (I_{к\text{ max}} - I_{к0})}{2}.$$

Кўпинча, кучайтиргичнинг барқарор ишлашини таъминлаш учун тескари боғланишдан фойдаланилади. Чиқиш занжиридаги сигнал маълум қисмининг кириш занжирига узатилиши *тескари боғланиш* деб аталади. Тескари боғланиш манфий ва мусбат бўлиши мумкин. Мусбат тескари боғланиш генератор каскадларида қўлланади. Кучайтириш каскадларида манфий тескари боғланишдан фойдаланилади (мусбат тескари боғланиш кучайтиргичлар учун зарарлидир). Тескари боғланиш кучланиши чиқиш кучланишининг маълум қисмини ташкил қила-



ди ва тескари боғланиш коэффиценти ( $\beta$ ) билан характерланади. Тескари боғланишли кучайтиргичларда:

$$K = \frac{u_{\text{чик}}}{u_{\text{сигн}}};$$

$$u_{\text{сигн}} = u_{\text{кир}} - u_{\text{тб}} = u_{\text{кир}} - \beta u_{\text{чик}} = u_{\text{кир}} (1 - \beta K).$$

Демак,

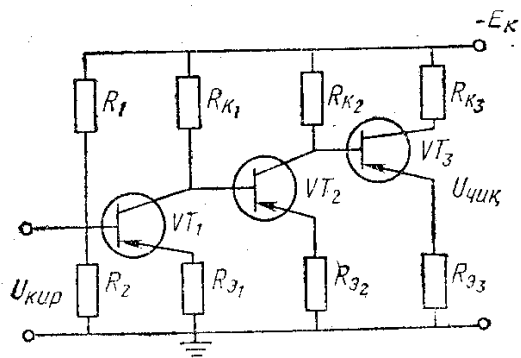
$$K_{\text{тб}} = \frac{Ku_{\text{кир}}}{u_{\text{сигн}}} = \frac{Ku_{\text{кир}}}{u_{\text{кир}}(1 - \beta K)} = \frac{K}{1 - \beta K}.$$

Тескари боғланиш манфий бўлганида  $\beta < 0$  бўлади ва  $K_{\text{тб}} = \frac{K}{1 + \beta K}$ , яъни кучайтириш коэффиценти камаяди. Лекин кучайтиргичнинг частота ва фаза бузилишлари камаяди.

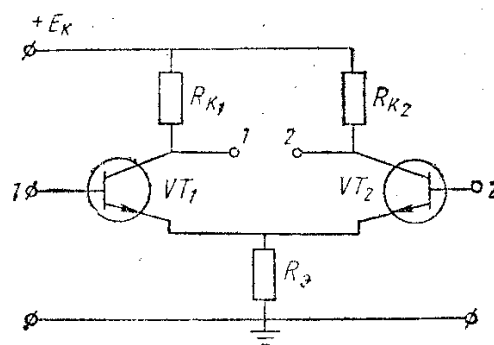
$R_3$  қаршилиги тескари боғланиш занжири бўлиб, чиқиш занжиридаги кучланишни қисман кириш занжирига узатади. Шунинг ҳисобига бошланғич иш нуқтасининг параметрлари стабиллашади. Юқорида кўриб чиқилган каскадларнинг барчаси синусоидал ўзгарувчан кучланишни кучайтириб беради. Айрим ҳолларда йўналиш жиҳатдан ўзгармай, фақат қиймати секин ўзгарувчи сигналларни ҳам кучайтириш талаб қилинади. Бундай ҳолларда гальваник боғланган ўзгармас ток кучайтиргичларидан фойдаланилади. 15.54-расмда аста-секин ўзгарувчи сигналлар кучайтиргичи кўрсатилган. Кучайтиргич уч каскаддан иборат. Ҳар бир каскад УЭ схема бўйича йиғилган. Ажратувчи конденсаторлар бўлмагани учун ҳар бир каскаднинг ўзгармас ташкил этувчиси кейинги каскаднинг базасига узатилади ва шунинг учун мазкур ташкил этувчи компенсацияланиши керак. Олдинги каскаднинг ўзгармас ташкил этувчисини компенсациялаш учун кейинги каскаднинг  $R_3$  қаршиликдан олинувчи ўзгармас кучланишдан фойдаланилади. Транзисторлар ( $VT_2$  ва  $VT_3$ ) нинг база-эмиттер нормал кучланишларини  $R_{31}$  ва  $R_{32}$  қаршиликлар таъминлаб беради. Транзистор  $VT_1$  нинг осойишталик режимини  $R_1$  ва  $R_2$  кучланиш бўлгич ва  $R_{31}$  қаршиликлар таъминлайди.

$R_{31}$ ,  $R_{32}$  ва  $R_{33}$  қаршиликлар ток бўйича манфий тескари боғланишни ҳосил қилиб, кучайтиргич нолининг кўчишини камайтиради. Кучайтиргич нолининг кўчиши деб чиқиш сигнали кириш сигналига боғлиқ бўлмаган ўзгаришига айтилади. Кўчишнинг асосий сабаби манба кучланишининг, атроф-муҳитнинг ҳарорати ва схема параметрларининг ўзгаришидир. Кўчиш кучланиши сигнал кучланиши билан тенглашиб сигналнинг анча бузилишига олиб келиши мумкин. Ноль кўчишини камайтириш мақсадида параллел-баланс ёки дифференциал каскадлардан фойдаланилади.

Икки сигнал фарқини кучайтирувчи қурилма *дифференциал кучайтиргич* деб аталади. Чиқишдаги сигнал ҳар бир ки-



15.54- расм.

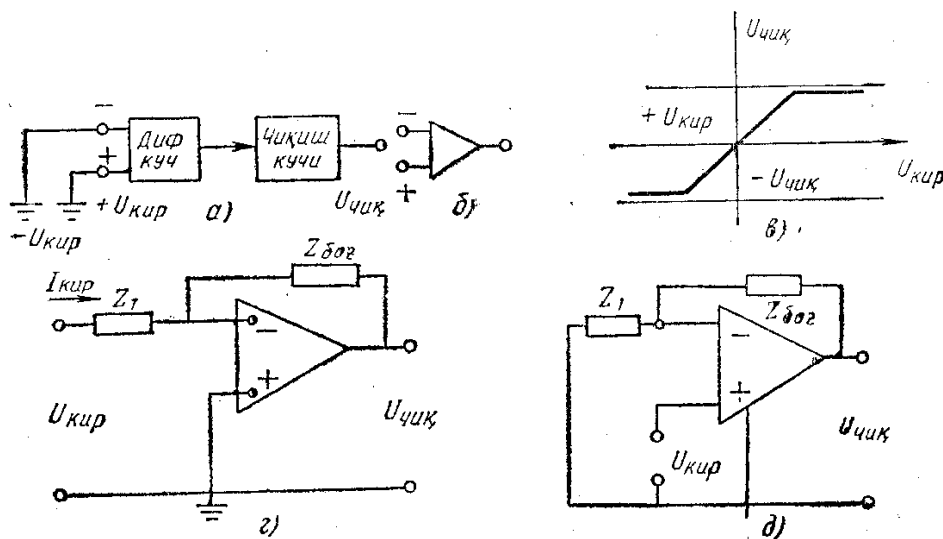


15.55- расм.

риш сигналига эмас, балки уларнинг айирмасига боғлиқдир. Энг оддий дифференциал кучайтиргич умумий эмиттер қаршилик уланган иккита бир хил транзистор асосида қурилади (15.55-расм) Кириш кучланишлари транзисторлар ( $VT_1$  ва  $VT_2$ ) нинг база-эмиттер ўтишига берилади. Бу кучланишларнинг айирмаси бир неча милливольтдан ортмаса, кучайтиргич ВАХ нинг чизиқли қисмида ишлайди. Унинг кучайтириш коэффициенти 100 га яқиндир. Чиқиш қисмалари 1' ва 2' дан чиқиш кучланиши олинади. Кучайтиргичнинг узатиш коэффициенти:

$$K(p) = \frac{U_{чик\ 1'2'}}{U_{кир\ 1} - U_{кир\ 2}}$$

Кучайтиргичларда бир хил транзисторларни топиш жуда қийин. Шу сабабдан микросхема асосида тузилган дифференциал кучайтиргич каскадларидан фойдаланилади. К118УЛ1 шундай схемаларнинг намунаси бўла олади. Ўзгармас ток кучайтиргичлари асосида турли математик операцияларни бажарувчи операцион кучайтиргичлар қуриш мумкин. Операцион кучайтиргичлар (ОК) юқори кучайтириш коэффициенти, катта кириш ва кичик чиқиш қаршилиги билан характерланади. ОК



15.56- расм.

кириш дифференциал кучайтиргичлардан иборатдир (15.56-расм). Кучайтиргич инверторловчи (—) ва инверсион (+) киришга эгадир. Схемаларда ОК учбурчак шаклида тасвирланади (15.56-расм, а). Сигнал қайси киришга берилганига қараб ОК инверторловчи ва ноинверсион усулларда уланади.

Инверторловчи усулда кириш кучланиши ОК нинг инверсион киришига берилади (15.56-расм, в), ноинверсион кириш эса ноль потенциалга эгадир.

Кириш токи:

$$I'_{\text{кир}} = \frac{(U'_{\text{кир}} - 0)}{Z_1}.$$

Чиқиш кучланиши:

$$U'_{\text{чиқ}} = -I'_{\text{кир}} Z_{\text{боғ}}.$$

Кучланишни узатиш коэффициенти:

$$K(p) = \frac{U'_{\text{чиқ}}}{U'_{\text{кир}}} = \frac{-I'_{\text{кир}} Z_{\text{боғ}}}{I'_{\text{кир}} Z_1} = -\frac{Z_{\text{боғ}}}{Z_1}.$$

Бундай узатиш коэффициенти идеаллаштирилган ОК га ҳосилдир.  $R_{\text{кир}} = \infty$ ,  $R_{\text{чиқ}} = 0$  ва кучланишни кучайгириш коэффициенти  $K = \infty$  деб ҳисобласак, ОК идеаллаштирилган бўлади. Аслида, реал ОК ларнинг узатиш коэффициенти  $K(p)$  идеал ОК нинг  $K(p)$  идан тахминан 0,03% га фарқ қилади.

ОК ноинверсион усулда уланганда кириш кучланиши унинг ноинверсион киришига берилади (15.56-расм, г). Чиқишдан кучланиш инверсион киришга берилади. Бунда тескари боғланиш кучланиши:

$$u_{\text{тб}} = \beta u_{\text{чиқ}}, \quad \beta = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_{\text{боғ}}}.$$

ОК нинг киришидаги кучланиш:

$$u_{\text{кир}} = u'_{\text{кир}} - u_{\text{тб}}.$$

Чиқишдаги кучланиш:

$$u_{\text{чиқ}} = K(u'_{\text{кир}} - \beta u_{\text{чиқ}})$$

ёки

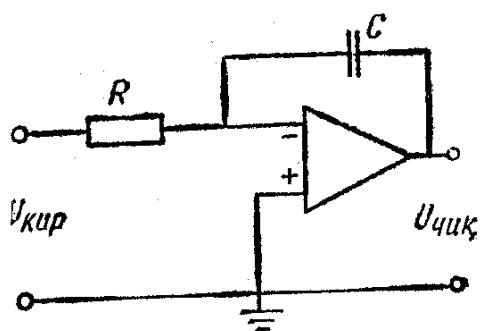
$$u_{\text{чиқ}} = \frac{K u_{\text{кир}}}{1 + \beta K}.$$

Кучайтириш коэффициенти:

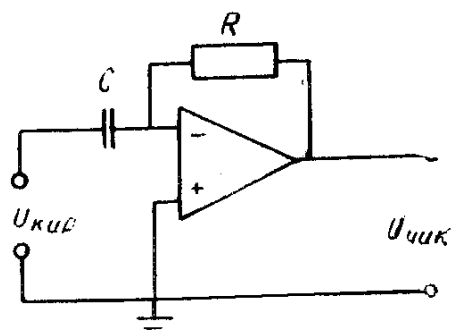
$$K = \frac{u_{\text{чиқ}}}{u_{\text{кир}}} = \frac{K u'_{\text{кир}}}{(1 + \beta K) u'_{\text{кир}}} = \frac{K}{1 + \beta K} = \frac{1}{\frac{1}{K} + \beta} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta K}}$$

$\beta K \gg 1$  бўлганида

$$K' = \frac{1}{\beta}.$$



15.57- расм.



15.58- расм.

ОК лар ёрдамида сигналларни қўшиш, дифференциаллаш, интеграллаш ва улар устида бошқа математик операциялар бажариш мумкин. Кириш сигналини интегралловчи схемани кўриб чиқамиз (15.57- расм). Кириш сигнали инверторловчи киришга берилади. Кириш занжирига резисторни, тескари боғланиш занжирига эса конденсатор улаймиз. Резисторидан ўтаётган ток:

$$i = u'_{кир} / R.$$

Бу ток конденсатордан ўтиб, уни зарядлайди ва  $u_c$  кучланишни ҳосил қилади (ушбу кучланиш чиқиш кучланишидир):

$$u_c = - \frac{1}{RC} \int_0^t u'_{кир} dt.$$

Дифференциалловчи кучайтиргичда кириш занжирига конденсатор  $C$  ни, боғланиш занжирига эса резистор  $R$  ни улаймиз (15.58- расм). Кириш кучланиши конденсаторни зарядлайди ва ундаги кучланиш кириш кучланишига тенг бўлади:  $u_c = u'_{кир}$ . Конденсатордан ўтаётган ток

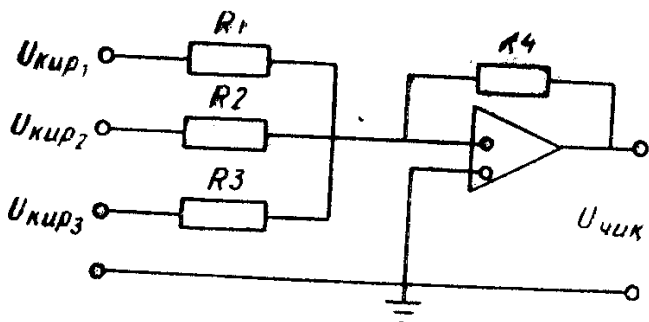
$$i = C \frac{du'_{кир}}{dt}.$$

Бу ток кучайтиргичга бормай,  $R$  қаршиликдан ўтиб, унда кучланиш пасаювини ҳосил қилади:

$$u_{чик} = -iR = -RC \frac{du'_{кир}}{dt}.$$

ОК сумматор сифатида ишлатилганда бир нечта кириш кучланишларининг йиғиндисини аниқлаш операциясини бажаради. Бунда ОК нинг инверторловчи киришига қўшиладиган сигналлар берилади, чиқишидан эса уларнинг йиғиндиси олинади. 15.59- расмда жамловчи ОК нинг схемаси кўрсатилган. Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан  $A$  тугундаги тоқлар йиғиндисини нолга тенг:

$$i_{кир1} + i_{кир2} + i_{кир3} - i_4 = 0.$$



15.59- расм.

Токларни кучланишлар орқали ифодаласак,

$$\frac{u_{кир1}}{R_1} + \frac{u_{кир2}}{R_2} + \frac{u_{кир3}}{R_3} = -\frac{u_{чик}}{R_4} = 0.$$

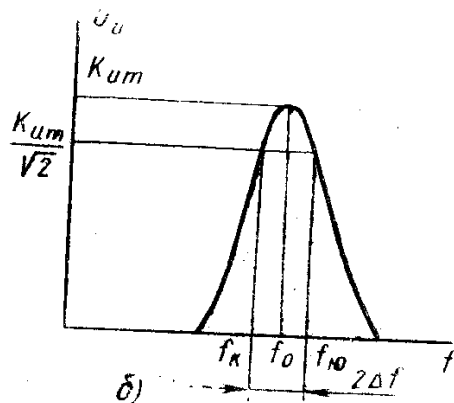
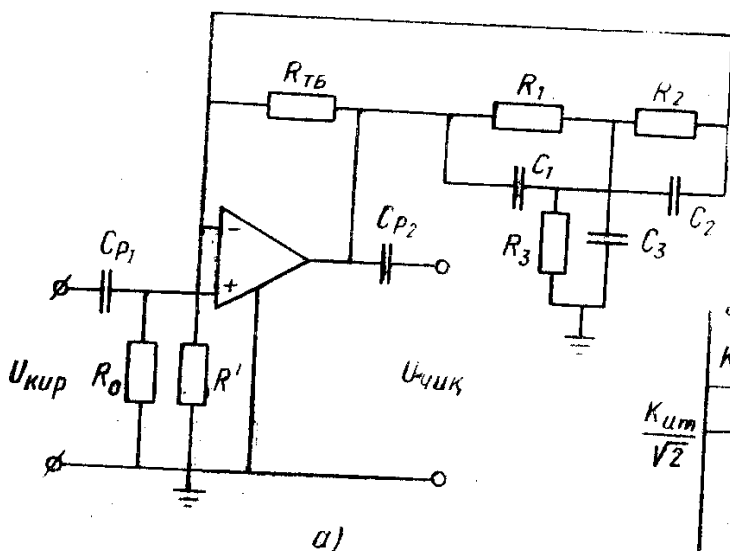
Бундан

$$u_{чик} = -\frac{u_{кир1}}{R_1} \cdot R_4 + \frac{u_{кир2}}{R_2} \cdot R_4 + \frac{u_{кир3}}{R_3} \cdot R_4.$$

Булардан ташқари, ОК лар логарифмлаш, потенцирлаш ва бошқа операцияларни ҳам бажара олади. Улар радиоэлектроника схемаларида ҳам кенг қўлланади.

ОК нинг тескари боғланиш занжирига иккиланган *T*-симон *RC* кўприкли занжир ўрнатилса, схема юқори частота ажратиш хусусиятига эга бўлади. 15.60-расмда частота кучайтиргичнинг схемаси ва амплитуда-частота характеристикаси кўрсатилган. Созлаш частотаси деб аталувчи  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$  частотада кучланишни узатиш коэффициенти  $\beta = \frac{u_{чик}}{u_{кир}}$  камайиб кетади.

Бунда тескари боғланиш таъсири камайиб, кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ( $K_{и\tau\delta}$ ) шу каскаднинг тескари боғланишда бўлмагандаги коэффициенти ( $K_{и\max}$ ) га тенг-



15.60- расм.

лашади. Созлаш частотаси ( $f_0$ ) дан фарқ қилувчи частоталарда тескари боғланиш коэффиценти бирга яқинлашиб, чиқишдаги сигнал бутунлай киришга берилади. Кучайтиргичнинг кучайтириш коэффиценти жуда кичик бўлади. Айрим частоталар ва частоталар доирасида кучайтирувчи кучайтиргичлар *частота ажратувчи кучайтиргичлар* дейилади. Бундай кучайтиргичларнинг юқори ва қуйи частоталар нисбати  $f_{ю}/f_{қ}$  бирга яқин, яъни 1,001 дан 1,1 гача бўлади (15.49-расм, б). Частота ажратувчи кучайтиргичлар радиотехника, телевидение, кўп каналли алоқа системаларида кенг қўлланилади.

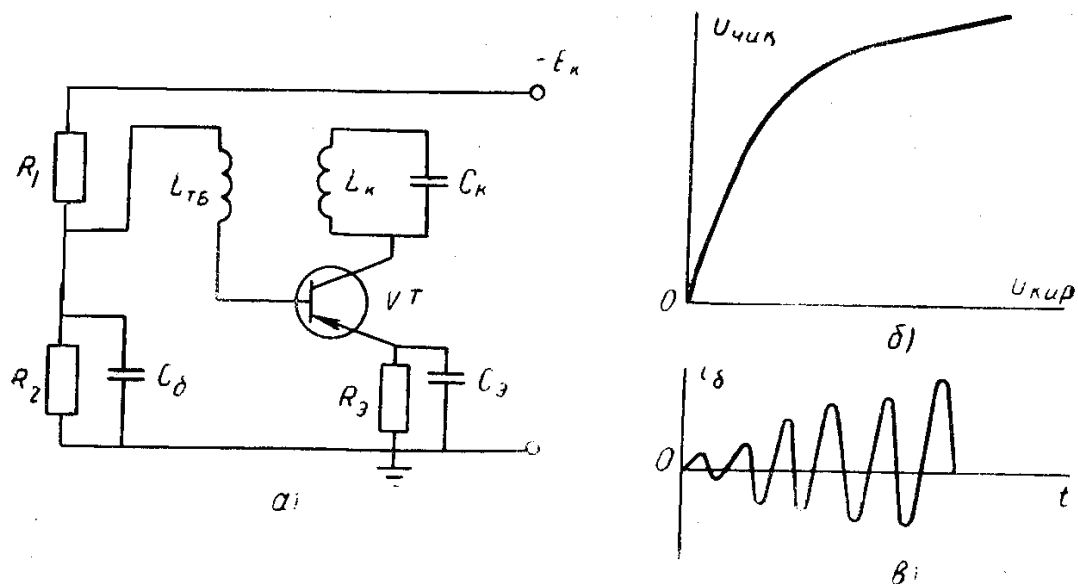
Манбадан тарқаладиган электр сигналлар (товуш, видеоимпульслар) частотасига созланган частота ажратувчи кучайтиргич фақат шу частотадаги сигналнигина кучайтириб беради. Юқорида кўриб чиқилган схемамиз товуш ва саноат частоталарида ишлайди ва частота ажратиш учун унинг  $RC$  занжири параметрлари  $R_1 = R_2 = R$ ,  $R_3 = \frac{R}{2}$ ,  $C_1 = C_2 = C$  ва  $C_3 = 2C$  шартларни қаноатлантириши керак.

Юқори частотали ажратувчи кучайтиргичларда оддий кучайтиргичнинг коллектор занжирига  $LC$  контур уланади.  $LC$  контур резонанс режимида ишлайди.  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  частотада кучайтиргичнинг кучайтириш коэффиценти максимал қийматга эга бўлади.

## 15.11. ЭЛЕКТРОН ГЕНЕРАТОРЛАР

Электрон генераторлар ўзгармас кучланиш (ток) манбаидан фойдаланиб, маълум частота ва шаклдаги электр тебранишларни ҳосил қилади. Улар радио аппаратлар, ўлчов техникаси, автоматика қурилмалари ва ЭҲМ ларда кенг қўлланилади ва тебранишлар шаклига, частотаси ва уйғотиш турига қараб бир неча хилга бўлинади.

Электрон генераторлар мусбат тескари боғланишли кучайтиргичлар асосида қурилади. Мусбат тескари боғланиш берилган частотада схеманинг ўз-ўзидан уйғотилишини таъминлайди. Бундай схемаларда ўз-ўзидан уйғотиш юзага келиши учун икки шарт бажарилиши керак. Биринчидан, кучайтиргичнинг кучайтириш коэффиценти ва тескари боғланиш коэффиценти модулларининг ўзаро кўпайтмаси бирдан катта бўлиши керак, яъни  $|K| \cdot |\beta| > 1$ . Иккинчидан, кучайтиргич ва тескари боғланиш занжиридан киритилган фазовий силжиш бурчакларнинг йиғиндиси  $2\pi$  га каррали бўлиши керак, яъни  $\varphi_k + \varphi_{тб} = 2\pi n$ . Шунда кучайтиргичнинг чиқишидаги кучланиш мусбат тескари боғланиш занжири орқали киришига берилади. Киришдаги кучланиш билан қўшилиб, янада кучаяди. Мисол учун  $LC$  типдаги синусоидал кучланишлар генераторининг ишлашини кўриб чиқамиз (15.61-расм). Тебраниш конгурида



15.61- расм.

керакли частотадаги тебранишлар ҳосил бўлади. Транзистор тескари боғланиш занжири орқали киришга берилган кучланишни кучайтиради. Мусбат тескари боғланиш занжири схемасининг чиқишидаги кучланишни керакли миқдор ва фазада киришга узатади. Ўзгармас ЭЮК манбаининг энергияси контурининг тебранма энергиясига айланади. Контурдаги конденсатор  $C_k$  манба  $E$  га уланганда резистор  $R_3$ , транзисторнинг эмиттери, базаси, коллектори  $C_k - E$  занжир орқали зарядланади. Конденсатор  $C_k$  ва индуктив ғалтак ўзаро параллел бўлган тебраниш контурини ҳосил қилади. Конденсатор  $C_k$  маълум энергияга эга бўлганидан кейин  $f_0$  частотали эркин тебранишлар ҳосил бўлади. Частота  $f_0$  контурнинг параметрларига боғлиқдир:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_k C_k}}$$

$L_k$  ва  $L_{TB}$  ғалтаклар ўзаро индуктив боғланган. Ғалтак  $L_{TB}$  да контур частотасидаги ўзгарувчан кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш транзисторнинг эмиттер-база участкасига берилади. Коллектор токи ҳам частота  $f_0$  билан ўзгаради. Тескари боғланиш мусбат бўлгани учун коллектор токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси контурдаги тебранишларни кучайтиради. Натижада транзистор киришидаги ўзгарувчан кучланиш амплитудаси ортади, коллектор токи эса яна ортади ва ҳоказо. Коллектор токи ўзгарувчан ташкил этувчисининг ортиши чегараланган, чунки транзисторнинг кириш ва чиқиш кучланишлари автогенераторнинг тебраниш характеристикаси билан аниқланади.

Контурда сўнмас тебранишлар ҳосил қилиш учун мусбат тескари боғланишни таъминлаш кифоя қилмайди. Контурдаги

энергия исрофи манба энергияси ҳисобига тўла компенсацияланган бўлиши керак. Демак, контурда сўнмас тебранишлар ҳосил бўлиши учун икки шарт бажарилиши зарур (бу икки шарт ўз-ўзидан уйғониш шарти деб аталади):

1. Фазалар балансининг шарти (мусбат тескари боғланиш орқали таъминланади).

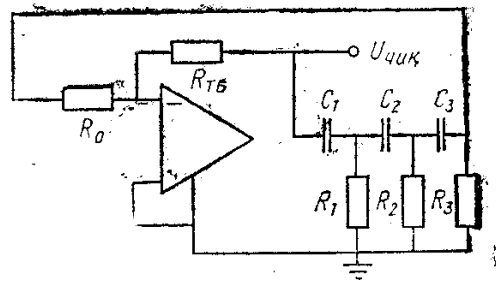
2. Амплитудалар балансининг шарти (тескари боғланиш коэффициентини  $\beta$  га боғлиқ).

LC типдаги автогенераторлар юқори частоталарда ишлатилади, паст частоталарда ишлатилганда эса тебраниш контурининг конструкцияси қўпол бўлади. Қуйи частотали синусоидал тебранишлар ҳосил қилиш учун анча содда ва арзон, RC типдаги автогенератордан фойдаланилади. 15.62-расмда учта RC занжирли генераторнинг схемаси кўрсатилган. Схемага тебранма контур ўрнига резистор  $R$  уланади. Мусбат тескари боғланиш учта RC бўғиндан ташкил топган фаза бурғичдан иборат. Схеманинг чиқиш учини унинг кириш учи билан бевосита боғлаб, ўз-ўзидан уйғониш шартлари бажарилса, генерацияланаётган тебранишлар синусоидал бўлмайди. Ҳосил бўладиган тебранишлар синусоидал бўлиши учун мусбат тескари боғланиш косинусоидал тебранишларнинг аниқ бир гармониясига мўлжалланади. Шу функцияни фазабурғич RC занжири бажаради. Занжир параметрлари шундай танланадими, коллектор токи ва коллектор потенциали ортганда база потенциали камаяди. Бошқача қилиб айтганда, коллектор ва базадаги кучланишлар қарама-қарши фазада бўлиши керак. Фазалар баланси шарти шундан иборатдир.

Уч звеноли RC занжирнинг тескари боғланиш коэффициентини аниқлаймиз. Агар  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  ва  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ , кириш ва чиқиш кучланишлари орасидаги бурчак  $180^\circ$  бўлса, ўз-ўзидан уйғониш  $f_0 = \frac{1}{15,4RC}$  частотада содир бўлади.

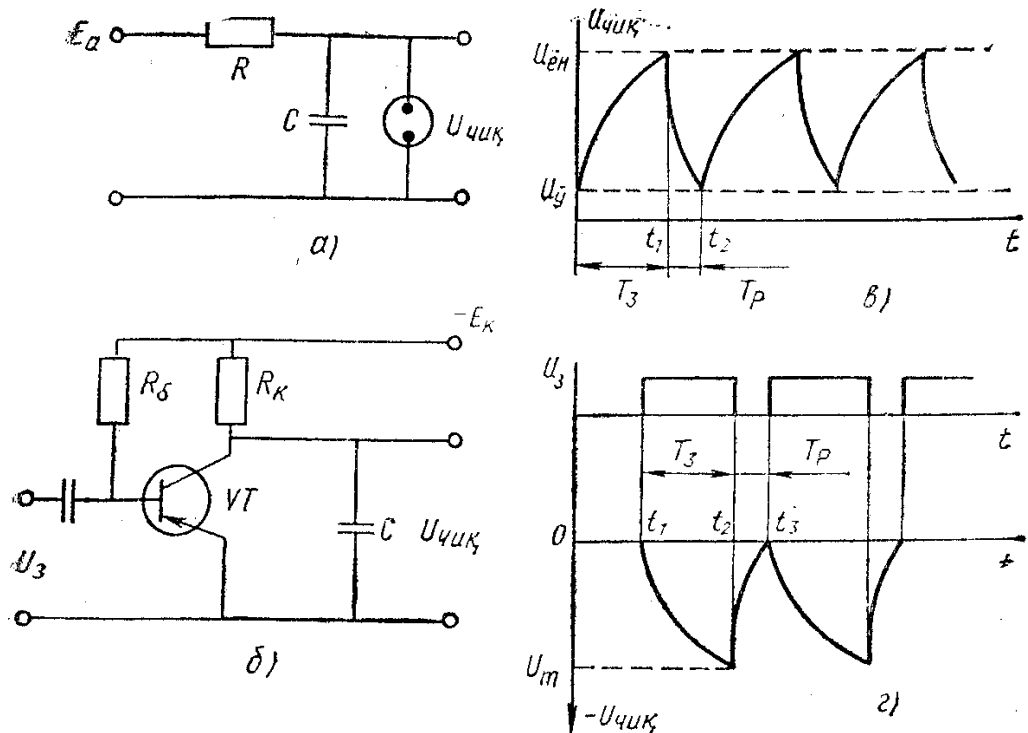
Узатиш коэффициентининг модули  $\beta$  эса тахминан  $1/29$  га тенг. Амплитудалар баланси кучайтиргичнинг коэффициенти 29 дан кам бўлмаганида бажарилади.

RC автогенератор бир неча камчиликларга эга. Чунончи, тескари боғланиш кучайтиргич каскадини шунтлайди ва кучайтириш коэффициентини камайтиради. Натижада, ҳосил бўлган тебранишлар беқарор бўлади. Бунинг олдини олиш мақсадида чиқиш ва тескари боғланиш занжирларининг орасига электр такрорлагич қўйилади. Шунингдек, генерацияланган тебранишларнинг шакли бузилган ҳамда ўз-ўзидан уйғотиш шартлари фақат частота  $f_0$  га яқин бўлган гармоникалар учун бажарилади.



15.62- расм.





15.63- расм.

Генерацияланган тебранишлар шаклининг бузилишини йўқотиш учун кучайтиргичга манфий тескари боғланиш киритилади. Бунинг учун эмиттер занжирига  $R_3$  резистор уланади.

Чизиқли ўзгарувчи (аррасимон) кучланиш генератори 15.63-расм, б да кўрсатилган шаклидагидек кучланишни ҳосил қилади. Бу кучланиш осциллографларда, телевизион ва радиолокацион индикаторларда электрон нурни ёйиш учун ишлатилади.

Чизиқли ўзгарувчи кучланиш (ЧЎК) конденсаторнинг зарядланиши ёки зарядсизланиши ҳисобига ҳосил бўлади. Оддий аррасимон кучланиш генератори неонли лампа асосида қурилади (15.63-расм, а). Схема  $E_a$  манбага уланганда конденсатор  $C$  резистор  $R$  орқали зарядланади ва ундаги кучланиш ортиб боради ( $T_3$  давр ичида). Вақт  $t = t_1$  бўлганида (15.63-расм, б) конденсатордаги кучланиш неонли лампанинг ёниш кучланиши  $U_{ен}$  га тенглашади. Лампанинг қаршилиги кескин камаяди ва  $C$  конденсатор қисқа муддат ичида лампанинг ўчиш кучланиши  $U_{уқ}$  гача зарядсизланади ( $T_p$  вақт ичида). Вақт  $t = t_2$  бўлганида лампалардаги газ разряди тугаб, лампанинг қаршилиги кескин ортади. Сўнгра конденсатор яна  $U_{ен}$  кучланишигача зарядланади ва ҳоказо. Схеманинг чиқишидан эса аррасимон кучланиш олинади. Конденсаторнинг зарядланиши экспоненциал қонун бўйича ўзгаради. Резистор  $R$  орқали  $C$  конденсатор  $\tau_3 = RC$  вақт ичида зарядланади.  $t_3 = (3 \div 4)\tau_3$  вақт ичида бу жараён тугайди. Зарядланганда конденсатордаги кучланиш асимптотик равишда  $E_a$  га, зарядсизланганда эса

нолга яқинлашади. Бу схеманинг асосий камчилиги лампанинг ёниш ва ўчиш кучланишларининг барқарор эмаслиги ҳамда резистор  $R$  ва конденсатор  $C$  параметрларининг тарқоқлигидир. Бу эса конденсаторнинг зарядланиш  $T_3$  ва зарядсизланиш  $T_p$  вақтларининг ўзгаришига олиб келади.

$$\tau_3 = RC, \quad \tau_p = R_l C,$$

бу ерда  $R_l$  — лампанинг зарядсизланиш вақтидаги ички қаршилиги.

ЧўК генераторининг стабиллигини таъминлаш учун ташқи уйғонишли генераторлардан фойдаланилади. Транзистор асосида тузилган ЧўК нинг схемаси 15.63-расм, *в* да кўрсатилган. Бошланғич ҳолатда транзистор очик ва тўйинган. Унинг коллекторидаги ва конденсатордаги кучланиш нолга яқин. Вақт  $t = t_1$  бўлганида  $V1$  транзисторнинг базасига ишга туширувчи мусбат импульс берилади. Бунда транзистор ёпилади. Конденсатор эса  $+E_k, C, R, -E_k$  занжир орқали зарядланади. Демак, ишга туширувчи импульс таъсир этаётган вақт ( $T_3$ ) ичида конденсатордаги кучланиш ортиб боради. Бу импульс таъсири йўқолганидан кейин ( $t = t_2$ ) транзистор очилиб, конденсатор транзистор  $V1$  орқали тез зарядсизланади. Вақт  $t = t_3$  бўлганида конденсатор яна зарядланади ва жараён такрорланади. Бу ерда кучланиш чизиқли бўлиши учун конденсатор  $E_k$  (манба) кучланишидан анча кичик бўлган  $U_m$  кучланишгача зарядланади. Бунда манба кучланишининг тўлиқ ишлатилмаслиги мазкур схеманинг асосий камчилигидир. Мукамалроқ схемаларда конденсатор зарядланиш токининг барқарорлигини таъминлаб берувчи элементлардан фойдаланилади.

## 15.12. ИМПУЛЬСЛИ ВА РАҚАМЛИ ТЕХНИКА

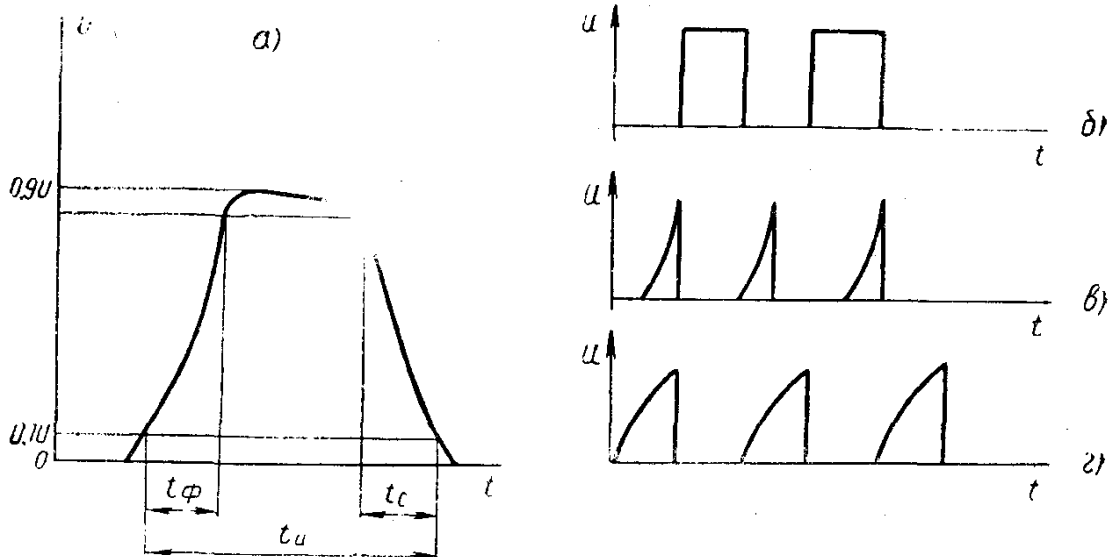
Радиотехника, автоматика, телемеханика ва ЭҲМ ларда импульсли режимда ишлайдиган импульс қурилмалар кенг қўлланилади. Бу қурилмаларнинг ишида қисқа муддатли сигналлар паузалар билан алмашиб туради. Импульсли иш режими узлуксиз иш режимига қараганда бир қанча афзалликларга эга:

1. Импульсли режимда ишлаганда кичик қувватли қурилма ёрдамида импульс таъсир этаётган қисқа муддат ичида катта қувватга эришиш мумкин.

2. Импульсли режимда ишлаганда ярим ўтказгичли схемалар „калит“ режимида ишлайди, яъни қурилма икки ҳолатдан („уланган“ ёки „узилган“) бирида бўлади. Натижада ярим ўтказгичли асбоблар параметрларининг ўзгаришига ҳароратнинг таъсири камаяди.

3. Импульсли режимда сигнални халақитлардан (бузилишлардан) ажратиш осонроқдир.

Мураккаб импульс қурилмалар интеграл микросхемаларга жамланган элементлардан тузилади.



15.64- расм.

Электр импульси деб қисқа вақт ичида ўзгармас қийматдан фарқ килувчи ток ёки кучланишга айтилади. Импульс қуйидаги параметрлар билан характерланади: импульс амплитудаси ( $A$ ); импульс давомийлиги  $t_n$ . Импульс қиймати  $0,1 A$  га тенг бўлган қийматдан аниқланади (15.64- расм, *a*). Бунда  $t_\phi$  — импульс қийматининг  $0,1 A$  дан  $0,9 A$  гача ўсиш вақти  $t_c$  — импульс қийматининг  $0,9 A$  дан  $0,1 A$  гача камайиш вақти,  $\Delta A$  — импульс чўққисининг пасайиши.

Агар импульслар бир хил вақт оралиғи билан кетма-кет келса, бундай импульслар *даврий кетма-кетликдаги импульслар* дейилади.

Бир секунд ичидаги импульслар сони *импульс частотаси* ( $F$ ) дейилади:

$$F = \frac{1}{T},$$

бу ерда  $T$  — импульс даври.

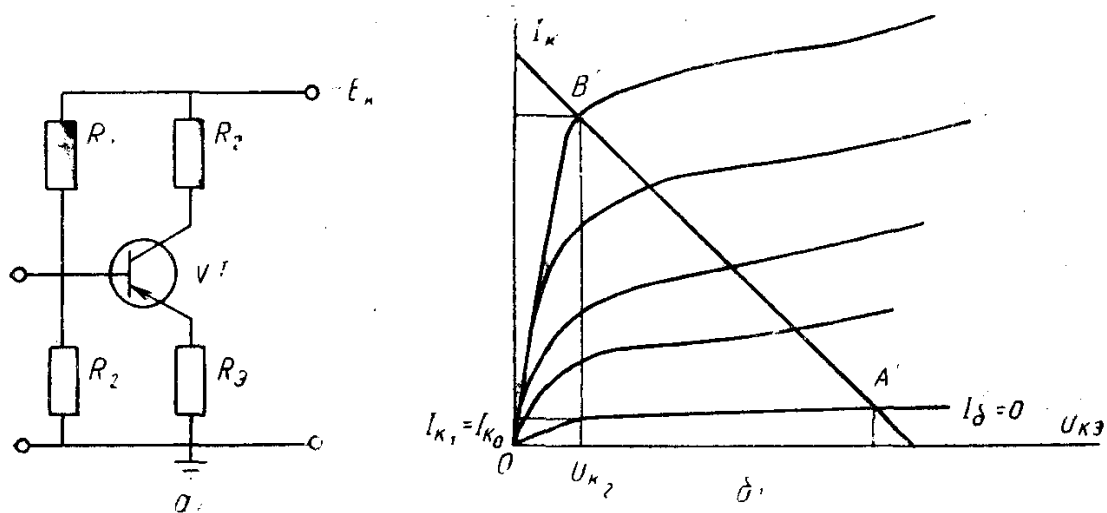
Даврнинг импульс давомийлигига нисбати *импульснинг чуқурлиги* дейилади:

$$q = \frac{T}{t_n}.$$

$2 \leq q \leq 10000$  бўлиши мумкин.

Шаклига қараб импульслар тўғри бурчакли, трапециадал, экспоненциал, аррасимон ва бошқа турларга бўлинади (15.64- расм, *b*, *в* ва *г* лар).

Аксарият импульс қурилмалари таркибига электрон калитлар, яъни „калит“ режимида ишловчи элементлар киради. Электрон калит сифатида диодлар, электрон лампалар, транзисторлар ишлатилиши мумкин. Бунда элемент фақат („уланган“ ва „узилган“) ҳолатда бўлиши мумкин. „Уланган“ ҳолатда элементнинг қаршилиги  $R = 0$ , „узилган“ ҳолатда эса  $R =$

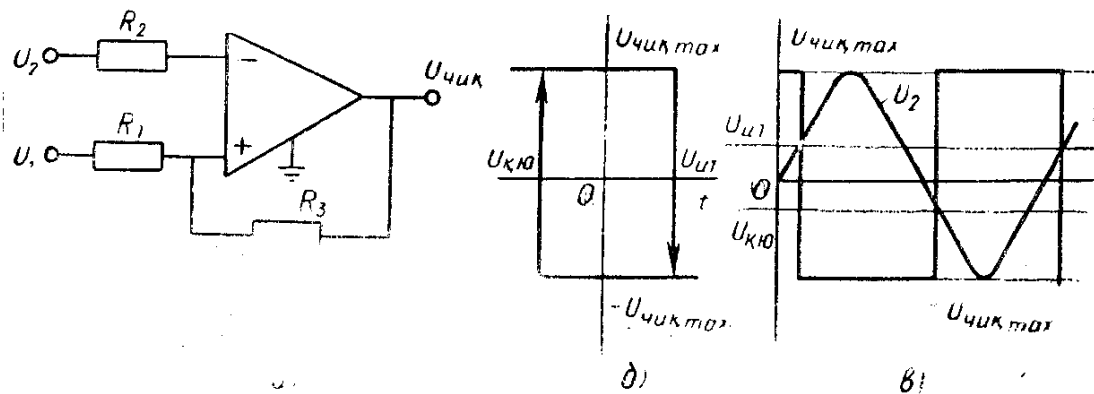


15.65- расм.

$= \infty$  деб ҳисобланади. Шунга қараб чиқишда сигнал „бор“ ёки „йўқ“ дейиш мумкин. Аслида қаршилиқ  $R$  нолдан ҳам, чексизликдан ҳам фарқ қилади. Калитнинг сифати „уланган“ калитдаги кучланиш пасаюви  $u_3$ , „узилган“ калитдаги ток  $i_p$  ва калитнинг бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиш вақти  $t_{\text{ўт}}$  билан характерланади. Бу қийматлар қанча кичик бўлса, калитнинг сифати шунча яхшидир. Транзисторли калитнинг иш-лашини кўриб чиқамиз (15.65- расм). Транзисторнинг уланиш схемаси кучайтиргич каскадидаги каби бўлиб,  $VT$  транзистор „калит“ режимда ишлайди. Бу режим транзистор ёки узиш, (отсечка) ёки тўйиниш режимда бўлиши мумкинлиги билан характерланади. Узиш режимда база токи  $I_{\delta 1} = 0$ , потенциали эса манфий бўлиб, коллектор токи катта эмас ( $I_{к1} = I_{к0}$ ).  $R_k$  қаршилиқдаги кучланишнинг пасаюви жуда кичик ва коллектордан олинаётган кучланиш  $U_{к1} \approx E_k$  (характеристикадаги  $A$  нуқта) бўлади.

Тўйиниш режимда базага мусбат потенциал берилади, база токи  $I_{\delta 2} = \frac{u_{\text{кир}}}{R_6}$ , коллектор токи  $I_{к2} = \frac{E_k}{R_k}$ , коллектор потенциали эса  $U_{к2} \approx 0$ . Узиш режимдан тўйиниш режимга ўтиш тез рўй беради ва база потенциали (кириш кучланиши  $U_{\text{кир}}$ ) нинг ортиши коллектор потенциали (чиқиш кучланишини) нинг камайишига олиб келади. Бундай „калит“ *инверторловчи* дейилади. Эмиттер такрорловчилардан такрорловчи „калит“ ясаш мумкин. Бундай калитларда кириш сигналининг ортиши, чиқиш сигналининг ортишига олиб келади.

Электрон калитлар турли ўзгартиргичларда кенг қўлланади. Импульсли режимда ишловчи қурилмалардан бири компаратордир. Компаратор икки сигнални ўзаро таққослаш учун ишлатилади (15.66- расм). Компаратор импульсли режимда ишлайдиган ОК лар асосида қурилади. Бу режимда ОК амплитуда характеристикасининг *чизиқсимв* қисмида ишлайди ва ку-



15.66- расм.

чайтиргичнинг чиқиш кучланиши  $+U_{чик\max}$  ва  $-U_{чик\max}$  қийматларга эга бўла олади. Компараторнинг киришига икки (таянч ва ўлчанадиган) кучланиш берилади. Таянч кучланиш ўзгармас бўлади. Кириш кучланишининг қиймати таянч кучланишга тенглашганда ОК нинг чиқишидаги кучланиш ўзқутбланишини ўзгартиради. Компараторнинг оддий схемаси билан танишиб чиқамиз (15.66- расм, а). Компараторнинг ноинверсион киришига мусбат тескари боғланиш берилган. ОК дан иборат узатиш характеристикаси гистерезис характеристикасига ўхшайди. Компараторнинг чиқишидаги кучланиш  $+U_{чик\max}$  ва  $-U_{чик\max}$  қийматларга эга бўлиб, унинг характеристикасида ишга тушиш  $U_{и.т}$  ва қўйиб юбориш  $U_{к.ю}$  бўсагалари мавжуддир.  $U_{кир}$  кучланишни нолга тенг, деб ҳисоблаб, ишга тушиш бўсағасини аниқлаймиз:

$$U_1 \frac{R_3}{R_1 + R_3} + U_{чик} \frac{R_1}{R_1 + R_3} = 0;$$

$$U_1 = -U_{чик} \frac{R_1(R_1 + R_3)}{(R_1 + R_3)R_3} = -U_{чик} \frac{R_1}{R_3}.$$

Бинобарин,

$$U_{и.т} = -\frac{R_1}{R_3} (-U_{чик\max}) = \frac{R_1}{R_3} U_{чик\max};$$

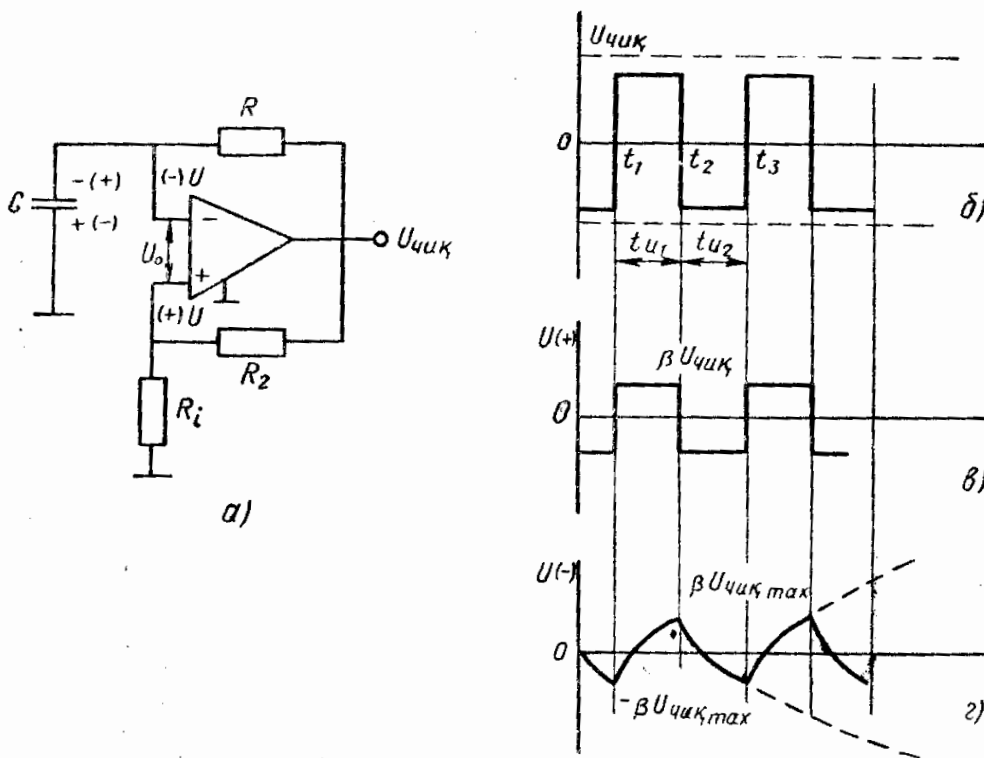
$$U_{к.ю} = -\frac{R_1}{R_3} U_{чик\max}.$$

Компараторнинг ишлашини тушунтирувчи диаграмма (15.66- расм, в) таянч кучланиши ўзгармас ва нолга тенг бўлган ҳолат учун қурилган. Таққосланаётган кучланиш  $U_2$  модуль жиҳатдан таянч кучланиш ва нолдан катта, яъни  $|U_2| > |U_1|$ ,  $U_2 > 0$  бўлса, чиқиш кучланиши  $+U_{чик\max}$  да  $-U_{чик\max}$  га уланади. Агар  $U_2 < 0$  бўлса,  $-U_{чик\max}$  дан  $+U_{чик\max}$  га қай-

та уланади. Гистерезис соҳаси  $U_2 = U_{н. т} - U_{н. ю} = 2 \frac{R_1}{R_3} U_{чик}$  га тенг бўлиб, тескари боғланишнинг чуқурлиги билан аниқланади. Демак, компаратор икки барқарор ҳолат ( $+U_{чик\max}$  ва  $-U_{чик\max}$ ) га эга бўлади ва бу ҳолатларнинг бири кириш кучланишлар айирмаси ишга тушиш кучланишидан кичик ва қўйиб юбориш кучланишидан катта бўлган ораликда сақланиб қолади. Компараторлар ЭХМ ларда, турли ўзгартиргичларда сигналларни таққослаш учун ишлатилади.

Компараторлар асосида мультивибраторлар қурилади. Мультивибратор деб тўғри бурчакли носинусоидал тебранишлар генераторига айтилади. Тўғри бурчакли тебранишлар кўп сонли оддий гармоник тебранишлар йиғиндисидан иборатдир. Мультивибраторлар импульс техникасида, ЭХМ ва автоматик қурилмаларда бошқарувчи, ишга туширувчи генератор сифатида ишлатилади.

Мультивибраторлар симметрик, носимметрик вибраторларга бўлинади. Мультивибраторлар ўз-ўзини уйғотиш режимда ишлайди. Симметрик мультивибраторнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.67-расм). Компаратор сифатида ишлаётган ОК нинг инверторловчи киришига  $RC$  занжирни киритиш йўли билан компараторнинг чиқишидаги сигналнинг давомийлиги бошқарилади. Вақт  $t = t_1$  бўлганда ОК нинг киришларидаги сигнал  $u_0 > 0$  бўлса, чиқиш кучланиши  $u_{чик} = -U_{чик\max}$ , ноинверсион киришдаги кучланиш  $u_+ = -\beta U_{чик\max}$  бўлади. Бу



15.67- расм.

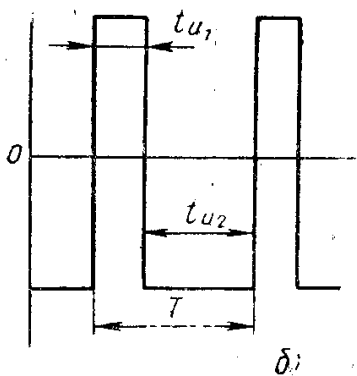
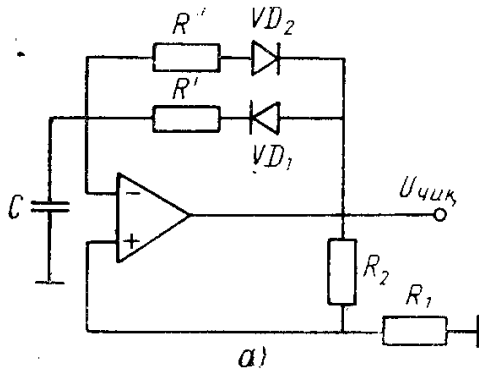
ерда  $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_3}$  — мусбат тескари боғланиш коэффициентини.

Чиқишдаги кучланиш таъсирида конденсатор  $C$  резистор  $R$  орқали зарядланади. Инверторловчи киришдаги кучланиш конденсатордаги кучланишга тенг ва  $u_2 = -\beta U_{\text{чик\max}}$  қийматга эришганда  $u_0 = 0$  бўлиб қолади. Натижада ОК нинг чиқишдаги кучланишнинг қутбланиши ўзгаради ва  $u_{\text{чик}} = +U_{\text{чик\max}}$  бўлади. Чиқиш кучланиши  $u_{\text{чик}} = U_{\text{чик\max}}$  бўлгани учун конденсатор қайта зарядланади ва инверторловчи киришдаги кучланиш яна ноинверсион киришдаги кучланиш ( $u_+$ ) га тенг бўлиб қолганида  $u_0 = 0$  бўлиб, чиқишдаги кучланишнинг қутбланиши  $u_{\text{чик}} = +U_{\text{чик\max}}$  дан  $u_{\text{чик}} = -U_{\text{чик\max}}$  га ўзгаради. Жараён бир маромда такрорланиб туради. Мусбат импульслар давомийлиги манфий импульслар давомийлиги билан тенглашади. Импульслар частотаси қуйидагича бўлади:

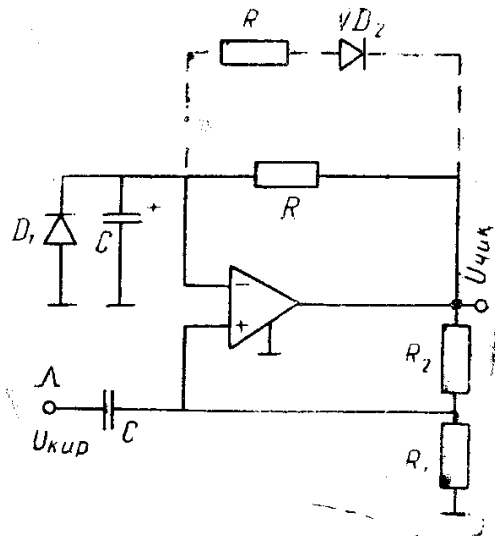
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{tu_1 + tu_2} = \frac{1}{2tu}.$$

Импульснинг давомийлиги занжирга уланган  $R_1$  қаршилиқлар ва  $C$  конденсаторнинг сифимига боғлиқ.

ОК нинг инверторловчи киришига кетма-кет уланган резистор ва диоддан иборат икки шохобчани ўзаро параллел конденсатор билан кетма-кет улаш орқали носимметрик мультивибратор ҳосил қилиш мумкин (15.68-расм). Конденсатор  $C$



15.68- расм.



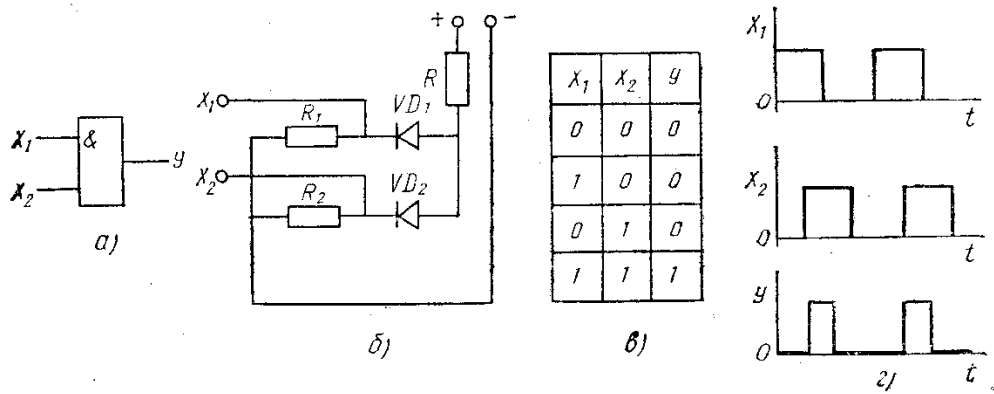
15.69- расм.

чиқишдаги кучланишнинг бир қутбланишида резистор  $R_1$  ва диод  $VD_1$  орқали зарядланади. Кучланиш тескари қутбланганда конденсатор резистор  $R_2$  ва диод  $VD_2$  орқали зарядланади. Диодлар қаршилигини ҳисобга олмасак, мусбат ва манфий импульсларнинг давомийлиги  $R_1$  ва  $R_2$  қаршиликларга пропорционал бўлади (15.68-расм, б). ОК нинг инверторловчи киришидаги конденсаторга параллел диод бириктириб бир импульсли вибратор ҳосил қилиш мумкин (15.69-расм). Бир импульсли вибратор кутувчи режимда ишловчи мультивибратордир. Мультивибратор иккита беқарор ҳолатга эга бўлса, бир импульсли вибратор битта беқарор ва битта барқарор ҳолатга эга. Барқарор ҳолатда вибраторга қисқа ишга туширувчи импульс берилса, у беқарор ҳолатга ўтади. Чиқиш занжирида тўртбурчак импульс ҳосил бўлади. Конденсаторнинг зарядланиши тугаши билан бир импульсли вибратор яна барқарор ҳолатга ўтади.

### 15.13. МАНТИҚИЙ ФУНКЦИЯЛАР ВА ЭЛЕМЕНТЛАР

Рақамли ахборотдан фойдаланувчи қурилмалар мантиқий ва хотира элементлари асосида қурилади. Мантиқий элементнинг кириш ва чиқишидаги сигнал фақат икки қийматга эга бўлиши мумкин. Бу қийматлар „1“ ва „0“ тарзда белгиланади. Мантиқий элементнинг киришидаги миқдор мантиқий алгебра ёки Буль алгебраси қоидалари асосида чиқишдаги миқдорга айлантирилади. Буль алгебраси ахборотнинг физик хусусиятларини ҳисобга олмай, унинг фақат „тўғри“ (мантиқий „1“) ёки „нотўғри“ (мантиқий „0“) лиги томонидан қарашга имконият беради. Мантиқий элементлар ёрдамида бир неча оддий мантиқий функциялар бажарилиши мумкин.

Асосий мантиқий функциялар — дизъюнкция (мантиқий қўшиш функцияси), конъюнкция (мантиқий кўпайтириш), инверсия (мантиқий инкор этиш) функцияларидир. Мантиқий қўшиш функцияси „ЁКИ“ деб аталади. Функционал схемаларда эса 15.71-расм, а да кўрсатилгандек тасвирланали. Унинг бажарилиш қоидаси қуйидагича. Киришга берилган сигналлардан



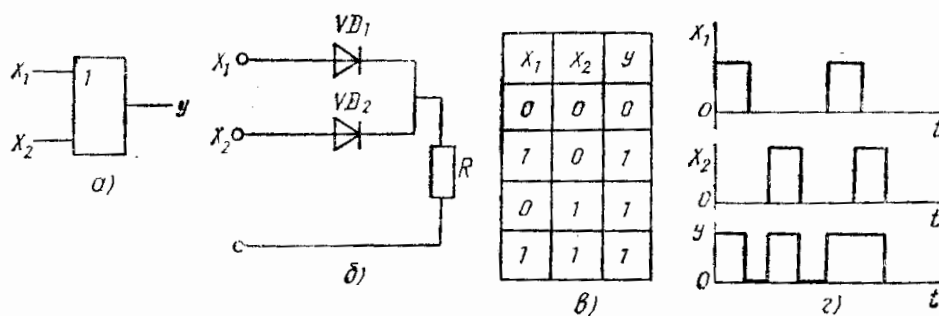
15.70-расм.



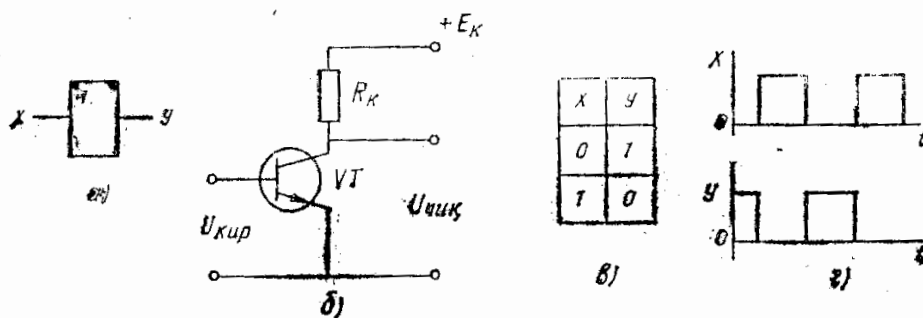
лоақал биттаси мантиқий „1“ га тенг бўлса, чиқишдаги сигнал ҳам „1“ га тенг. „ЁКИ“ операциясини бажариш қондаси 15.71-расм, *в* ва диаграммаси 15.71-расм, *г* да кўрсатилган. Шу функцияларни бажариб берувчи оддий схема бўлиниш схемаси бўлиб, 15.71-расм, *б* да кўрсатилган.  $VD_1$  ёки  $VD_2$  диоддан ёки иккала диоддан ток ўтгандагина қаршилик  $R_k$  да кучланиш ҳосил бўлади.

Конъюнкция ёки мантиқий кўпайтириш функцияси „ҲАМ“ операцияси деб аталади. 15.70-расмда унинг функционал схемаси, бажарилиши қондаси ва диаграммалари кўрсатилган. Иккала киришда ҳам мантиқий „1“ бўлгандагина чиқишда ҳам „1“ бўлади. Киришдаги бирор сигнал мантиқий „0“ га тенг бўлса, чиқишдаги сигнал ҳам „0“ га тенг бўлади. Шу операция 15.70-расм, *б* да кўрсатилган схема бўйича бажарилади. Иккала диоднинг киришига „0“ сигнал берилса, диодлар очиқ бўлиб, резистор ва диодлардан ток ўтади. Манба кучланишининг каттагина қисми қаршилик  $R$  даги кучланиш пасаюви билан мувозанатлашиб, чиқишдаги сигнал жуда кичик, яъни „0“ бўлади. Агар иккала диоднинг киришига „1“ сигнал берилса, диодлар ёпилади, резистор  $R$  дан ток ўтмайди ва чиқишдаги кучланиш манба кучланишига тенглашади.

Инверсия ёки мантиқий инкор этиш функцияси „ЙЎҚ“ операцияси деб аталади. Бу операциянинг функционал тасвири, бажарилиш қондаси ва диаграммалари 15.72-расмда кўрсатилган. Мазкур операцияни бажариш қондаси қуйидагича. Киришдаги сигнал „1“ бўлса, чиқишда „0“ бўлади, киришда „0“ бўлса, чиқишда „1“ бўлади. 15.72-расм, *б* да кўрсатилган



15.71-расм-



15.72-расм.

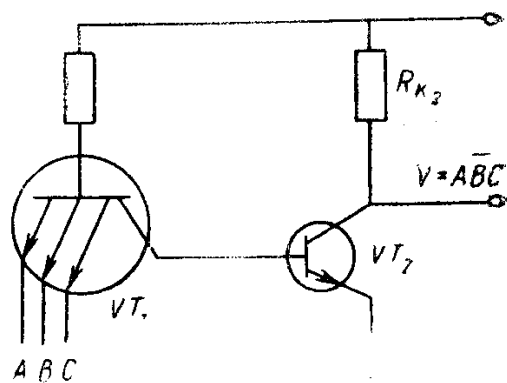
схема „ЙЎҚ“ операциясини бажаради. Киришдаги кучланиш „0“ га тенг бўлганда транзистор ёпиқ,  $E_k$  кучланиш чиқишдаги кучланишга тенг, яъни „1“ бўлади. Киришга сигнал берилганда транзистор очилиб, ундан ва қаршилиқ  $R_k$  дан ток ўтади ва  $R_k$  қаршилиқда кучланиш пасаюви ҳосил бўлади. Чиқишдаги кучланиш  $U_{чик} = E_k - I_k R_k$  нинг қиймати кичик, яъни „0“ бўлади.

Шу уч асосий мантиқий элемент ёрдамида ҳар қандай мантиқий функцияларни бажариш мумкин. Бу элементлар энг оддий элементлар ҳисобланади. Шунингдек, комбинацияланган, яъни 2 ва ундан ортиқ операция бажара оладиган (масалан ЁКИ — ЙЎҚ, ҲАМ — ЙЎҚ ва бошқалар) элементлар ҳам бор.

Ҳозирги вақтда ЭҲМ ларда мантиқий элементлар системасидан кенг фойдаланилади. Функционал тўлиқ бўлган мантиқий элементлар тўплами *мантиқий элементлар системаси* деб аталади. Бу тўпламдаги элементлар умумий эмпирик, конструктив ва технологик параметрларга эгадир. Уларнинг ахборотни тасвирлаш усули ҳам бир хил бўлади.

Қандай элементлардан ҳосил қилинганлигига қараб мантиқий элементлар резистор-транзисторли мантиқ (РТМ), диод-транзисторли мантиқ (ДТМ), транзистор-транзисторли мантиқ (ТТМ) ва МОЯ (металл, оксид, ярим ўтказгич)-транзисторли мантиқ (ТМ) ларга бўлинади. 15.73-расмда кўрсатилган ТТМ элементнинг схемасини кўриб чиқамиз. Бу элемент ҲАМ—ЙЎҚ операциясини бажаради.

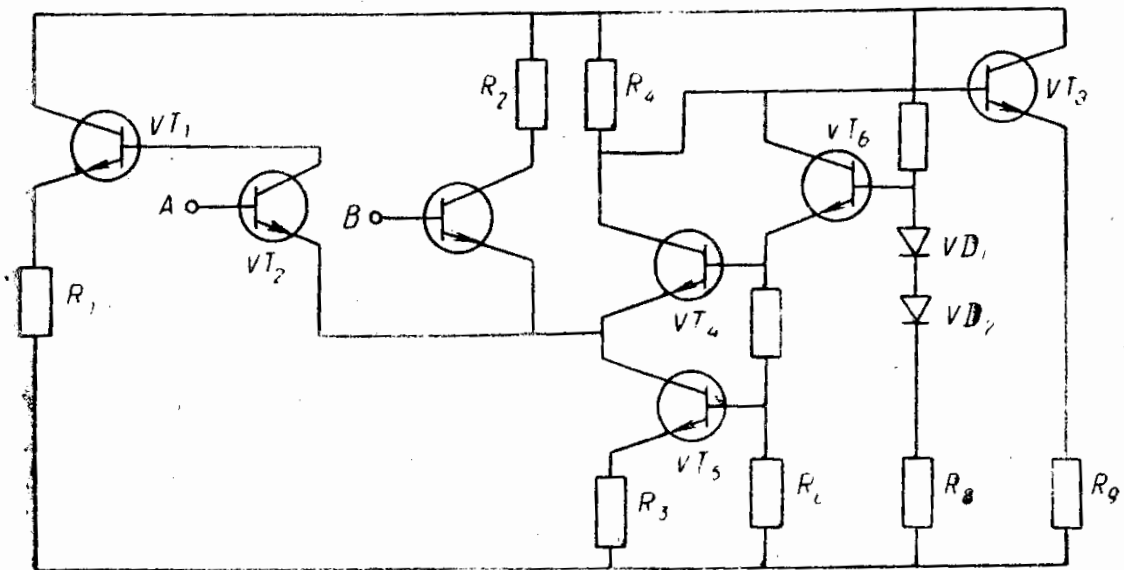
15.73-расмда кўп эмиттерли транзистор асосида қурилган ТТМ элементнинг схемаси кўрсатилган. Схема кўп эмиттерли  $VT_1$  транзистор ва  $VT_2$  транзистордан иборат.  $VT_1$  транзисторнинг  $A, B, C$  киришларига 0 ёки 1 қийматга эга бўлган сигналлар берилди. „0“ деб тўйиниш режимда ишлаётган транзисторнинг  $U_{кэ}$  кучланишига тенг бўлган кучланиш қиймати тушунилади. Агар схеманинг бирор киришига „0“ сигнал берилса, база манба кучланиши  $E_k$  билан резистор  $R_{б1}$  орқали улангани учун транзистор  $VT_1$  тўйиниш режимга ўтади. Бунда  $I_{к1}$  коллектор токи катта эмас ва  $I_{б2}$  токига тенгдир.  $U_{бэ2}$  кучланиш эса  $VT_2$  транзисторни ишга тушириш учун етарли эмас. Элементнинг чиқишидаги кучланиш  $E_k$  га, яъни чиқишдаги сигнал „1“ га тенгдир. Агар кириш занжирларининг барчасига „1“ га тўғри келадиган сигнал, яъни  $E_k$  тенг бўлган кучланиш берилса,  $VT_1$  транзистор инверсион режимда ишлай бошлайди. Транзистордаги коллектор ва эмиттернинг вазифалари ўзаро ўрин



15.73- расм.

алмашади. Инверсион режимда транзисторнинг узатиш коэффициентини ва эмиттер токининг вазифасини бажарувчи коллектор токи кичикдир. Резистор  $R_{61}$  ва  $VT_2$  транзисторнинг эмиттер ўтишидан ўтаётган ток  $VT_2$  транзисторни тўйиниш режимига ўтказди. Чиқиш кучланиши транзистор  $VT_2$  нинг  $U_{кэ}$  кучланишига, яъни чиқишдаги сигнал „0“ га тенгдир. ТТМ типдаги схемалар ўртача тезкорликка эгадир. Улардаги сигналнинг кечикиш вақти 10—30 нс га тенг. ТТМ типдаги ҳар бир элементнинг чиқишига 10 тадан мантиқий схема улаш мумкин. ТТМ элементлари микросхемаларда бажарилган бўлиб, белгиланишидаги ЛИ ҳарфлар унинг функционал вазифасини мантиқий „ҲАМ“. Бу элементлар манба кучланиши 5 вольт бўлганда ишлайди. Улар учун „1“ нинг қиймати  $U^1 \approx 2,4$  В; „0“ нинг қиймати  $U^0 = 0,4$  В.

Эмиттер боғланишли мантиқий (ЭБМ) элементларнинг ишлаш принципи кириш кучланиши бироз ўзгарганда тоқларнинг қайта уланишига асосланади. „ЁКИ“ ёки „ЁКИ — ЙЎҚ“ операциясини бажарувчи ЭБМ типдаги элементнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.74-расм). Кириш сигналлари  $A$  ва  $B$  транзисторлар  $VT_2$  ва  $VT_3$  нинг киришига берилади. Транзисторлар  $VT_2$ ,  $VT_3$  ва  $VT_4$  дифференциал кучайтиргични ҳосил қилади ва схеманинг кириш қаршилиги катта бўлишини таъминлайди. Транзистор  $VT_5$  токнинг барқарор бўлишини таъминлайди. Транзистор  $VT_4$  нинг базасидаги ўзгармас таянч кучланишни транзистор  $VT_6$  ва қаршилиқлар ( $R_7$ ,  $R_8$ ) даги кучланиш бўлгичларни ҳосил қилади. Диодлар  $VD_1$  ва  $VD_2$  таянч кучланишининг температуравий барқарорлигини таъминлаб беради. Транзисторлар  $VT_1$  ва  $VT_7$  чиқиш қаршилиқларининг кичик бўлишини таъминлайди. Агар транзистор  $VT_5$  нинг кириш занжирига „0“ га мос тушадиган сигнал берилса,  $VT_2$  ва  $VT_3$  транзисторлар узиш режимда бўлиб,  $VT_5$  транзистор-

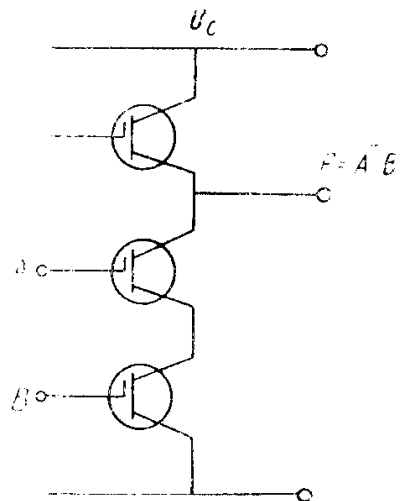


15.74- расм.

нинг токи  $VT_4$  транзистор орқали ўтади. Бунда коллектор занжири учун нагрузка бўлган  $R_4$  резисторда кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш эмиттерли такрорлагич бўлмиш  $VT_7$  транзистор ёрдамида такрорланади.

Агар кириш занжирига „1“ сигнали берилса,  $VT_4$  транзисторнинг токи  $VT_2$  ва  $VT_3$  транзисторлар занжирига қайта уланади. Транзистор  $VT_4$  эса ёпилади,  $R_2$  қаршиликда ҳосил бўлган кучланиш  $VT_1$  эмиттерли такрорлагич орқали чиқишга берилади. Схема ЁКИ — ЙЎҚ операциясини бажаради. ЭБМ типидаги элемент юқори тезкорликка эгадир. Ушбу элементнинг икки чиқиши (тўғри ва инверсион) бўлиб, уларга 25 — 30 та элемент улаш мумкин. Бироқ бу элементларга халақитлар таъсири кучли бўлади. Ундан ташқари, истеъмол қиладиган қуввати ҳам катта. ЭБМ типидаги элементларда сигналнинг кечикиш вақти 1—5 нс (наносекунд). Шу сабабдан улар, асосан, тезкор системаларда кенг қўлланилади.

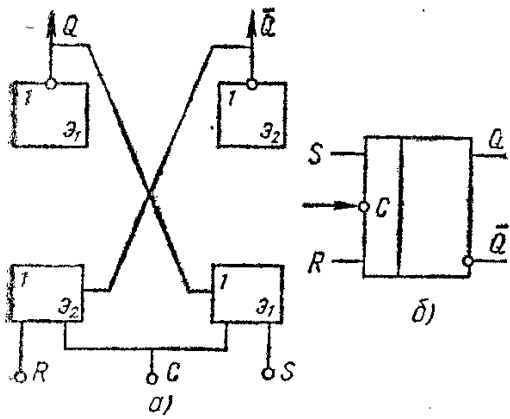
МОП транзисторлар асосида қурилган интеграл схемалар ТТМ ва ЭБМ элементларга қараганда секинроқ ишлайди. Сигналнинг кечикиш вақти 50—100 нс. Бу элементлар истеъмол қиладиган қувватнинг нисбатан кичиклиги, чиқишига уланган элементлар сонининг кўплиги билан фарқ қилади. Шунингдек, микросхемала эгаллайдиган юзаси ҳам кичикдир. ҲАМ — ЙЎҚ операциясини бажарувчи МОЯ элементининг ишлашини кўриб чиқамиз. 15.75-расмда бир қутбли транзисторлар асосида қурилган мантикий элементнинг схемаси кўрсатилган. Схема учта бир қутбли транзистордан иборат.  $VT_1$  ва  $VT_2$  транзисторларга кириш сигнали берилади. Транзистор  $VT_3$  эса истеъмолчи транзистордир. Кириш сигналлари яъни  $VT_1$  ва  $VT_2$  транзисторларга берилади. Агар иккала киришга,  $VT_1$  ва  $VT_2$  ларнинг тамбасига (затвориға) „1“ сигнали (тамбалар потенциали манфий) берилса,  $VT_1$  ва  $VT_2$  транзисторлар очик,  $VT_3$  транзисторда кучланиш пасаяди, чиқишда эса „0“ сигнал бўлади. „0“ сигналнинг қиймати  $U_n$  кучланишга яқин бўлиши учун  $VT_1$  ва  $VT_2$  очик транзисторларнинг патижавий қаршилиги  $VT_3$  транзисторнинг қаршилигидан анча кичик бўлиши керак. Схеманинг чиқишига 10 тадан 20 тагача элемент улаш мумкин.



15.75- расм.

#### 15.14. ЭЛЕКТРОН ҲИСОБЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ АЙРИМ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Триггер икки барқарор ҳолатга эга бўла оладиган импульсли режимда ишловчи қурилмадир. Триггер бир барқарор ҳо-



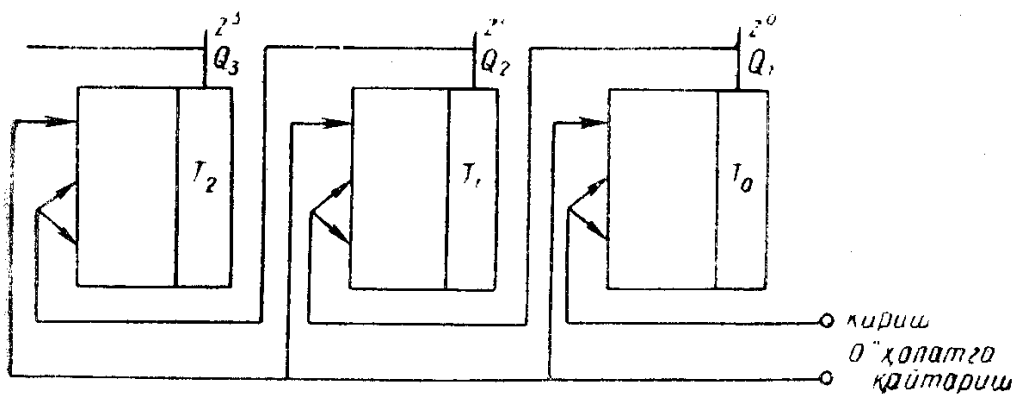
15.76- расм.

латдан иккинчисига ташқи кучланишлар таъсирида ўтади. Ташқи таъсир этувчи кучланишлар узилгандан сўнг триггер узоқ муддат (янги сигнал келгунча) ичида шу барқарор ҳолатини сақлаб қолади. Янги сигнал келганида триггер янги барқарор ҳолатга ўтади. Триггерлар бошқарилиш турига қараб асинхрон ва тактли хилларга бўлинади. Вазифасига қараб триггерларни  $R-S$ ,  $D$ ,  $T$ ,  $I-K$

турларга бўлиш мумкин. Триггерлар асосан  $\text{ХАМ} - \text{ЙЎҚ}$  ёки  $\text{ЁКИ} - \text{ЙЎҚ}$  мантиқий элементлардан иборат бўлади.  $\text{ЁКИ} - \text{ЙЎҚ}$  мантиқий элементлардан қурилган тактли  $R-S$  триггернинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.76-расм). Триггер учта кириш  $R$ ,  $S$ ,  $Q$  ( $\bar{Q}$ ) ва иккита чиқиш  $Q$ ,  $\bar{Q}$  га эга. Киришга „1“, „0“ ва ҳисоблаш (такт) импульси берилади, чиқишдан „ноль“ ёки „бир“ ни олиш мумкин. Агар триггернинг  $S$  киришига „1“  $R$  киришига „0“ берсак, ноинверсион чиқиш  $Q$  да „1“ сигнали ҳосил бўлади ва бу ҳолат тескари боғланиш туфайли узоқ муддат сақланиб қолади. Триггерни бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга тактли киришига берилган сигнал ёрдамида ҳам ўтказиш мумкин.

Интеграл микросхемаларда триггер ва унинг киришларини бошқарувчи схема корпусга жойлаштирилган ягона кремний пластинкасида бажарилади ва ТТ, ТР, ТЛ ҳарфлар билан белгиланади.

Триггерлар асосида импульс ҳисоблагичлар қурилади. Ҳисоблагич кириш сигналларни ҳисоблаб беради. Ҳисоблагичлар жамловчи, айирувчи ва реверсив турларга бўлинади. Триггер асосида тузилган жамловчи ҳисоблагичнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.77-расм). Бошланғич ҳолатда барча триггерлар



15.77- расм.

„0“ ҳолатда бўлади. Триггер  $T_0$  нинг киришига импульс берилади ва триггер „1“ ҳолатга ўтади. Бунда триггерлар  $T_1$ ,  $T_2$  дастлабки ҳолатда бўлади. Кейинги импульсдан сўнг триггер  $T_0$  нинг чиқишида триггер  $T_1$  га импульс узатилади, триггер  $T_0$  эса „0“ ҳолатга ўтади. Учинчи импульс  $T_0$  триггерни „1“ ҳолатга ўткази, триггер  $T_1$  „1“ ҳолатда, триггер  $T_2$  „0“ ҳолатда бўлади. Тўртинчи импульс триггер  $T_0$  ни „0“ ҳолатга ўткази, унинг чиқишидаги импульс триггер  $T_1$  ни „0“ ҳолатга ўткази, триггер  $T_1$  нинг чиқишидан импульс триггер  $T_2$  га ўтиб, уни „1“ ҳолатга ўткази ва ҳоказо. Триггерлар ҳолатини 9-жадвал кўринишида ифодалаш мумкин.

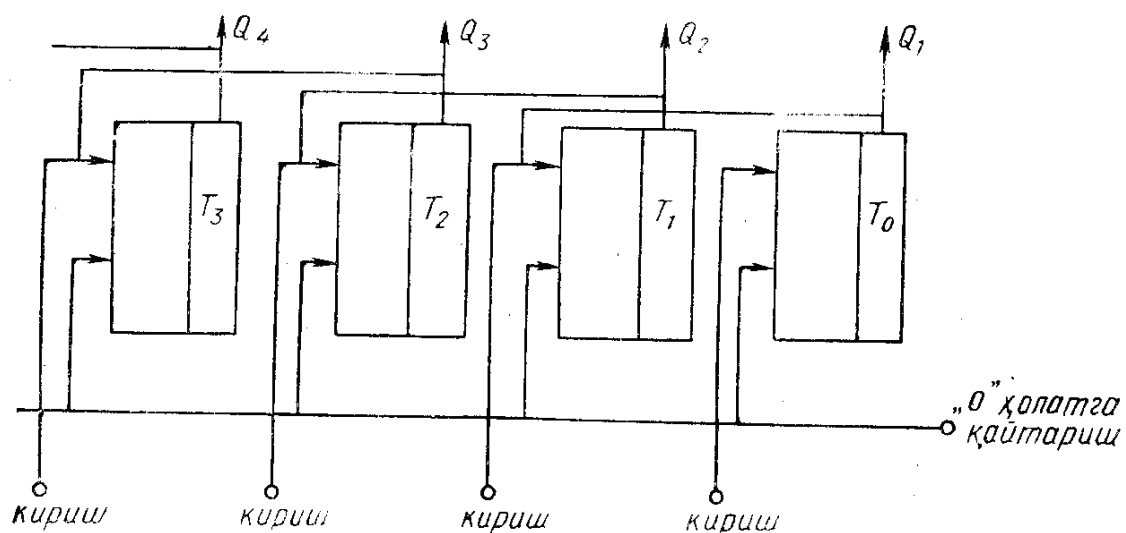
Демак, триггерларнинг ҳолати иккили санок системасидаги импульс ар сонининг ёзилишига мос тушади. Триггерлар сонига қараб ҳисобланиши мумкин бўлган импульслар сони аниқланади. Агар триггерлар сони  $n = 3$  бўлса, импульслар  $N = 2^n = 2^3 = 8$ . Ҳисоблагичлар (счётчиклар) 4, 8, 12 разрядли бўлади. Иккили санок системада ишлайдиган ҳисоблагичлардан ташқари ўнли ва бошқа санок системаларида ишлайдиган ҳисоблагичлар ҳам бор. Улар иккили санок системасида ишлайдиган ҳисоблагичлардан триггерлар сони ҳамда инвертор-

9-жадвал

Импульсларнинг тартиб №	Триггерларнинг ҳолати		
	$T_1$	$T_2$	$T_0$
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

ловчи чиқиши ва кириш занжири орасида тескари боғланишнинг мавжудлиги билан фарқ қилади.

Регистр деб ахборотни ёзиб олувчи, сақловчи ва чиқариб берувчи қурилмага айтилади. Регистрлар асосан иккита рақамни хотирага олиш учун ишлатилади. Бир сон ёзилганидан кейин иккинчи сон ёзилмагунча регистр биринчи сонни эслаб туради. Регистрлар ҳам триггерлар асосида қурилади (15.78-расм). Иккили сонининг ҳар бир разряди ўз триггерига ёзилади. Триггерлар сони регистрнинг разрядларини аниқлаб беради. Тўрт разрядли сурувчи регистрнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.78-расм). Масалан, регистрга 3 рақамини ёзиш керак бўлсин. Бу рақам иккили санок системасида 0011 деб ёзилади. Дастлабки ҳолатда ҳамма триггерлар „0“ ҳолатда бўлади. Кириш занжирига 0011 рақамига мос келувчи импульс-



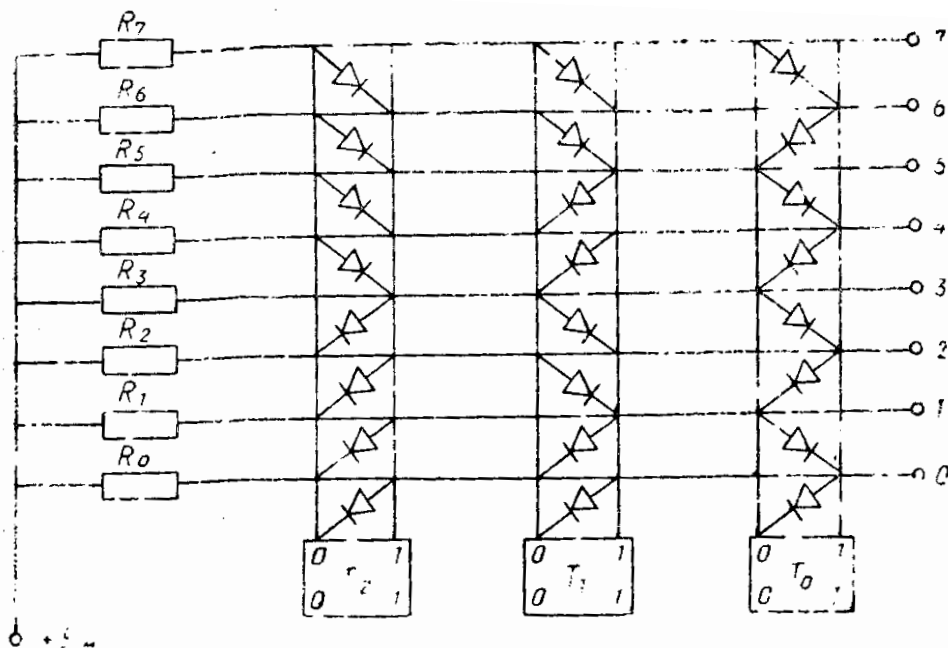
15.78- расм.

лар серияси берилди. „Сурувчи“ киришига сурувчи импульслар берилди. Сурувчи импульслар кичик разрядли триггердан юқори разрядли триггерга импульс ўтиши учун рухсат беради ва кичик разрядли триггерни яна „0“ ҳолатга ўтказди. Триггерлар ҳолати 3 рақами ёзилганида қуйидагича ифодаланади (10- жадвал).

10- ж а д в а л

Сурувчи импульслар сони	Триггерларнинг ҳолати			
	$T_3$	$T_2$	$T_1$	$T_0$
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

Керак бўлган сон ёзилгандан кейин сурувчи импульсларни бериш тўхтатилади ва ахборот ёзилиб қолади. Регистр ахборотни кетма-кет қабул қилиб олади. Мазкур ахборотни триггердан кетма-кет ва параллел ҳолда чиқариб олиш мумкин. Ахборот параллел ҳолда чиқариб олинганида у ҳамма триггерларнинг чиқишидан бирваракайига олинади. Регистрда ахборотни ўнгга ёки чапга суриб, иккили саноқ системасида ёзилган рақамни 2 га бўлиш ёки кўпайтириш мумкин. Бундан ташқари, регистрларда иккили кодда ёзилган иккита сонни кўпайтириш ёки бўлиш мумкин. Кўпайтириш операцияси разрядлар бўйича сурилган сонларни қўшиш операцияси билан алмаштирилади. Бўлиш операцияси эса айриш операцияси билан алмаштирилади.



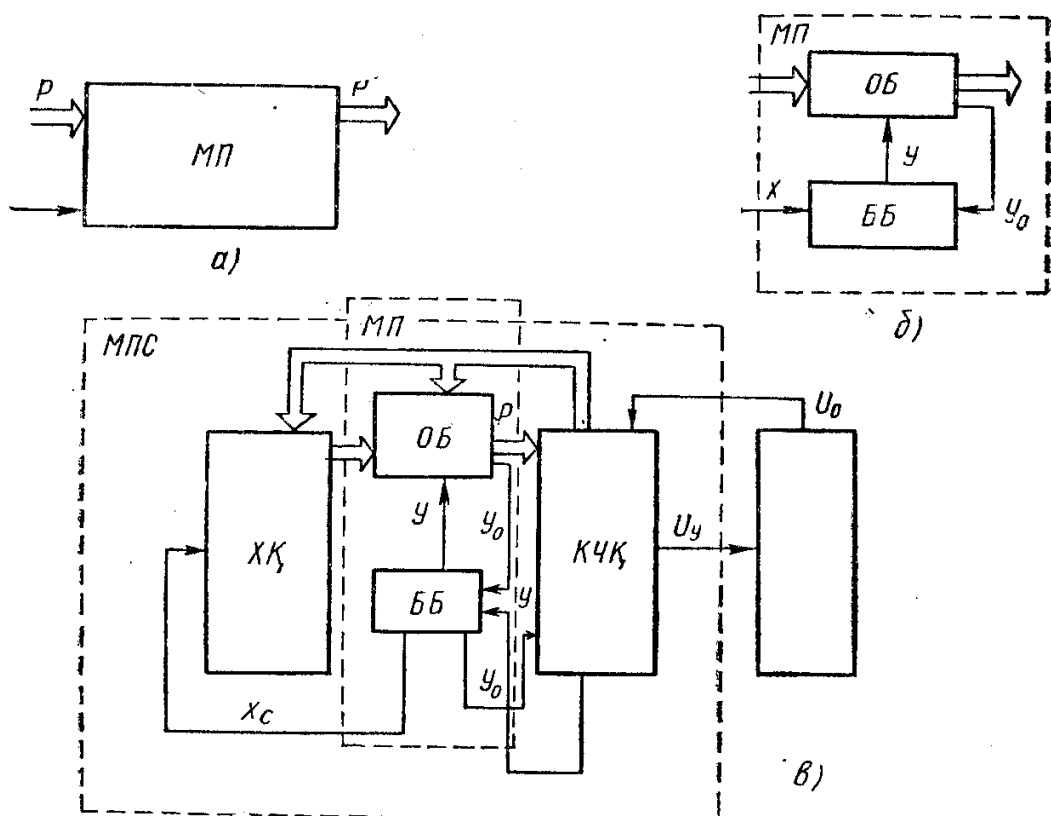
15.79- расм.

Дешифратор деб турли кодли ахборотни ажрата олувчи қурилмага айтилади. Уч элементли кодни ажрата оладиган дешифраторнинг тузилиш принципини кўриб чиқамиз. Киришдаги занжирлар сони  $n = 3$  бўлгани учун чиқишда  $N = 2^3 = 8$  шина бўлиши керак. Уловчи линиялар тўплами *шина* деб аталади. Ахборотни ёзиб олиб, сақлаш учун учта триггер ва бир нечта „ҲАМ“ элементлари керак (15.79- расм). Триггерларнинг ҳар бир чиқиш шинаси диод ва резистордан ташкил топган „ҲАМ“ элементининг чиқиш шиналари ўзининг кириш шиналари билан кесишиб ўтиб, матрица шаклида бўлади ва бундай дешифратор диодли-матрицали деб аталади. Триггернинг кириш занжирига 4 рақами (100) берилса, фақат тўртинчи чиқиш шинаси  $n = E$  кучланишни олиш мумкин. 7 сигнали (111) берилганда еттинчи шинадаги кучланиш  $E$  га тенг бўлади ва ҳоказо. Дешифратор тезкор бўлиб, асосий камчилиги нисбатан кўп элемент талаб этишидадир.

### 15.15. МИКРОПРОЦЕССОРЛАР

Ҳозирги замон илм-техника тараққиёти КИС — микропроцессорларнинг ишлаб чиқилиши билан боғлиқдир. Ахборот устида арифметик ва мантиқий операцияларнинг тугалланган кетма-кетлигини бажарадиган қурилма *микропроцессор* деб аталади. Шунингдек, микропроцессор ахборотни хотирада сақлаб, уни ташқи қурилма билан алмашиб туради. Унинг вазифаси ЭҲМ процессорининг вазифасига ўхшайди, лекин имкониятлари уникдан камроқ.

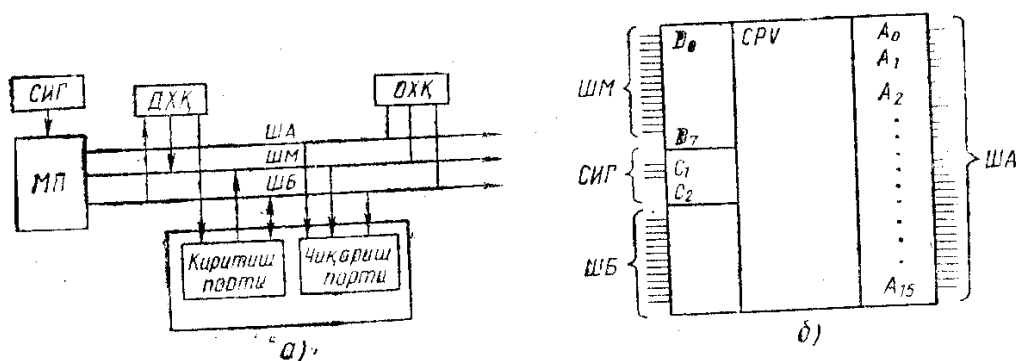




15.80- расм.

Микропроцессор (МП) нинг функционал тузилиши ва иш-лаш принципи билан танишиб чиқамиз (15.80-расм). МП нинг киришига маълумотлар массиви  $D$  берилиб, бу массивга маълум  $x$  программа асосида ишлов берилади ва чиқишда  $D'$  маълумотлар массиви олинади.  $D$  массивга ишлов бериш учун МП га иккита асосий қисм: операциялар блоки (ОБ) ва бошқарув блоки (ББ) киритилади. ОБ берилган маълумотлар устида турли операциялар (қўшиш, айириш, кўпайтириш ва ҳоказо) ни бажаради. ОБ нинг тўғри ишлашини ББ таъминлаб туради. Бунинг учун ББ да  $x$  программанинг бажарилиш кўрсатмалари бошқарувчи сигнал  $y$  га айлантирилади. ОБ нинг ҳолатини текшириш учун  $y_0$  сигнали ҳосил бўлиб,  $y$  ББ томонидан кузатилади.

МП нинг асосий вазифаси бирор объектни (масалан, дисплей, шахсий ЭҲМ клавиатураси, дастур асосида бошқариладиган дастгоҳлар ва бошқаларни) бошқаришдан иборат бўлиб, бошқариш объекти (БО) билан боғланиш учун киритиш-чиқариш қурилмаси (КЧҚ) га эга. Дастур ва дастлабки маълумотлар хотира қурилмаси (ХҚ) да сақланади. БО дан КЧҚ га узлуксиз сигнал берилади. КЧҚ да сигнал рақамли ахборотга айлантирилади ва ББ га узатилади. Хотирловчи қурилмаси, микропроцессор ва киритиш-чиқариш қурилмасидан иборат система *микропроцессор системаси* (МПС) деб аталади. МПС системада ахборот КЧҚ дан МП га ва ХҚ га берилиши мум-



15.81- расм.

ин. Бунда ахборот алмашуви мавжуд бўлиб, у сақланиб қолиши ҳам мумкин. МПС даги барча блок ва қурилмаларнинг юзланишини бир хил частоталар генератори ишлаб чиқарган синхронлаш импульслари таъминлаб беради.

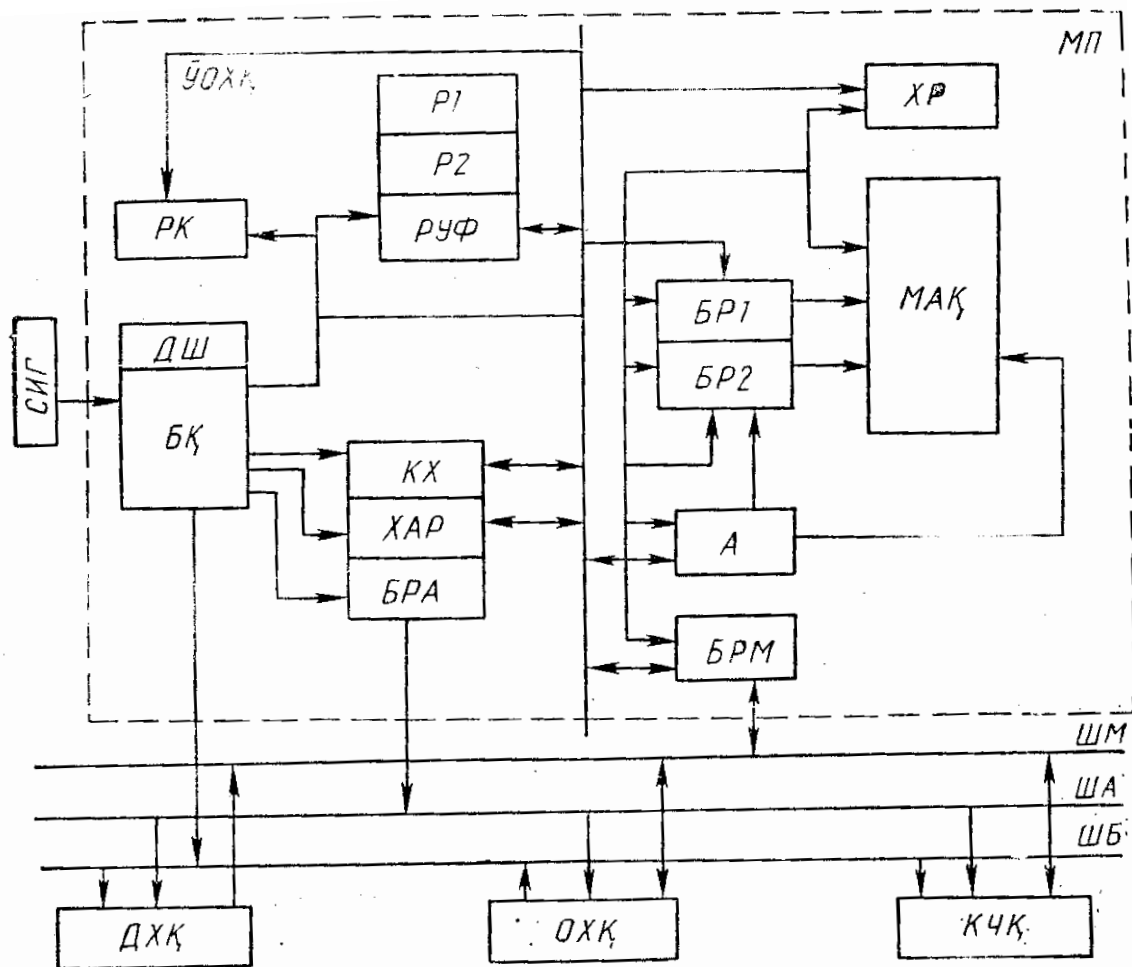
Дастур асосида ишлайдиган қурилмаларнинг барчасини (бир кристалли микроконтролердан торғиб, микро ЭҲМ гача) 15.81-расм, а даги структура схемаси тарзида ифодалаш мумкин. Бунда СИГ — стандарт импульслар генератори; ДХҚ — доимий котира қурилмаси; ОХҚ — оператив хотира қурилмаси; АШ — адреслар шинаси; МШ — маълумотлар шинаси; БШ — бошқарув шинаси.

МШ информацияни МП дан ташқи қурилмаларга ва, аксинча, ташқи қурилмалардан МП га узатиш учун хизмат қилади.

БШ бошқарув сигналларни узатиш учун хизмат қилади. Шиналардаги линия (сим) лар сони МП нинг турига боғлиқ. Масалан, кенг тарқалган микропроцессор К580 да АШ16 та адрес линияси (А0 — А15), МШ да 8 та маълумот линияси ва БШ да 12 бошқарув линияси бор. 15.81-расмда К580 микропроцессоридаги чиқиш симларининг схемаси кўрсатилган. Киритиш-чиқариш схемаларида (улар портлар деб аталади) ахборотни вақт бўйича кетма-кет ёки параллел узатиш мумкин.

МП, ХҚ ва КЧҚ лар орасида ахборот алмашувини таъминлаб берувчи қўшимча қурилмалар ва шиналар ЭҲМ интерфейсини ташкил қилади.

МП да маълумотлар қуйидаги тартибда ёзилади.  $t = t_0$  вақтда АШ га МП маълумотлар ёзилиши керак бўлган ОХҚ катагининг адресини „олиб чиқади“.  $\Delta t_1$  вақтдан сўнг кўрсатилган адрес бўйича ОХҚ га ёзилиш керак бўлган МП маълумотлари МШ га узатилади.  $\Delta t_2$  вақтдан сўнг БШ га ёзиш линиясига рақам ёзишни рухсат этувчи сигнал берилади.  $\Delta t_3$  вақт ичида рақам ОХҚ га ёзилади ва ёзиш линиясига тақиқлаш сигнали берилади. Ахборотни ўқиш ҳам шу тартибда ўтказилади, фақат рухсат сигнали ўқиш линиясига берилади. МП учта режим (синхрон, асинхрон ва хотирага тўғри мурожаат этиш) да ишлаши мумкин. Синхрон режимда МП нинг



15.82- расм.

мурожаатлари орасидаги вақт бир хил ва энг катта қийматга эга. Асинхрон режимда олдинги операция тугаши билан маълумот алмашуви давом этади. Хотирага тўғри мурожаат этиш режими бажарилаётган операцияни тугамасидан тўхтатиб, хотирага мурожаат этиш имкониятини беради.

МП нинг структура схемасини (15.82- расм) батафсилроқ кўриб чиқамиз. МП нинг таркибига уч гуруҳ регистрлар киради. Аккумулятор А, буфер регистрлар БР1, БР2. БРМ ва аломатлар регистри РА дан иборат бўлган маълумотларга ишлов бериш жараёнини таъминлаб берувчи регистрлардан иборат гуруҳ кўрсатмалар регистри КР, кўрсатмалар ҳисоблагичи КХ, хотира адреси регистри ХАР, адреснинг буфер регистри АБР дан иборат бўлган маълумотларга ишлов бериш жараёнини бошқарувчи гуруҳ ва умумий фойдаланишдаги регистрлар (УФР) гуруҳи.

Операциялар блоки (ОБ) нинг асосини мантиқий арифметик қурилма (МАҚ) ҳосил қилади. МАҚ икки рақамга ишлов беради. Бу рақамларнинг бири БР1 регистрда иккинчиси А аккумуляторда жойлашади. Ишлов натижаси аккумуляторга киритилади. МП нинг ишончлилигини БР2 регистр таъмин-

лайди. Аккумулятордаги рақам операция бошланишидан лодин БР2 га ўтказилади. Рақамлар устидаги операциялар натижаси АР томонидан баҳоланади. БРМ ва БРА регистрлар кучайтиргичлар бўлиб, АШ ва МШ шиналар истеъмолчиларини МП билан мослаштириш учун хизмаг қиладилар.

ББ да бошқарув сигналлари ишлаб чиқарилади. Кўрсатмалар регистрдан дешифратор (ДШ) га кўрсатмалар берилиб, бошқарув сигналлари аҳамиятини очади.

$Y = |(X_1 + X_2) \cdot X_3 + X_1| \cdot X_3$  мантиқий операцияни бажариш мисолида МП нинг ишлашини кўриб чиқамиз.

+ мантиқий қўшишни, · мантиқий кўпайтиришни

билдиради. Операцияни бажариш учун ЁКИ ва ҲАМ элементлари керак бўлади. Операция бажарилишидан олдин  $X_1 \rightarrow P_1$ ,  $X_2 \rightarrow P_2$ ,  $X_3 \rightarrow P_3$  га киритилади. Дастур АХК га ёзилади. Уни аниқлаш учун қуйидаги дастур бажарилиши керак:

$P_p A P_1$ ; МҚА ва Р2; МКА ва Р3; МҚА ва Р1;  
МКА ва Р3; ЧиқА КЧҚ<sub>i</sub> га.

Бу ерда  $P_p$  — регистр даги маълумотни аккумуляторга узатишни билдиради; МҚ — мантиқий қўшиш; МК — мантиқий кўпайтириш. ЧиқА КЧҚ<sub>i</sub> га — *i*- номердаги чиқишга аккумулятор ичидаги маълумот чиқарилишини кўрсатади.

Бошланғич ҳолатда КХ га ОХҚ даги биринчи кўрсатма адреси ёзилади. Биринчи кўрсатма 0 адрес бўйича ёзилган бўлса,  $KX := 0$ . МП нинг ишлашига рухсат этувчи сигнал келса, 0 адресдаги кўрсатма коди ОХҚ дан КХ га МШ БРМ, Ш занжир орқали ўтади. Бу оралиқда регистрлар ҳолати қуйидагича бўлади:

$KX := 0$ ;  $XAP := 0$ ;  $KX := P_p A P_1$ .

Кейинги лаҳза ДШ ёрдамида кўрсатма коди очилиб, ББ бошқарув импульсларни ишлаб чиқади. Регистрлар тўлатилган ҳолатга келади:

$KX := KX + 1$ ;  $XAP := P_1$ ;  $A := P_1$ .

Кўрсатмалар ҳисоблагичи 1 га ортиб кейинги кўрсатма адресини аниқлайди. ХАР га *X* соннинг адреси берилади (Р1). Кейин аккумулятор *A* га киритилади. Шу иккала оралиқ „танлаш — бажариш“ машина циклини ҳосил қилади. Бу цикл СИГ дан импульс берилиши билан бошланади. Иккинчи цикл да регистрлар қуйидаги ҳолатда бўлади.

- 1)  $KX := 1$ ;  $XAP := 1$ ;  $PK := (MQA \text{ ва } P2) - \text{„танлаш“}$ ;
- 2)  $KX := KX + 1 = 2$ ;  $XAP := P_2$ ;  $BP_1 = P_2$ ;  $BP_2 = A$   
 $A := (BP_1) \vee (BP_2) - \text{бажариш}$ .

Олтинчи цикл

$KX := 5$ ;  $XAP := 5$ ;  $PK := (\text{чиқ } A - KCH_i \text{ га}) - \text{„танлаш“}$   
 $KX := KX + 1 = 6$ ;  $XAP := KCH_i$ ;  $KCH_i := A - \text{„бажариш“}$

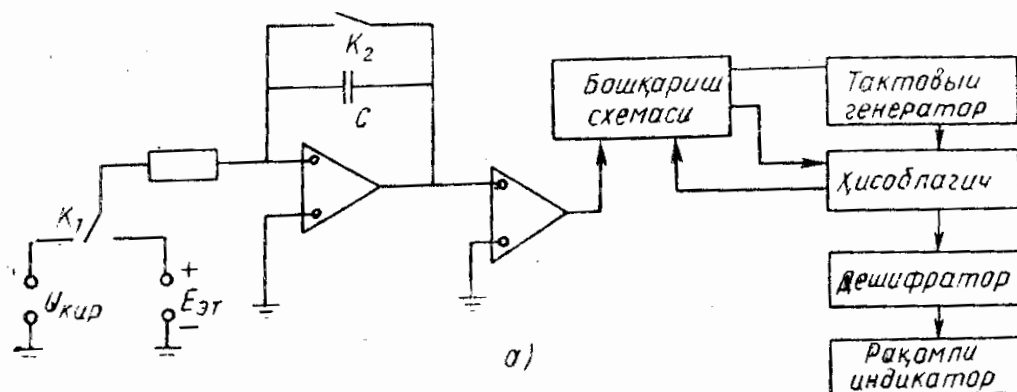
Олтинчи цикл натижасида  $i$ - номерли чиқариш қурилмаси- да аккумуляторнинг ичидаги ахборот пайдо бўлади.

### 15.16. ЭЛЕКТРОН ВОЛЬТМЕТР

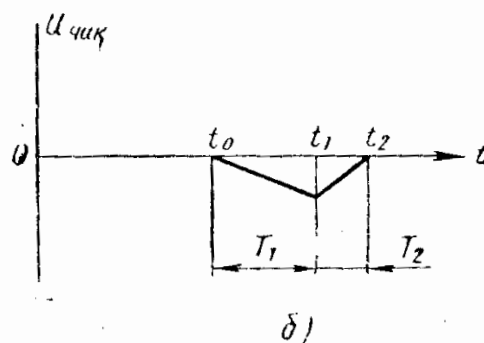
Аналог рақамли ўзгартиргич. Кўпинча температура, босим ва шунга ўхшаш бошқа катталикларни ЭХМ да ишлов бериш учун рақамли миқдорларга айлантириш зарур бўлади. Бу ва- зифани аналог-рақамли ўзгартиргичлар (АРЎ) бажаради.

АРЎ лар ўзгартириш тезлигига қараб параллел кодлаш АРЎ ҳамда икки тактли интеграллаш АРЎ ва бошқаларга бў- линади. Агар тезкорлик талаб қилинмаса, икки тактли инте- граллаш АРЎ дан фойдаланилади. Бундай АРЎ ларда кучла- ниш вақт оралиғига айлантирилади.

АРЎ нинг схемаси 15.83-расмда келтирилган. Бошланғич ҳолатда  $K$  калит очиқ,  $K$  калит ёпиқ бўлади.  $t = t_0$  вақт ичи- да калит  $K_1$  схемани кириш кучланиши  $u_{кир}$  га улайди. Калит очилади ва ОК (операцион кучайтиргич) интегратор сифатида ишлайди. Кириш кучланиши интегралланиб, аррасимон ман- фий чиқиш кучланишига айлантирилади.  $t = t_1$  вақтда калит  $K$  интеграторни  $E_{эт}$  кучланишга улайди.  $|E_{эт}| < |U_{кир}|$  ва  $E_{эт}$  нинг ишораси манфий бўлгани учун чиқишдаги кучланиш мусбат нишабга эга.  $T_2 = t_2 - t_1$  вақтда нишабнинг тиклиги



$T_1 = t_1 - t_0$  вақтдагидан катта- роқ. Интеграторнинг чиқиши- даги кучланиш  $U_{чик} = 0$  бўлгани- да компаратор режимида иш- ловчи иккинчи операцион кучай- тиргич чиқиш кучланишининг қутбланишини ўзгартиради. Бу кучланиш бошқариш схемаси- га узатилади. Бу схема эса, ўз навбатида  $K_1$  ва  $K_2$  калитлар- нинг ҳолатини бошқаради, сўнг жараён давом этади.



15.83- расм.

Чиқиш кучланишини аниқлаймиз:

$$u_{\text{чик}}(t_1) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} u_{\text{кир}} dt$$

$$u_{\text{чик}}(t_2) = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_2} u_{\text{кир}} dt + \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} E_{\text{эт}} dt$$

Интеграллашдан сўнг

$$-U_{\text{кир}} T_1 + E_{\text{эт}} T_2 = 0$$

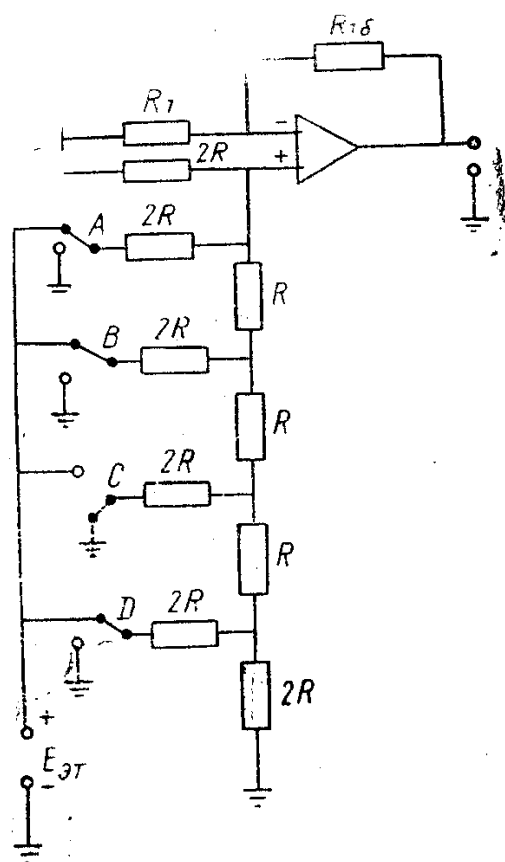
ҳосил бўлади. Бундан

$$U_{\text{кир}} = \frac{E_{\text{эт}} T_2}{T_1}$$

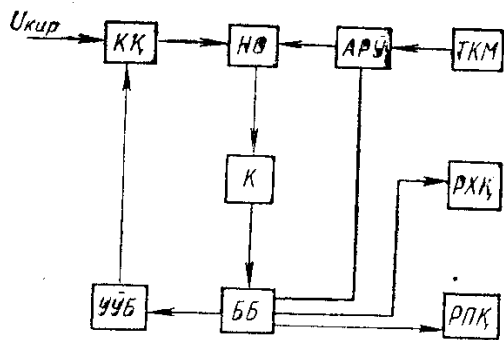
келиб чиқади.

Агар  $T_1$  ва  $E_{\text{эт}}$  — ўзгармас миқдорлар бўлса,  $U_{\text{кир}} = kT_2$ .  $T_2$  нинг қийматини эса ҳисоблагичга дешифратор орқали уланган рақамли индикатор кўрсатади. Ҳисоблагичнинг ишини бошқариш схемаси ростлайди. Бундан ташқари, бошқариш схемаси тактли генератор ва ҳисоблагичнинг ишини шундай ростлайдики,  $T_1$  вақт ичида ҳисоблагич тактли импульслар ҳисобининг тўла циклини тугаллайди. Вақт  $t_1$  да ҳисоблагич „0“ ҳолатдадир.  $t_2$  вақт ичида эса ҳисоблагичнинг чиқишида  $T_2$  ораликқа пропорционал бўлган  $N_2$  сон бўлади. Кириш кучланиши ўзгарувчан бўлгани учун интеграллаш натижасида кириш кучланишининг ўртача қиймати олинади.

**Рақам-аналогли ўзгартиргич.** Рақамли ахборотни аналогли ахборотга айлантиришда рақам-аналогли ўзгартиргичлар кенг қўлланади. Бундай ўзгартиргичларнинг тури кўп бўлиб, улардан кенг тарқалгани операцион кучайтиргич ҳамда  $R-2R$  типдаги „нарвонсимон“ бўлувчи асосида қурилган ўзгартиргичдир (15.84-расм).  $A, B, C, D$  калитлар  $2R$  резисторларни ё эталон кучланиш манбаига, ё ноль потенциалга (ерга) улайди. Агар иккили соннинг мос разряди  $I$  га тенг бўлса,  $2R$  резистор эталон кучланишга, агар „0“ га тенг бўлса ноль потенциалга уланади. Масалан, агар ўзгартиргичнинг кириш занжирига 1101 сигнал бе-



15.84- расм.



15.85- расм.

рилса,  $A, B, D$  калитлар  $E_{э\tau}$  кучланишга уланади,  $C$  калит эса „ер“ га уланади. Операцион кучайтиргичнинг тўғри киришига  $\frac{E_{э\tau}}{3} + \frac{E_{э\tau}}{6} + \frac{E_{э\tau}}{24}$  кучланиш берилди, яъни  $B$  калитнинг  $E_{э\tau}$  кучланишга уланиши  $A$  калитнинг уланишидан 2 марта,  $C$  калитнинг уланишидан 4 марта,  $D$  калитнинг уланишидан 8 марта кичик кучланишни ҳосил қилади.

Чиқиш кучланиши ўзгартирилиши керак бўлган иккили кодга тўғри пропорционалдир. Келтирилган мисолдаги 1101 коди 13 сонга тўғри келади.

$$u_{\text{чик}} = \frac{E_{э\tau}}{24} (1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0) = \frac{E_{э\tau} \cdot 13}{24}.$$

Демак, чиқиш кучланиши 13 га пропорционалдир. Умуман,

$$u_{\text{чик}} = \frac{E \cdot R}{R_{\Sigma}} X,$$

бу ерда  $X$  — берилган код.

Электрон вольтметрлар ўзгармас ва турли частотадаги кучланишларни, айрим ҳолларда қаршилиқни улғаш учун ишлатилади. Ҳозирги пайтда код-импульсга ўзгартгичли рақамли вольтметрлар кенг қўлланилади. 15.85-расмда электрон вольтметрнинг структура схемаси келтирилган. Ўлчанаётган кучланиш  $u_{\text{кир}}$  кириш қурилмасига берилди. Кириш қурилмасининг чиқишидан, кириш кучланишининг қийматидан қатъи назар, маълум чегарада ўзгарувчи (масалан,  $0 \div 1$  В) кучланиш олинади. Бу кучланиш ноль органга (НО) узатилади. НО нинг иккинчи киришига АРЎ дан кучланиш узатилади. АРЎ эса таянч кучланиш манбаи (ТКМ) дан таъминланади. Нормаллаштирилган, ўлчанаётган ва АРЎ дан берилган компенсацион кучланишлар айирмаси кучайтиргич  $K$  нинг киришига берилди ва кучайтирилиб бошқариш блоки (ББ) га узатилади. У, ўз навбаида, сигнални чегараларни ўзгартириш блоки (ЧЎБ) ва АРЎ га узатади.

Қурилмада ўлчанаётган қийматнинг миқдорига қараб ўлчаш чегарасини автоматик равишда ўзгартириш имконияти бор. Ўлчанаётган кучланиш таъминланган чегаранинг ичида бўлганида бошқариш қурилмаси сигнални ҳисоблаш ёки чоп этиш қурилмасига узатади.

## М У Н Д А Р И Ж А

Сўз боши . . . . .	3
Кириш . . . . .	4
<b>I-боб. Ўзгармас ток электр занжирлари</b>	
Умумий тушунчалар . . . . .	6
Электр занжирининг асосий қонунлари . . . . .	9
Манба ва истеъмолчи қисмларидаги кучланишлар . . . . .	11
Электр токининг иши ва қуввати . . . . .	12
Электр токининг иссиқлик таъсири . . . . .	13
Электр занжирида қувватлар мувозанати . . . . .	14
Электр занжиридаги қаршиликларни улаш схемалари . . . . .	15
Электр занжирининг иш режимлари . . . . .	19
Электр занжирларини ҳисоблаш усуллари . . . . .	21
<b>2-боб. Бир фазали ўзгарувчан ток занжирлари.</b>	
Ўзгарувчан ток турлари . . . . .	35
Синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ни ҳосил қилиш . . . . .	36
Синусоидал ўзгарувчан функцияни характерловчи катталиклар . . . . .	39
Синусоидал ўзгарувчан функциянинг таъсир этувчи ва ўртача қийматлари . . . . .	41
Синусоидал ўзгарувчи катталикларни айланувчан векторлар ёрдамида ифодалаш . . . . .	43
Актив қаршилик, индуктив ғалтак ва конденсатор уланган ўзгарувчан ток занжири . . . . .	46
Актив ва реактив қаршиликлари ўзаро кетма-кет уланган занжир . . . . .	50
Актив ва реактив қаршиликлари ўзаро параллел уланган занжир . . . . .	52
Ўзгарувчан ток занжирларидаги энергетик жараён . . . . .	54
Ўзгарувчан ток занжирининг қуввати ва қувват коэффициенти . . . . .	57
Кучланишлар резонанси . . . . .	59
<b>3- боб. Уч фазали ўзгарувчан ток занжирлари</b>	
Умумий тушунчалар . . . . .	62
Уч фазали ЭЮК, кучланиш ва тоғ системасини ҳосил қилиш . . . . .	63
Манба ва истеъмолчиларни тўрт симли юлдаш усулида улаш . . . . .	65
Манба ва истеъмолчиларни уч симли юлдаш усулида улаш . . . . .	68
Истеъмолчиларни учбурчак усулида улаш . . . . .	69
Уч фазали занжирларнинг қуввати . . . . .	71
<b>4- боб. Магнит занжирлари ва электромагнит ҳурриятлари</b>	
Умумий тушунчалар . . . . .	73
Ферромагнит материаллар ва уларнинг хусусиятлари . . . . .	75
	163



4.3. Узгармас МЮК таъсиридаги магнит занжирлари	77
4.4. Узгарувчан МЮК таъсиридаги магнит занжирлари	80
4.5. Феррорезонанс ҳодисаси	81
4.6. Магнит кучайтиргичлар	83
<b>5- боб. Трансформаторлар</b>	
5.1. Умумий тушунчалар	84
5.2. Трансформаторнинг тузилиши ва ишлаш принципи	87
5.3. Трансформаторнинг иш режимлари	88
5.4. Трансформаторни салт ишлаш ва қисқа туташув режимларида ишлатиш тажрибалари	93
5.5. Трансформатордаги қувват йерофлари ва унинг фойдали иш коэффициенти	95
5.6. Трансформаторнинг номинал катталиклари	96
5.7. Трансформаторнинг ташқи характеристикаси ва ундаги кучланишнинг ўзгариши	96
5.8. Уч фазали трансформаторлар	97
5.9. Уч фазали трансформаторларнинг чулгамларини улаш схемалари ва тукумлари	98
5.10. Трансформаторларнинг параллел ишлаши	101
5.11. Автомат трансформаторлар	102
5.12. Улаш трансформаторлари	103
5.13. Пайвандлаш трансформатори	105
<b>6- боб. Электр ўлаш асбоблари</b>	
6.1. Асосий тушунчалар	106
6.2. Электр ўлаш асбобларига қўйиладиган техник талаблар	107
6.3. Бевосита баҳолайдиган электр ўлаш асбобларининг таснифи	109
6.4. Электр ўлаш асбобларининг механизмлари	112
6.5. Логометрлар	127
6.6. Рақамли электр ўлаш асбоблари тўғрисида асосий тушунчалар	130
<b>7-боб. Электр ўлашлар</b>	
7.1. Электр ўлаш усуллари	132
7.2. Ўлаш хатолиги	133
7.3. Ток ва кучланишни ўлаш	135
7.4. Қувват ва электр энергияни ўлаш	135
7.5. Қаршиликни ўлаш. Узгармас ток кўприги	144
7.6. Сигим ва индуктивликни ўлаш. Узгарувчан ток кўприги	149
7.7. Компенсация ўлаш усули. Потенциометрлар	152
7.8. Ноэлектр катталикларни электр усулида ўлаш	157
<b>8- боб. Узгармас ток машиналари</b>	
Умумий тушунчалар	168
8.1. Узгармас ток машинасининг тузилиши ва ишлаш принципи	169
8.2. Узгармас ток ҳосил қилишда коллекторнинг аҳамияти	170
8.3. Узгармас ток машинасининг чулгамлари	172
8.4. Якорда индукцияланган ЭЮК	174
8.5. Тормозловчи ва айлантирувчи моментлар	175
8.6. Якорь реакцияси	176
8.7. Якорь коммутацияси	178
8.8. Магнит майдонни уйғотиш усулига кўра ўзгармас ток генераторларини таснифлаш	179
8.9. Узгармас ток генераторларининг ўз-ўзида уйғотилиши	180
8.10. Параллел уйғонишли ўзгармас ток генераторининг характеристикалари	182
8.11. Кетма-кет уйғотишли генератор	185
8.12. Аралаш уйғотишли генератор	186

8.13	Ўзгармас ток двигателлари	188
8.14	Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателининг характеристикалари	191
8.15	Кетма-кет уйғонишли ўзгарма ток двигателининг характеристикалари	193
8.16	Аралаш уйғотишли ўзгармас ток двигателининг характеристикалари	194
8.17	Ўзгармас ток двигателларнинг номинал катталиклари ва ФИК	196

#### 9- боб. Асинхрон машиналар

9.1	Асинхрон двигателининг тузилиши	197
9.2	Уч фазали ток системаси ёрдамда айланувчан магнит майдонининг ҳосил бўлиши	200
9.3	Асинхрон двигателининг ишлаш принципи Ротор ва отатор чулғамларидаги электр юрутувчи қуч ва тоқлар	204
9.4	Асинхрон двигатель магнит юрутувчи кучининг тенгламаси	205
9.5	Асинхрон двигателининг алмаштириш схемаси ва вектор диаграммаси	207
9.6	Асинхрон двигателининг электромагнит қуввати ва айлантирувчи моменти	208
9.7	Асинхрон двигателининг механик характеристикаси	210
9.8	Асинхрон двигателининг паспортидаги маълумотлар бўйича механик характеристикаси қуриш	214
9.9	Асинхрон двигателининг энергетик диаграммаси ва фойдали иш коэффициенти	215
9.10	Асинхрон двигателининг иш характеристикаси	216
9.11	Асинхрон двигателларни ишга тушириш Чуқур пазли ва қўш чулғамли асинхрон двигателларни ишга тушириш	218 219
9.12	Асинхрон машинанинг генератор ва электромагнит тормоз режими	222
9.13	Асинхрон двигателининг айланиш тезлигини ростлаш ва айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш)	226
9.14	Асинхрон двигателларнинг қувват коэффициентини ошириш	227
9.15	Асинхрон двигателларнинг турлари	230

#### 10- боб. Синхрон машиналар

1	Умумий тушунчалар. Синхрон машиналарнинг ишлаш принципи	233
2	Синхрон генераторнинг салб ишлаши. Нагрузкалаи иш режими. Якорь реакцияси	236
3	Синхрон генераторнинг электр ҳолати тенгламаси ва соддалантирилган вектор диаграммаси	238
4	Синхрон генераторнинг тармоқ билан параллел ишлаши	240
5	Синхрон машинанинг электр тармоғи билан параллел ишлаши	243
6	Синхрон машинанинг айлантирувчи моменти	245
7	Синхрон машинанинг двигатель режимда ишлаши. Двигатели синхрон қилиб ишга тушириш Синхрон двигателдаги уйғотувчи токнинг тармоқ таркиби таъсири. Двигателининг U синои характеристикалари	248
8	Синхрон двигателининг иш характеристикаси ва асосий солиштирма кўрсаткичлари	250
9	Синхрон компенсатор	252

#### 11- боб. Кичик қувватли электр машиналар

1	Бир фазали асинхрон двигателлар	261
2	Икки фазали ижрочи асинхрон двигателлар	267

11.3.	Асинхрон тахогенераторлар	270
11.4.	Бурилиш трансформаторлари	272
11.5.	Асинхрон боғланган индукцион машиналар	274
11.6.	Синхрон микромашиналар	278
11.7.	Ўзгармас ток ижроси двигателлар	282
11.8.	Универсал коллекторли двигателлар	284

**12- боб. Бошқариш ва ҳимоя аппаратлари. Электр юритмани бошқариш**

12.1.	Умумий тушунчалар	285
12.2.	Қўл билан бошқариладиган аппаратлар	285
12.3.	Электромагнит контакторлар, магнитли ишга туширгичлар	290
12.4.	Тиристорли контакторлар	298
12.5.	Ҳимоя аппаратлари	300
12.6.	Электр тузилма ва элементларнинг схемада тасвирланиши	311
12.7.	Электр двигателларнинг автоматик бошқариш, схемаларидан намуналар	315

**13- боб. Электр юритма асослари**

13.1.	Умумий тушунчалар	322
13.2.	Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси	323
13.3.	Электр юритманинг механик характеристикалари	326
13.4.	Электр юритмадаги ўтиш жараёнлари	328
13.5.	Электр юритманинг нагрузка диаграммаси	332
13.6.	Двигателларнинг қизиши ва совиши	334
13.7.	Электр двигателларнинг қувватичи танлаш	337
13.8.	Электр юритма учун двигатель турини танлаш	341
13.9.	Электр юритмани тиристор билан бошқариш	344

**14- боб. Саноат корхоналарининг электр таъминоти**

14.1.	Электр энергияни ишлаб чиқариш	347
14.2.	Электр тармоқлари	350
14.3.	Саноат корхоналарининг электр таъминоти	354
14.4.	Электр таъминоти системасининг ҳисобий қуввати	360
14.5.	Ўтказгичнинг кундаланг кесимини танлаш	363
14.6.	Электр хавфсизлиги асослари	367

**15- боб. Электроника асослари**

15.1.	Умумий тушунчалар. Оддий электровакуум ва ярим ўтказгич асбобларининг ишлаши	372
15.2.	Кўп электродли электровакуум ва ярим ўтказгич асбоблар. Триодлар ва транзисторлар	378
15.3.	Импульс билан бошқариладиган электрон ва ярим ўтказгич диодлар. Газотрон, тиритрон, тиристор	386
15.4.	Микроэлектроника элементлари	391
15.5.	Фотоэлектрон асбоблар	394
15.6.	Ўзгарувчан токни тўғрилаш заңжирлари	399
15.7.	Тиристорли ўзгартиргичлар	409
15.8.	Инверторлар	414
15.9.	Частота ўзгартиргичлар	419
15.10.	Қучайтиргичлар	421
15.11.	Электрон вольтметр	437
15.12.	Импульсли ва рақамли техника	441
15.13.	Мантиқий функциялар ва элементлар	447
15.14.	Электрон ҳисоблаш машиналарининг айрим элементлари	451
15.15.	Микропроцессорлар	455
15.16.	Электрон вольтметр	460

Каримов Анвар Саидабдуллаевич, Мирҳайдаров Мирсобиди Мирхусанович, Шоёқубов Гафур Рустамович, Абдуллаев Баҳтиёр, Сергей Григорьевич Блейхман, Бурхонхўжаев Обитхўжа Муротович, Қашқаров Абдали Азимович, Турсунхўжаева Нафиса Убайдуллаевна, Каримова Светлана Абдурахмановна.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

Олий ўқув юрти талабалари учун дарслик

Тошкент «Уқитувчи» 1995

Муҳаррирлар Ш. Аъзамов, Д. Аббосова  
Техн. муҳаррир Т. Ф. Скиба  
Бадий муҳаррир Ф. Неққадамбоев  
Мусахҳиҳ М. Иброҳимова

Ушбу китоб НДКИ "Умумий физика" кафедраси  
профессор-ўқитувчилари томонидан Электрон ҳолатга ўтказилди.  
Навий ш. 2013 й.

Теризга берилди 5.03.93. Босишга рухсат этилди 26.01.95. Формати 1  
терат. гарнитураси. Кегли 10 шпонсиз. Юқори босма усулида босилган  
29.25. Нашр. л. 28.5. 4000 нусхада. Буюртма 2920.

«Уқитувчи» нашриёти. 700129. Навоий кўчаси. 30. Ш. 1995.

Область газеталарининг М. В. Морозов номлидаги бирлашма  
хонаси. Самарқанд, ш. У. Турсунов кўчаси, 82. 1995.