

Рижаев В.Д. (Озлик)

621.3/07

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

*Ўзбекистон Олий ва махсус ўрта таълим вазирлиги  
техника олий ўқув юрталарининг талабалари  
учун дарслик сифатида тавсия этган*

2023643

Тошкент „Ўқитувчи“ 1995

621.3 (075)

621.3 + 621.38 (075)

Э-45

А. С. Каримов, М. М. Мирҳайдаров, Ғ. Р. Шоёкубов,  
Б. А. Абдуллаев, С. Ғ. Блейхман, О. М. Бурхонхўжаев,  
А. А. Қашқаров, Н. У. Турсунхўжаева, С. А. Каримова

Ушбу дарслик техника олий ўқув юртларининг электротехника асосий бўлмаган ихтисослик бўйича ўқитиладиган талабаларига мўлжалланган. Унда ўзгармас ва ўзгарувчан ток электр занжирлари, электромагнит қурилмалар ва трансформаторлар, электр ўлчов асбоблари, электр юритма асослари баён қилинган; электроника асослари ҳақида тушунчалар берилган.

Тақризчи — доцент У. Иброҳимов

31.21  
Э 45

Электротехника ва электроника асослари:  
Олий ўқув юрт. талаблари учун дарслик. —  
Т.: Уқитувчи, 1995.—464 б.

31.21+32.85

№ 29-95

Алишер Навоий номидаги Ўзбекистон  
Республикаси Давлат кутубхонаси  
Тираж 1500  
Қарт. тиражи 3000

ОНБСАКС 622052

Научная библиотека  
ТИИ ИМСХ  
ул. Қари-Ниязова, 80

К 2202010000 — 159  
353 (04) — 94 98 — 95

© „Уқитувчи“ нашриёти, 1995

ISBN 5 — 645 — 01921

*Устозимиз проф. Ғофур Раҳимович  
Раҳимовнинг ёрқин хотираларига  
бағишланада.*

## Сўз боши

Ушбу „Электротехника ва электроника асослари“ дарслиги техника олий ўқув юртларининг 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 Ғ. 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 Ғ. 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. Усмонова 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 эрампдан 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 1651 йилда, кучланишнинг биринчи электрохимиявий манбаи эса 1799 йилда яратилди.

XIX асрнинг биринчи ярмига 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 са, ноат аҳамиятига эга бўлган электротехникага асос солинди. Бу даврда электротехника билан бир қаторда электроавтоматика, телеграф, телефония ҳам ривожлана бошлади.

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

XIX асрнинг охирига 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 утган 90 йили энергетика ва электротехника соҳасида муҳим давр ҳисобланади. Чунки бу давр радио ва ярим ўтказгичлар техникасининг пайдо бўлиши, телевидение-нинг 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 бўлиши электрэнергетиканинг ўсиш суръатлари халқ хўжалигининг электр энергиясига бўлган талабидан доимо устун бўлиши керак.

Электротехника ва электрэнергетика 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.

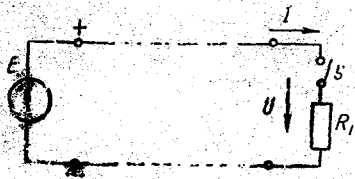
Ҳозирги даврда ишлаб чиқаришни бошқариш системасини автоматлаштириш, асосан, электротехник ва ярим ўтказгичли ҳамда микропроцессорли асбоблардан фойдаланиш билан ҳал этилмоқда. Шунинг учун бўлажак инженерлар халқ хўжалигининг турли соҳаларидаги вазифаларни муваффақиятли ҳал этишлари учун ихтисослиги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

# 1-боб. ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ

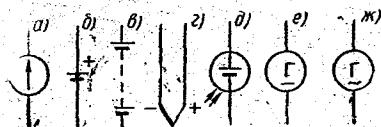
## 1.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

✓ Ҳар қандай электр занжири ўзаро симлар билан бириктирилган, битта ёки бир нечта электр энергияси манбаларидан ва истеъмолчиларидан 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. Оддий 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 линияси) ва занжирни улаб-узиш учун мослама (улагич) —  $U$  каби элементлардан ташкил топган. ✓

Занжирдан ток узлуксиз ўтиб туришининг асосий шarti унинг 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 магнитогидродинамик генераторлар иссиқлик энергиясини, турли фотоэлементлар ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантиради. Электр энергиясини ҳосил қилувчи турли манбаларнинг шартли белгиланиши 1.2-расмда кўрсатилган.  $a$  — ЭЮК,  $b$  — гальваник элементлар ёки аккумулятор батареяла-

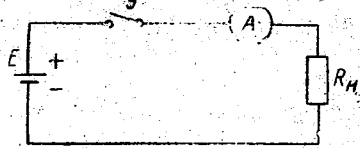


1.1-расм.



1.2-расм.

ри,  $z$  — термоэлементлар,  $d$  — 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 катталиклари 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 мусбат деб, уни „+“ ишора, потенциали паст бўлган қисмани манфий „-“ ишора билан белгилаш қабул қилинган. Манбада (ички занжирда) электр токининг йўналиши „-“ ишорадан „+“ ишорага, яъни қуйи потенциалли нуқтадан юқори потенциалли нуқтага йўналади. Ташқи занжирда эса аксинча „+“ ишорадан „-“ ишорага, яъни юқори потенциалли нуқтадан қуйи потенциалли нуқтага йўналади.

Электр занжирида ҳаракатланаётган зарядга ўтказгич муҳит маълум қаршилик кўрсатади. Мазкур қаршилик ўтказгичнинг электр қаршилиги дейилиб, қуйидаги 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>.

SI 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 қотишмадари (манганин, константан, нихром ва б.) дан ҳам кенг фойдаланилади. Ушбу материалларга ҳос 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
Пудат	7,7	0,13	0,006
Маңганин	2,4	0,42	0,00003
Константан	2,0	0,5	0,000005
Нихром	1,0	1,0	0,0001

## 1.2. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

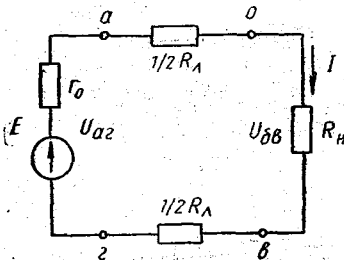
Ум қонуни электр занжирига оид асосий қонун бўлиб, занжирдаги ток ва кучланиш ўзаро қандай нисбатда боғланганлигини ифодалайди. Бу қонунга кўра тармоқланмаган берк занжирдаги (контурдаги) ток ЭЮК га тўғри пропорционал, занжирнинг тўла қаршилигига тескари пропорционалдир. Мазкур қонунга биноан 1.4-расмда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

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

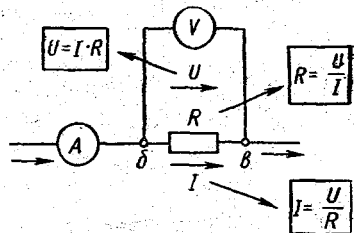
бу ерда  $r_0$  — манбанинг ички қаршилиги;  $R_{\text{н}} = \frac{1}{2} R_{\text{а}} + \frac{1}{2} R_{\text{а}}$  — электр узатиш линия симининг қаршилиги;  $R_{\text{н}}$  — истеъмолчининг (нагрузканинг) қаршилиги;  $r_0 + R_{\text{т}}$  — занжирнинг тўла қаршилиги;  $R_{\text{т}} = R_{\text{а}} +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

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

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



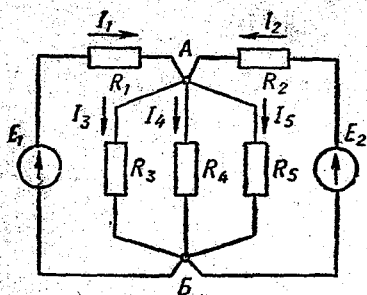
1.4- расм.



1.5- расм.

бундан

$$U_{об} = I \cdot R_n$$



1.6- расм.

Демак,  $R_n$  қаршилигида кучланишнинг пасайиши у орқали ўтган токнинг мазкур қаршиликка қўпайтмасига 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 ифодалайди. Бу қонунга кўра, электр занжирининг тармоқланиш тугунига келаётган ва ундан чиқиб кетаётган токларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг. Чунки, 1.6-расмдаги электр занжирининг А тугуни учун

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

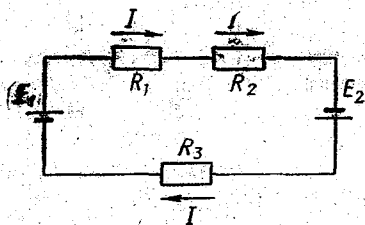
деб ёзиш мумкин. Бунда тармоқланиш тугуни келаётган токларни „+“ ишора ва ундан чиқиб кетаётган токларни „-“ ишора билан олган бўламиз. Умумий ҳолда

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

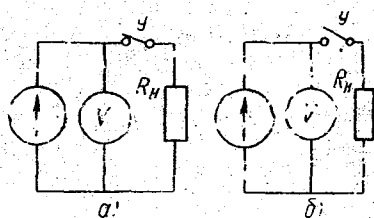
✓ *Кирхгофнинг иккинчи қонуни (кучланишлар қонуни)* берк электр занжирининг қисмларида ЭЮК ва кучланишларнинг қандай тақсимланганлигини аниқлашга ёрдам берали. Бинобарин, берк контурдаги барча ЭЮК ларнинг алгебраик йиғиндиси шу контурнинг барча қисмларидаги кучланишлар пасайишининг алгебраик йиғиндисига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

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

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

### 1.3. МАНБА ВА ИСТЕЪМОЛЧИ ҚИСМАЛАРИДАГИ КУЧЛАНИШЛАР

(1.5) ифодани  $E = I \cdot r_0 + I \cdot R_d + I \cdot R_n = I \cdot r_0 - I \cdot R_r$  кўришида қайта ёзиб, қўйидаги хулосага келиш мумкин: ҳар қандай манба ЭЮК ининг бир қисми унинг ички қаршилиги  $r_0$  га сарфланади. Шунга қўра, 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  $U_{az} = E - I \cdot r_0$  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 дейлади. Бунга ўта катта қувватли (ГЭС, ГРЭС, АЭС ва б.) электр станцияларининг генераторлари қиради. 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 ( $U_{az} = E$ ) бўлади.

Манба билан истеъмолчини бирлаштирувчи линия сими ҳам маълум қаршиликка эга бўлгани сабабли кучланишнинг бир қисми узатиш линиясида сарфланади, яъни  $I \cdot R_d = \Delta U_d$ . Узатиш симининг (линиянинг) узунлиги ортган сари кучланишнинг пасайиши ҳам орта боради. Бунда истеъмолчининг *бв* қисмаларидаги кучланиш манба қисмаларидаги кучланишдан доимо  $\Delta U_n$  га фарқ қилади, яъни  $U_{bv} = U_{az} - \Delta U_n$ . 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 катта бўлса, бажарилган иш ёки сарфланган энергия шунчалик катта 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,  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Ж/с}$ , 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 ( $I \cdot R_x = \Delta U_d$ ) ҳам шунчалик кичик бўлади. Натижада линиянинг фойдали иш коэффициентини юқори бўлади:

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

бу ерда  $P_{\text{исст}}$  — 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 жоуль қабул 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) натижасида 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 натижасида 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 нагрузка 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:

$$E = I \cdot r_0 + I \cdot R_n + I \cdot R_n = I \cdot (r_0 + R_n + R_n) = I \cdot (r_0 + R_T)$$

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

$$E \cdot I = I^2 \cdot r_0 + I^2 \cdot R_n + I^2 \cdot R_n$$

ёки

$$P_3 = \Delta P_0 + \Delta P_n + P_n = \Delta P_0 + \Delta P_T \quad (1.15)$$

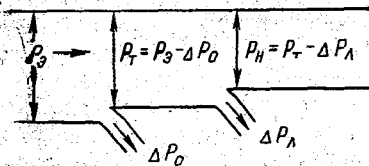
Бу ерда  $P_3 = E \cdot I$  — манба ҳосил қилган электромагнит қувват. У манбанинг ўзида (ичида)  $\Delta P_0 = I^2 \cdot r_0$  қувватга, узатиш линияси маълум қаршилик ( $R_n$ ) га эга бўлгани сабабли узатилаётган қувватнинг  $\Delta P_n = I^2 \cdot R_n$  қисми иссиқлик энергиясига, қолган қисми  $P_n = I^2 \cdot R_n$  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  $r_0 \ll R_T$ . 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).

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



1.9-расм.

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 —  $\Delta P_d$ ; 7) юклама истеъмол қилаётган қувват —  $P_n$ ; 8) занжирнинг қувватлар мувозанати.

Ечилиши. Узатиш линиясининг қаршилиги

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

Занжирнинг умумий қаршилиги

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

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

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

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

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

Нагрузка истеъмол қилаётган қувват

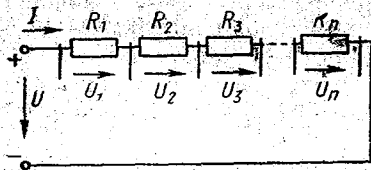
$$P_n = U_n \cdot I = 115,6 \cdot 10 = 1156 \text{ Вт} = 1,156 \text{ кВт.}$$

Занжирдаги қувватлар мувозанати

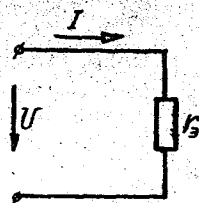
$$P_э = \Delta P_0 + \Delta P_d + P_n = 50 + 294 + 1156 = 1500 \text{ Вт} = 1,5 \text{ кВт.}$$

### 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 охириг учини иккинчи қаршилик ( $R_2$ ) нинг бош учига, иккинчи қаршиликнинг охириг учини учинчи қаршилик ( $R_3$ ) нинг бош учига ва ҳоказо 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

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

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

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1.16)$$

бу ерда:  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  — занжир қисмларининг қаршиликлари;  $R_0$  — занжирнинг эквивалент (умумий) қаршилиги.

Демак, эквивалент қаршилик  $R_0$  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:

$$I = \frac{U}{R_0}. \quad (1.17)$$

Қаршиликларни кетма-кет улаш электротехниканинг турли соҳаларида учрайди. Масалан, ўзгармас ток двигателини ишга туширишда ишга тушириш тоқини чеклаш мақсадида якорь билан ишга тушириш реостати кетма-кет уланади. Шунингдек, айланиш тезлигини ростлаш мақсадида ростлаш реостати қўланади. 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

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

Агар

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

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

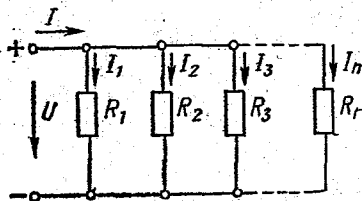
Агар  $G_g = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$  бўлса, занжирдаги ток қуйидагича ифодаланади:

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

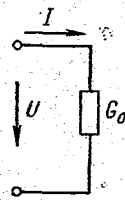
Бу ерда:  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$  — параллел тармоқларнинг ўтказувчанликлари, См;

$G_g$  — параллел тармоқларнинг эквивалент ўтказувчанлиги См.

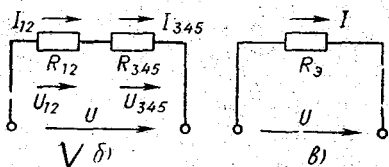
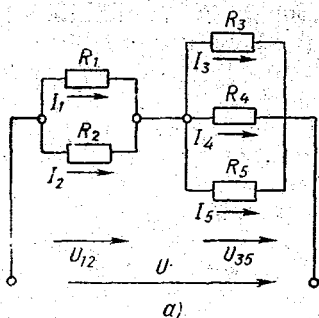
(1.19) формулага биноан 1.12 ва 1.13-расмлардаги схемаларни (занжирларни) ўзаро эквивалент дейиш мумкин. Демак,



1.12-расм.



1.13-расм.



1.14- расм.

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 занжирдаги параллел уланган тармоқларнинг сон 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-

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 дозим.

Қаршиликлари аралаш уланган занжирларнинг эквивалент қаршилигини ҳисоблаш занжирнинг охириги қисмидан манба томон олиб борилади (1.14-расм, б). Бунда занжир тобора соддалашиб 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 занжирини 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  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  тоқларнинг қиймати аниқлансин.

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

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

$R_3, R_4, R_5$  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 тоklarнинг 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 паспортида 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 мулжалланган 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, узоқ 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 ишлаши таъминлаш учун, биринчи навбатда, уларнинг кириш қисмаларидаги ҳақиқий кучланишнинг номинал кучланиш қийматига тенг бўлишига эришмоқ зарур.

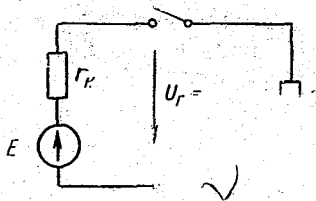
Электр занжирларининг иш режимлари турли сабабларга кўра номиналдан фарқ қилиши мумкин. Агар электр занжири режимининг ҳақиқий характеристикалари унинг номиналидан фарқ қилса-ю, аммо бу фарқ жоиз чегарада бўлса, бундай режим нагрузка режими дейилади. Масалан, радио ва телевизорлар учун кучланишнинг жоиз 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 пасивийи нолга тенг бўлиб, унинг қисмаларидаги кучланиш генераторнинг (манбанинг) ЭҲК ига тенг бўлади ( $E \approx U_r$ ).

Элементлари ўзаро кетма-кет уланган 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) қаршиликсиз, ўзаро уланиб қолишига айтилади.

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



1.15-расм.

тади. Натижада қатта иссиқлик ажралиб чиқиб, қурилманинг изоляцияси ишдан чиқади. Баъзи қисқа туташиларда электр ёйи ҳосил бўлиши мумкин. Умуман, қисқа туташилар режими нохуш оқибатларга олиб келиши сабабли уни *аварияли режим*, деб ҳам аталади. Қисқа туташилар электр қурилмаларини монтаж қилиш ва ундан фойдаланишнинг норма ва қоидаларига тўлиқ риоя қилилмаганлигининг 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 токнинг 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 қўллаш усули.** Кирхгофнинг биринчи ва иккинчи қонунларидан фойдаланиб, ҳар қандай мураккабликдаги тармоқланган электр занжири учун керакли тенгламаларни тузгандан 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 борича содалаш гириш.

2. Берилган электр занжири схемасини мустақил контурларга ажратиш.

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

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

5. Кирхгофнинг биринчи қонуни бўйича  $n - 1$  ( $n$  — схемадаги тугунлар сони) ҳол учун тоқлар тенгламасини 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 қаршиликда) 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 қаршиликлар маълум, деб фараз қиламиз).

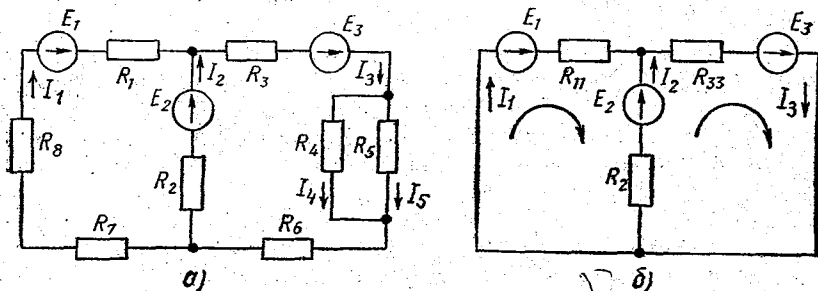
Берилган бошланғич схемани (1.16-расм, а) соддалаштиргандан сўнг 1.16-расм, б даги схема ҳосил бўлади.

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

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

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

(1.21) тенгламалар системасини ечиш натижасида айрим тоқлар мусбаг 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, а 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, б) 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, б 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.

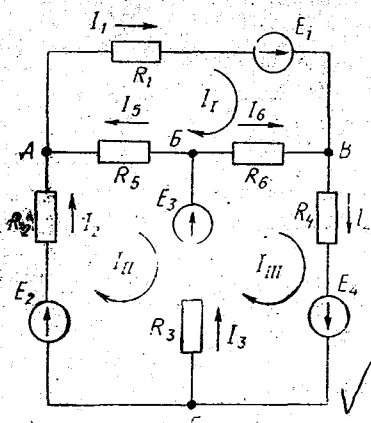
Демак, аниқланган барча тоқларнинг ишораси мусбат бўлиб чиқди, чунки тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий йўналиши уларнинг 1.16- расмда кўрсатилган йўналишларига мос келди.  $I_3$  токи ўзаро параллел бўлган  $R_4$  ва  $R_5$  тармоқларда тақсимланиб, уларнинг қаршилигига тескари пропорционал равишда ўзгаради, 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 ўтаётти, деб фараз қилинади. Контур тоқларининг йўналишини, иложи борича, ЭЮК лар йўналишига мос қилиб олган маъқул. Агар контур тоқларининг қийматлари аниқланса, улар орқали барча тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий қийматларини аниқлаш мумкин. ✓

Контур тоқлари абсолют қиймат жиҳатдан мустақил тармоқлардаги тоқларга тенг бўлиши керак. Агар мустақил тармоқдаги токнинг йўналиши (ихтиёрий олинган) контур токнинг 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 ( $I_3$ ;  $I_5$ ;  $I_6$ ) тоқлар ёндош контурларнинг токлари орқали аниқланади. Ёндош контурдаги токнинг ҳақиқий қиймати ва йўналиши ёндош тоқларнинг алгебраик йиғиндисидан иборат. Масалан, 1.17- расмдаги схемада ёндош тармоқларнинг токлари:

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

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 тоқларининг ўрнига контурнинг барча тармоқлар учун бир хил бўлган контур тоқларини олиш.
3. Йўналиши контур токнинг йўналиши билан мос бўлган ЭЮК ларни „+“ ишора билан, йўналиши мос бўлмаган ЭЮК ларни эса „-“ ишора билан ёзиш\*.
4. Ёндош тармоқлардаги тоқларнинг йўналиши контур тоқларининг йўналиши билан мос бўлса, ёндош тармоқнинг қар-

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



шилиги „+“ ишора билан, аксинча, қарама-қарши бўлса, „—“ ишора билан тенгламага киритилади.

5. Схемادا нечта мустақил контур бўлса, ўшанча тенглама тузиш керак

Шундай қилиб, кўрилатган схема учун Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан қуйидаги тенгламалар системасини тузамиз:

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

Қуйидаги белгилашларни киритамиз:

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

Бинобарин, (1.22) тенгламалар системасини умумий ҳолда қуйидагича ёзамиз:

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

Бу ерда:  $E_I, E_{II}, E_{III}$  — тегишли контурлардаги ЭЮК ларнинг алгебраик йиғиндис;  $R_{11}, R_{22}, R_{33}$  — тегишли контурлардаги қаршиликларнинг алгебраик йиғиндис;  $R_{12}, R_{21}, R_{13}, R_{31}, R_{23}, R_{32}$  — тегишли ёндош контурлар орасидаги ёндош тармоқлар қаршиликларининг йиғиндис ёки контурларнинг ўзаро қаршиликлари

(1.23) тенгламалар системаси, одатда, аниқловчилар усули ёрдамида ечилади.

Агар  $n$  та мустақил контурли электр занжири учун  $I_I, I_{II}, I_{III}, \dots, I_n$  контур тоқларини аниқлаш керак бўлса,  $n$  та тенглама тузилади, яъни:

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

Тузилган  $n$  — тенгламалар системаси ёрдамида  $k$  — контурдаги ток  $I_k$  ни қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$I_k = E_1 \cdot \frac{\Delta k_1}{\Delta} + E_{II} \cdot \frac{\Delta k_2}{\Delta} + E_{III} \cdot \frac{\Delta k_3}{\Delta} + \dots + E_n \cdot \frac{\Delta k_n}{\Delta} \quad (1.25)$$

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 куйидагилар:

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

маълум бўлса, занжир тармоқларидаги токларнинг тақсимланиши контур токлари усули ёрдамида аниқлансин.

Ечилиши. ЭЮК ларнинг, тармоқлардаги токларнинг, шунингдек контур токларининг йўналишини расмда кўрсатилгандек 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:

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

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 кўямиз:

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

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 катталар ёрдамида контур тоқларини топамиз:

$$I_1 = E_1 \cdot \frac{\Delta_{11}}{\Delta} + E_{II} \cdot \frac{\Delta_{12}}{\Delta} + E_{III} \cdot \frac{\Delta_{13}}{\Delta} = 20 \cdot \frac{550}{10325} + 10 \cdot \frac{175}{10325} + \\ + 30 \cdot \frac{180}{10325} = 1,07 + 0,17 + 0,52 = 1,76 \text{ A};$$

$$I_{II} = E_1 \cdot \frac{\Delta_{21}}{\Delta} + E_{II} \cdot \frac{\Delta_{22}}{\Delta} + E_{III} \cdot \frac{\Delta_{23}}{\Delta} = 20 \cdot \frac{175}{10325} + 10 \cdot \frac{525}{10325} + \\ + 30 \cdot \frac{245}{10325} = 0,34 + 0,51 + 0,71 = 1,56 \text{ A};$$

$$I_{III} = E_1 \cdot \frac{\Delta_{31}}{\Delta} + E_{II} \cdot \frac{\Delta_{32}}{\Delta} + E_{III} \cdot \frac{\Delta_{33}}{\Delta} = 20 \cdot \frac{180}{10325} + 10 \cdot \frac{245}{10325} + \\ + 30 \cdot \frac{547}{10325} = 0,35 + 0,24 + 1,59 = 2,18 \text{ A}.$$

Контур тоқлари ёрдамида тармоқлардаги тоқларнинг ҳақиқий қийматини аниқлаймиз:

$$I_1 = I_I = 1,76 \text{ A}, \quad I_2 = I_{II} = 1,56 \text{ A},$$

$$I_3 = I_{III} - I_{II} = 2,18 - 1,56 = 0,62, \quad I_4 = I_{III} = 2,18 \text{ A},$$

$$I_5 = I_1 - I_{II} = 1,76 - 1,56 = 0,2 \text{ A},$$

$$I_6 = I_{III} - I_1 = 2,18 - 1,76 = 0,42 \text{ A}.$$

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:

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

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

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 тенгламаси тузилади. Тенгламадаги тегишли тармоқларнинг тоқларини шу тармоқ ўтказувчанлигининг унинг элементидаги кучланишнинг пасайишига кўпайтмаси тарзида ифодалаймиз. Масалан, 1.18-расмдаги занжир учун бундай тенгламалар 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  $c$  тугунларнинг потенциалларини тегишлича  $\varphi_a = \varphi_1, \varphi_b = \varphi_2$  ва  $\varphi_c = 0$  орқали белгилаб, бутун занжирнинг тоқлари учун қуйидаги тенгламаларни 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.

Токларнинг мазкур қийматларини (1.27) ва (1.28) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\begin{cases} G_1(E_1 - \varphi_1) - G_2\varphi_1 - G_3(\varphi_1 - \varphi_2) = 0 \\ G_3(\varphi_1 - \varphi_2) - G_4\varphi_2 + G_5(E_2 - \varphi_2) = 0 \end{cases}$$

ёки

$$\begin{cases} \varphi_1(G_1 + G_2 + G_3) - \varphi_2G_3 = G_1E_1 = I_1 \\ -\varphi_1G_3 + \varphi_2(G_3 + G_4 + G_5) = G_5E_2 = I_2 \end{cases} \quad (1.29)$$

Белгилашлар киритамиз:

$G_{11} = G_1 + G_2 + G_3$  — биринчи тугуннинг хусусий ўтказувчанлиги;

$G_{22} = G_3 + G_4 + G_5$  — иккинчи тугуннинг хусусий ўтказувчанлиги;

$G_{12} = G_{21} = G_3$  — биринчи ва иккинчи тугунларнинг ўзаро ўтказувчанлиги.

У ҳолда (1.29) ни қуйидагича ёзамиз:

$$\begin{cases} \varphi_1G_{11} - \varphi_2G_{12} = I_1 \\ -\varphi_1G_{21} + \varphi_2G_{22} = I_2 \end{cases}$$

Равшанки,  $m$  та тугун потенциалли ихтиёрий мураккаб электр занжири учун тенгламалар системасини умумлашган ҳудудида қуйидагича тузиш мумкин:

$$\begin{cases} \varphi_1G_{11} - \varphi_2G_{12} - \dots - \varphi_mG_{1m} = I_1, \\ -\varphi_1G_{21} + \varphi_2G_{22} - \dots - \varphi_mG_{2m} = I_2, \\ \dots \\ -\varphi_1G_{m1} - \varphi_2G_{m2} - \dots + \varphi_mG_{mm} = I_m. \end{cases} \quad (1.30)$$

Тенгламаларнинг чап қисмида фақат биттадан  $\varphi_k G_{kk}$  мусбат кўпайтма, қолганлари  $\varphi_q G_{qs}$  кўринишдаги манфий кўпайтмадир. Ҳар бир тенгламанинг ўнг қисмида  $k$ -тугунга бевосита боғлиқ бўлган энергия манбаларидан келаётган токларнинг йиғиндиси  $I_k$  ёзилган.

Агар бу ЭЮК манбаи бўлса, у ҳолда  $I_k$  га барча ЭЮКларнинг мазкур ЭЮК лар уланган тармоқлар ўтказувчанликларига кўпайтмасининг алгебраик йиғиндиси кирилади.  $E_q G_q$  ҳосил қилган ток тугунга қараб йўналса, мазкур кўпайтманинг ишораси мусбат ва аксинча йўналса, манфий бўлади. Токлар манбаи мавжуд бўлганда  $I_k$  йиғиндининг қиймати тармоқнинг ўтказувчанлигига боғлиқ бўлмайди (агар  $k$ -тугунга нисбатан йўналишини ҳисобга олганда ЭЮК ҳам, ток манбаи ҳам  $S$  тугунга тегишли бўлмаса, унда  $I_s = 0$  бўлади).

Бунда ҳам (1.30) нинг ёчими аниқловчилар ёрдамида топилади, яъни:

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

бунда бош аниқловчи ( $\Delta$ ) қуйидагича ифодаланади.

$$\Delta = \begin{vmatrix} G_{11} - G_{12} - \dots - G_{1m} \\ -G_{21} + G_{22} - \dots - G_{2m} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ -G_{m1} - G_{m2} - \dots + G_{mm} \end{vmatrix};$$

$\Delta_{qs} = \Delta_{sq}$  — бош аниқловчининг минорлари бўлиб, ишораси  $(-1)^{q+s}$  га кўпайтириш йўли билан аниқланади.

Тармоқлардаги ҳақиқий тоқлар қуйидагича аниқланади:

$k, q, \dots, S$  тугунларни нолинчи тугун билан уловчи тармоқлар учун

$$I_k = \varphi_k G_k, \quad I_q = \varphi_q G_q, \quad \dots, \quad I_S = \varphi_S G_S$$

ва, худди шунингдек,  $k$  ва  $q$  ва  $S$  ва ҳоказо тугунларни аниқловчи тармоқлар учун

$$I_{kq} = \varphi_k G_{kq} = (\varphi_k - \varphi_q) G_{kq}; \quad I_{qs} = (\varphi_q - \varphi_s) G_{qs}.$$

1.5-масала. 1.18-расмда кўрсатилган электр занжири учун қуйидагилар:  $E_1 = 60$  В,  $E_2 = 30$  В,  $R_1 = 8$  Ом,  $R_2 = 5$  Ом,  $R_3 = 6$  Ом,  $R_4 = 7$  Ом ва  $R_5 = 16$  Ом маълум бўлса, занжир тармоқларидаги тоқлар тугун потенциаллари усули ёрдамида аниқлансин.

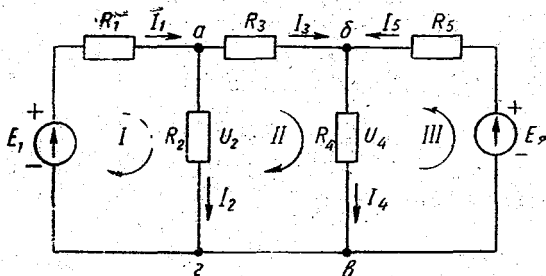
Еч илиши. Агар „ $\delta$ “ — „ $z$ “ тугунларни битта тугун деб ҳисобласак ва унинг потенциални  $\varphi_0 = 0$  деб олсак, „ $a$ “ тугуннинг потенциали  $\varphi_1$ , „ $\delta$ “ тугунники эса  $\varphi_2$  бўлади. Бинобарин, масала иккита тенглама билан ечилади:

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

Бу ерда

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

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



1.18-расм.

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

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

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:

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

$$\text{„б“ тугун учун } I_3 - I_4 + I_5 = 0 \iff 1 - 2 + 1 = 0.$$

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 қаршиликлар ва схемадан вақтинча ажратилган манбаларнинг ички қаршиликлари 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 ушлаш 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:

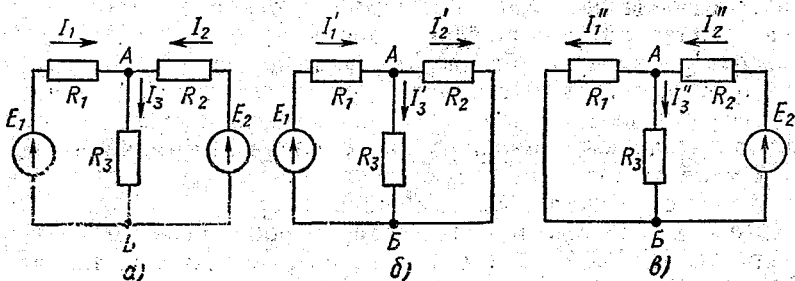
$$I_1 = \frac{E_1}{R_{13}} = \frac{99}{16,5} = 6 \text{ А.}$$

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 тоқ:

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

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:

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

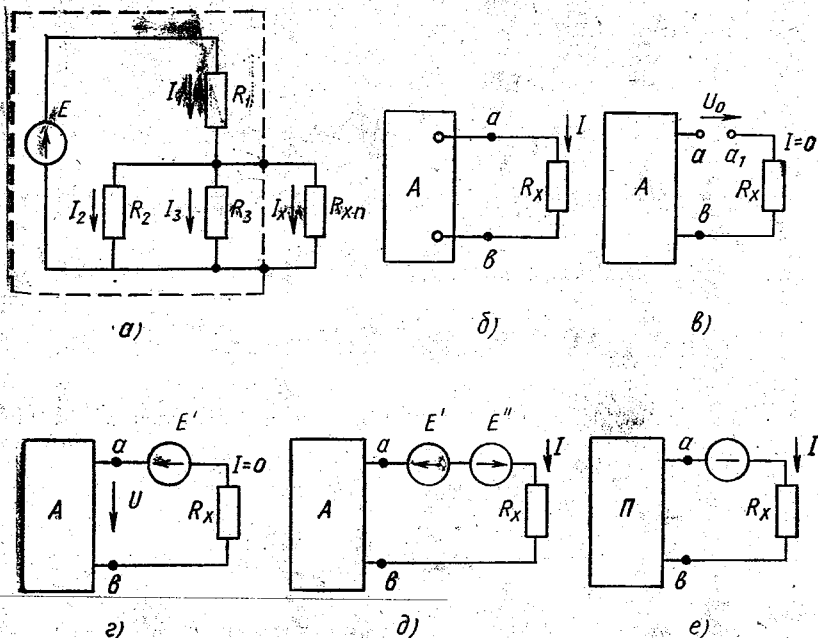
$$I_2 = I_2'' - I_2' = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ А;}$$

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

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 токни аниқлаш осон бўлиши учун шу тармоқнинг *a* нуқтасидан занжирни ажратамиз (1.20-расм, *b*), у ҳолда *anb* тармоғидаги ток нолга тенг бўлиб, *a* ва  $a_1$  нуқталари орасида салт ишлаш кучланиши  $U_0$  ҳосил бўлади. Агар *a* ва  $a_1$  қисмаларига қиймати  $U_0$  нинг қийматига тенг, аммо йўналиши унга қарама-қарши бўлган ЭЮК  $E_1$  ни уласак (1.20-расм, *z*),  $R_x$  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, *d*),  $R_x$  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:

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

Бу ерда  $R_{\text{эл}}$  — икки қутблилик ички қаршиликларининг эквивалент қиймати (унинг барча ЭЮК лари нолга тенг деб ҳисобланганда), ammo икки қутблиликка уланувчи қаршилик ўзгаришсиз қолдирилади. Бундай икки қутблилик пассив қутблилик дейилиб, шартли равишда ичига  $\Pi$  ҳарфи ёзилган тўрт бурчак тарзида кўрсатилади. Қаршилик  $R_{\text{эл}}$  ни икки қутблиликнинг 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  $R_0$  ва ток  $I$  ни ҳисоблаш керак.

$$R_0 = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 18 + \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 30 \text{ Ом.}$$

У ҳолда занжирдаги ток:

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

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

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

Номаълум ток

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

Бу ерда:

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

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

*Текшириш.* Занжирнинг чиқиш қисмаларидаги кучланиш

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

Демак, тармоқлардаги тоқлар тегишлича қуйидагиларга тенг:

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

Умуий ток

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

$R_1$  қаршилиқдаги кучланиш

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

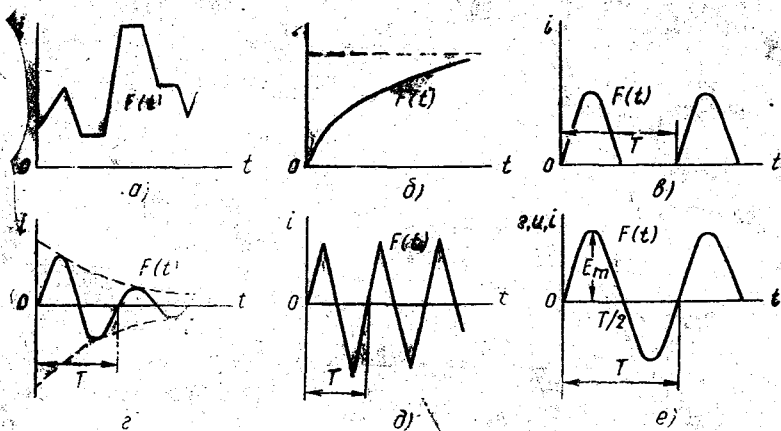
ёки

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

## 2-боб. БИР ФАЗАЛИ ЎЗГАРУВЧАН ТОҚ ЗАНЖИРЛАРИ

### 2.1. ЎЗГАРУВЧАН ТОҚ ТУРЛАРИ

Ўйналиши ва қиймати даврий равишда ўзгариб турадиган ҳар қандай тоқ *ўзгарувчан тоқ* дейилади. Ўзгарувчан тоқ вақт бўйича маълум қонун асосида ўзгаради, яъни токнинг 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 ишлатиләди. Бундай тоқлар пульсацияланувчи тоқлар дейилади (2.1-расм, а-в).



1.21-расм.

Умуман ўзгарувчан токни шартли равишда учта турга бўлиш мумкин:

- 1) қиймати ўзгарувчан, аммо йўналиши ўзгармас ток (2.1-расм, а—в);
- 2) қиймати ва йўналиши ўзгарувчан ток (2.1-расм, г—е);
- 3) даврий ўзгарувчан ток (2.1-расм, в—е).

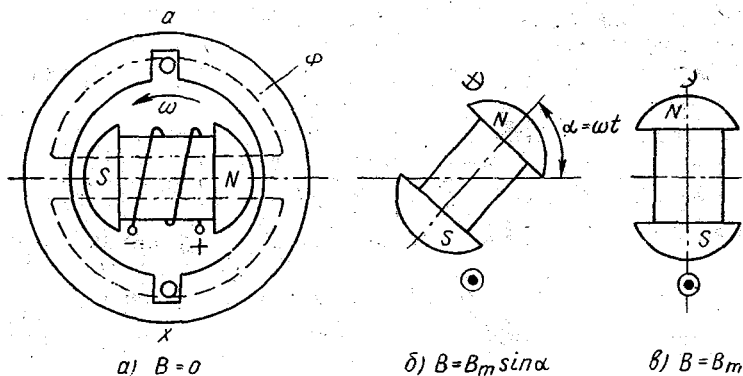
Саноатда ва турмушда фойдаланиладиган ўзгарувчан ток синусоидал қонун бўйича ўзгарадиган ўзгарувчан токдир (2.1-расм, е). Бу токни юқори кучланиш билан узок масофаларга узатиш ҳамда ўзгарувчан токда ишловчи машина ва аппаратлар (трансформаторлар, асинхрон ва синхрон двигателлар) ни ишга туширишда ишлатиш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

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

Синусоидал ўзгарувчан катталиқларнинг *таъсир этувчи* (эффeктив) ва *ўртача* қийматлари (батафсил кейинроқ кўриб чиқилади) тегишлича  $E$ ,  $U$ ,  $I$ ,  $p$  ва  $E_{ур}$ ,  $U_{ур}$ ,  $I_{ур}$ ,  $p_{ур}$  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.

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

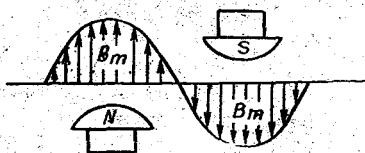
Статорнинг пазларига мис чулғамлар жойлаштирилган (чулғамнинг битта „ $a-x$ “ ўрама 2.2- расм,  $a$  да кўрсатилган, бунда  $a$ —ўрамнинг бош учи,  $x$ —охирги учи).

Ротор ўзгармас магнит ёки электромагнитнинг бир тури ҳисобланиб, генераторнинг асосий магнит майдонини ҳосил қилиш учун хизма 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  $e = Bv$  га тенг бўлган ЭЮК ни ҳосил қилади (индукциялайди). Бунда  $B$ —магнит индукцияси,  $(Bб/м^2) = Тл$ ;  $l$ —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. Синусoidal ўзгарувчан ЭЮК ни ҳосил қилиш учун роторнинг магнит қутбларига махсус конструктив шакл берилади. 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 синусoidal қонун бўйича текис камаё боради. Магнит индукциясининг бундай тақсимоти 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 қоидадини 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) охирини 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  $a=\omega t$  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  $a-x$  ўрамининг 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 айтылади. ЭЮК, кучланиш ва токнинг амплитуда қийматлари (2.3), (2.4), (2.5) ифодаларда тегишлича  $E_m$ ,  $U_m$  ва  $I_m$  билан белги-ланган. 2.4-расмдаги графикда ЭЮК нинг амплитуда қиймати  $E_m$  билан белгиланган.

2.2-расм,  $a$  даги генераторнинг  $a - x$  ўрамида индукция-ланган 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 ўл-чанади  $(1 \text{ Гц} = \frac{1}{C})$ .

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 час-тота сифатида 50 ÷ 60 Гц ишлатилиши қуйидагиларга боғлиқ. Частотанинг 50 ÷ 60 Гц дан кичик қийматларида электр маши-налар ва трансформаторларнинг таннархи ортади. Шунингдек, электр лампочкалар ёруғлигининг липиллаши кўзга сезиларли бўлиб қолади. Частотани 50 Гц дан бирмунча орттириш электр машиналарда энергия иерофининг ортишига сабаб бўлиб, ҳо-сил бўладиган ўзииндукция ЭЮК ва электр сиғими ҳодисалари ўзгарувчан ток қурилмаларининг ишига салбий таъсир қилади.

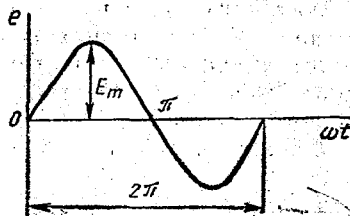
50 Гц частотали ўзгарувчан токни ҳосил қилиш (ёки синус-оидал ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилиш) учун 2.2-расм,  $a$  даги икки қутбли ўзгарувчан ток генераторининг роторини

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

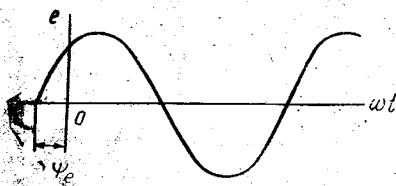
тезлик билан айлантририш керак.

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

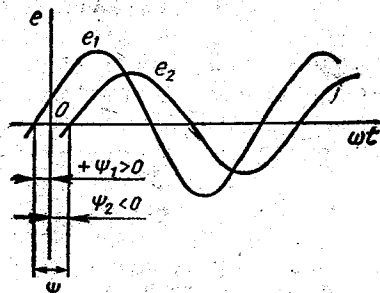
Ротори буғ турбиналари ёр-дамида катта тезлик билан ай-ланадиган турбогенераторлар-нинг магнит қутблари бир жуфт-ли бўлади. Роторининг айланиш тезлиги нисбатан кичик бўлган гидравлик турбиналарда эса кўп қутбли генераторлардан фойда-ланилади.



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,  $\delta$  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  $\psi$  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 қонуллари 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 (эффектив) ёки ўртача қиймагидан 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

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

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,

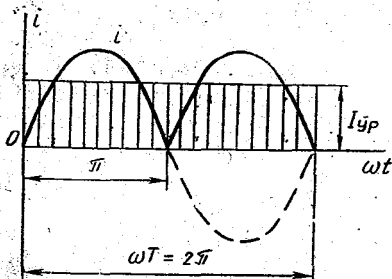
$$Q_{\sim} = \frac{I_m^2}{2} RT.$$

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:

$$I_{\text{ўр}} = \frac{1}{0,5T} \int_0^{0,5T} i dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t dt = \frac{I_m}{\pi} \left[ -\cos \omega t \right]_0^{\pi} = \frac{2I_m}{\pi} = 0,636 I_m. \quad (2.12)$$

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:

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

$$U_{\text{ўр}} = \frac{2U_m}{\pi} = 0,636 U_m. \quad (2.14)$$

Ўзгарувчан ток таъсир этувчи қийматининг унинг ўртача қийматиغا нисбати ( $I/I_{\text{ур}}$ ) синусоида шаклининг коэффициентини  $K_{\text{ф}}$  ни ифодалайди:

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

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:

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

## 2.5. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧИ КАТТАЛИКЛАРНИ АЙЛАНУВЧАН ВЕКТОРЛАР ЁРДАМИДА ИФОДАЛАШ

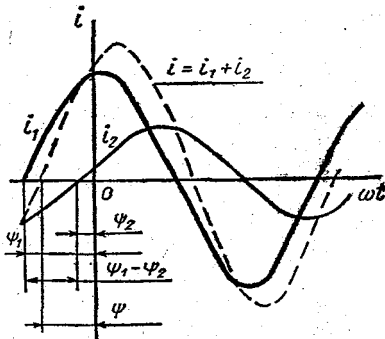
**Вектор диаграммалар.** Ўзгарувчан ток занжирлари назариясини ўрганишда ва занжирдаги жараёнларни текширишда, баъзан, турли амплитуда ва бошланғич фазага эга бўлган бир хил частотали синусоидал миқдорларни қўшиш ёки айириш керак бўлади. Бу масалани аналитик ва графикавий усулларда, шунингдек айланувчан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

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1) \quad \text{ва} \quad i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \psi_2)$$

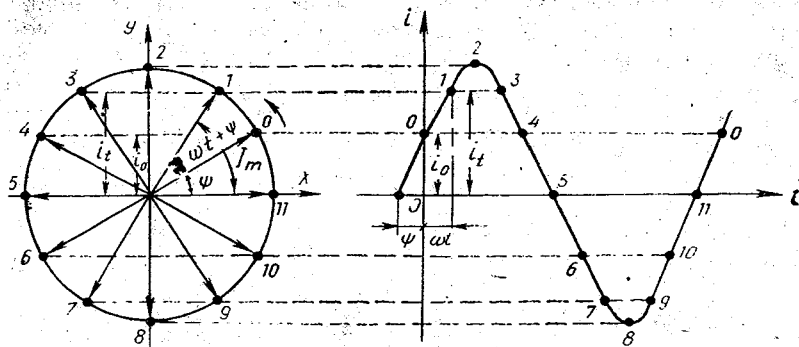
берилган бўлса, уларнинг йиғиндиси аналитик усул асосида қуйидаги тригонометрик ўзгартиришлар натижасида аниқланади:

$$i = i_1 + i_2 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{m2} \sin(\omega t + \psi_2) = I_m \sin(\omega t + \psi).$$

Кўриниб турибдики, тенг таъсир этувчи ток  $i$  ҳам ўша частотада синусоидал қонун бўйича ўзгарапти. 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 токларнинг тенг таъсир этувчисини тўғри бурчакли координаталар системасида график тарзда аниқлаш учун уларнинг ординаталарини 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 ифодаланadi.

Айланувчан радиус-векторнинг узунлиги синусоидал катталикларнинг амплитуда (ёки эффектив) қийматига тенг қилиб олинади, Масалан, ток  $i = I_m \sin(\omega t + \phi)$  ни айланувчан вектор тарзида ифодалаш керак бўлсин. Бунинг учун тўғри бурчакли координаталар системасини олиб (2.9- расм), координата бошидан  $\phi$  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 катталиқнинг оний қиймати ( $ob = i = I_m \sin(\omega t + \phi)$ ) 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 роя 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, ammo қолган векторлар бошланғич векторга нисбатан фазалар фарқига кўра жойлашиши керак.

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

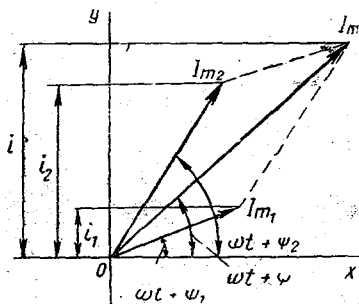
5. Бошланғич фазаси мусбат бўлган вектор координата босида соат мили ҳаракатига тескари йўналишда, манфийси эса соат милининг ҳаракати йўналишида қўйилиши керак.

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.

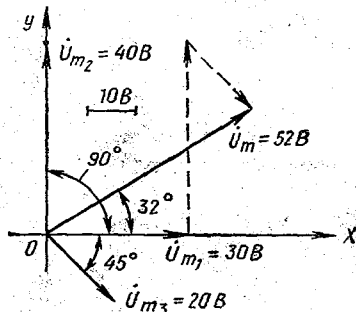
Кўпинча вектор диаграммаларда айланувчан векторларнинг узунлиги синусоидал миқдорларнинг амплитудавий қийматига тенг бўлмасдан, балки унинг таъсир этувчи қийматини ифодалайди. Бунда вектор диаграмма қуриш масштаби  $\sqrt{2}$  марта ўзгаради.

Умуман, вектор диаграмма, деб тўғри бурчакли координаталар системасида бир-бирларига нисбатан тўғри ориентацияларда қурилган, турли амплитуда ва бошланғич фазга 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  $\phi_1 = 0$  бўлгани учун унинг йўналиши абциссалар ўқининг мусбат йўналишига мос бўлиб, вектор диаграммада  $\bar{U}_1$  билан ифодаланган (2.11-расм).

Кучланиш  $u_2 = 40 \sin(\omega t + 90^\circ)$  нинг бошланғич фазаси  $\phi_2 = 90^\circ$  бўлгани учун у кучланиш  $u_1$  дан фаза бўйича  $90^\circ$  илгари келади. Шунинг учун вектор  $\bar{U}_2$  вектор  $\bar{U}_1$  га нисбатан соат милининг ҳаракатига тескари йўналишда  $90^\circ$  га бурилган бўлади.  $u_3 = 20 \sin(\omega t - 45^\circ)$  нинг бошланғич фазаси  $\phi_3 = -45^\circ$  бўлгани учун у  $u_1$  дан фаза бўйича  $45^\circ$  кечикади. Шунинг учун вектор  $\bar{U}_3$  вектор  $\bar{U}_1$  га нисбатан соат милининг ҳаракат йўналиши бўйича  $45^\circ$  га бурилган бўлади.

Энди учала векторни ўзаро қўшиб умумий кучланишнинг амплитуда қиймати  $\bar{U}_m = \bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \bar{U}_3$  ни аниқлаймиз.

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

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

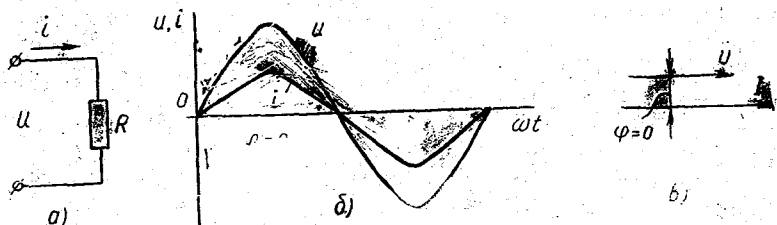
Энди транспортир ёрдамида  $\bar{U}_m$  билан абциссалар ўқи орасидаги бурчакни ўлчаймиз. Мазкур бурчак занжирдаги умумий кучланишнинг фаза силжиши бурчаги бўлиб,  $\phi + 32^\circ$  га тенг. У ҳолда занжирда умумий кучланишнинг ўзгариш қонунияти қуйидагича ифодаланади:

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

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

◀ **Умумий тushunchalar.** Барча электротехник қурилмалар маълум даражада қаршилик  $R$ , индуктивлик  $L$  ва сиғим  $C$  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 сиғим 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 алмашилиши жараёни содир бўлгани учун мазкур элементлар реактив элемент-



2.12, расм.

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

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

△ **Актив қаршилиқ** уланган ўзгарувчан ток занжири. Бу ҳолдаги нарғужага (истеъмолчиға) электр энергиясини иссиқлик энергиясига айлантириб берадиган истеъмолчилар (чуглайма лампалар, барча техника ва машиний электр иситиш асбоблари, реостат ва бопқаяар) киради. >

Фараз қилайлик, актив қаршилиқти электр занжири синусоидал кучланиш ( $u = U_m \sin \omega t$ ) манбаига уланган бўлеин (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

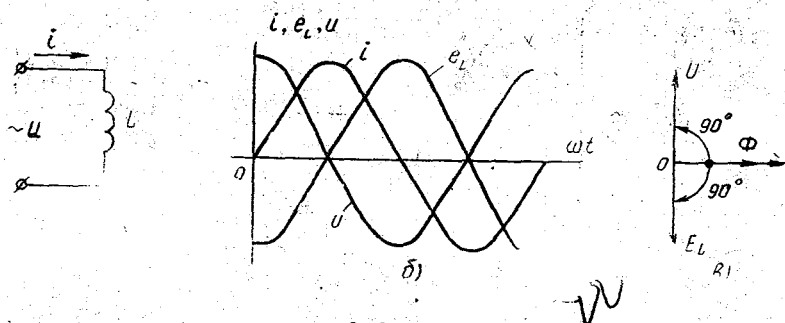
$$I_m = \frac{U_m}{R}. \quad (2.17)$$

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

Агар (2.17) ифоданинг иккала қисмини  $\sqrt{2}$  га бўлсак, кўрилайётган 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 сифим  $C_L$  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 тенгلامаси

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

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

(2.20) формулага токнинг қийматини киришак, 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 лаҳзада 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 ичида (секунднинг улушлари давомида), яъни конденсаторнинг зарядланиш жараёни тугаб, сиғим 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:

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

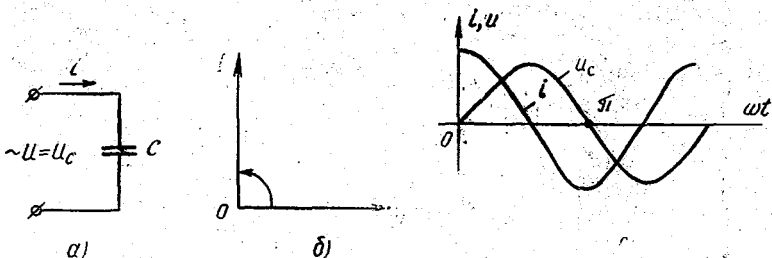
Агар  $q = C \cdot u$  эканлигини ва (2.24) формулани ҳисобга олсак, конденсатор уланган занжирдаги токнинг ўзгаришини ифодаловчи тенгликни ҳосил қиламиз:

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

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 пропорционалди.

## 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 ифодаланеди:

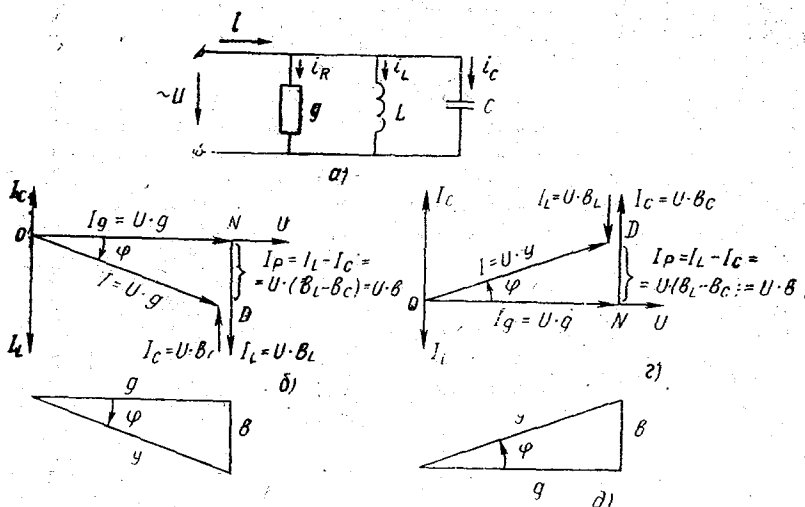
$$u = u_R + u_L + u_C \quad (2.28)$$

(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 ишораси занжирдаги реактив қаршилиқлардан қайси бирининг катталигига боғлиқ.

Актив ва реактив қаршилиқлари ўзаро кетма-кет уланган занжирнинг вектор диаграммаси 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 кўринадики, 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,  $\text{Om}$ ,  $X$  — занжирнинг реактив қаршилиги,  $\text{Om}$ .

Кучланишлар учбурчагининг учала томонини ток  $I$  га бўлиб, қаршилиқлар учбурчагини ҳосил қиламиз (2.15-расм, в, д). Бу учбурчақдан фойдаланиб, қуйидаги нисбатларни ёзиш мумкин:

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

$R, L, C$  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, б) 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, з), 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 ҚАРШИЛИҚЛАРИ ЎЗАРО ПАРАЛЛЕЛ УЛАНГАН ЗАНЖИР

Тармоқланган (параллел) ўзгарувчан ток занжирларини таҳлил қилиш ва ҳисоблаш учун ўтказувчанликдан фойдаланиш қулайдир. Тармоқланган ўзгарувчан ток занжирида (2.16-расм, а) ўтказувчанлик уч турга бўлинади: актив ўтказувчанлик  $g = \frac{1}{R}$ ; реактив ўтказувчанлик  $b = b_L - b_C$  (бу ерда

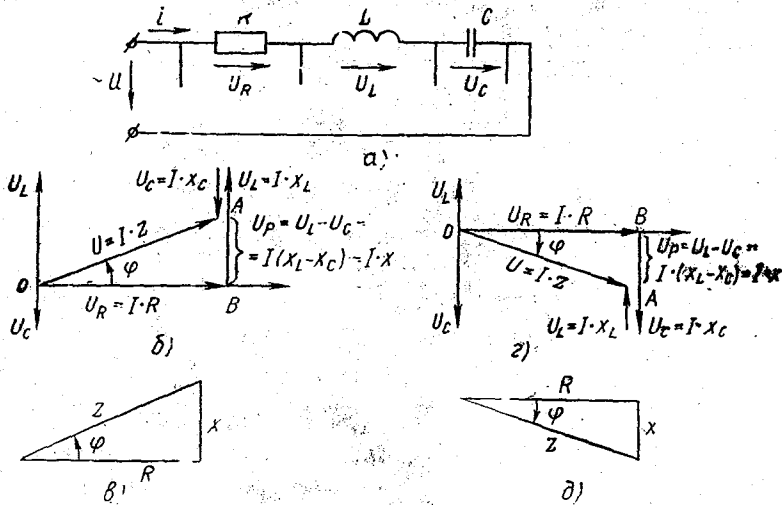
$b_L = \frac{1}{\omega L}$  —индуктив,  $b_C = \omega C$  —сиғим ўтказувчанлиги); тўла ўтказувчанлик  $Y = \sqrt{b^2 + g^2}$ . Барча ўтказувчанликлар сименсда ўлчанади ва қисқача См деб белгиланади.

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

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

У ҳолда элементлари параллел уланган занжирдаги умумий токнинг ўзгариши:

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



2.16-расм.

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

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 уланган 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 нихоят 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 кўринадикки, 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 куриш натижасида ҳосил бўлган токлар 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:

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

Токлар учбурчагининг учала томонини кучланиш  $U$  га бўлиб, ўтказувчанликлар учбурчагини ҳосил қиламиз (2.16-расм,  $\epsilon$ ,  $\delta$ ). Ўтказувчанликлар учбурчагидан қуйидаги нисбатларни ёзиш мумкин:

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

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

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

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

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

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

Биринчи ҳолда занжир актив-индуктив (2.16-расм,  $\delta$ ), иккинчи ҳолда эса актив-сифим (2.16-расм,  $\epsilon$ ) характериға эға ҳисобланади. Агар  $b_L = b_C$  бўлса,  $I_L = I_C$  бўлиб, занжирда токлар резонанси ҳодисаси рўй беради.

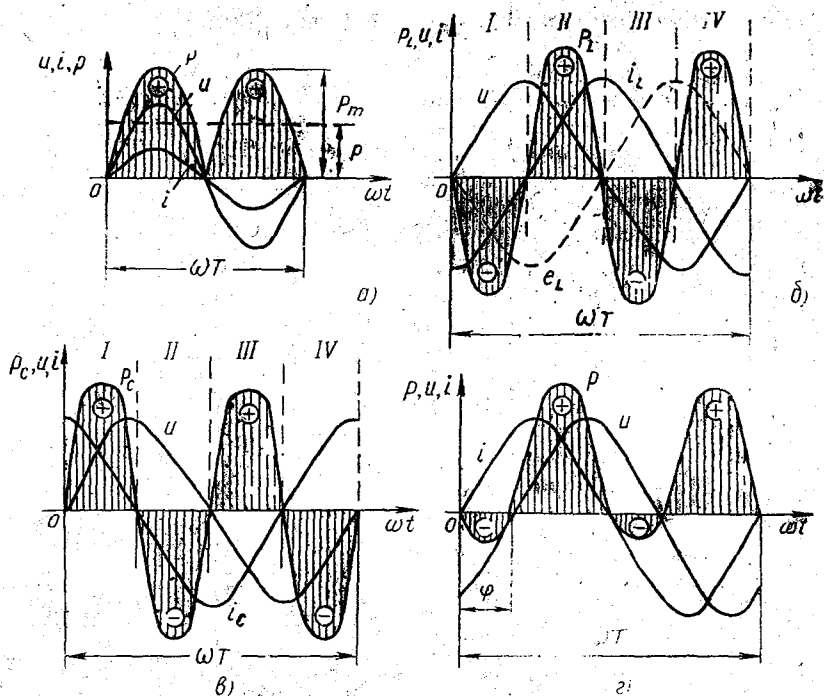
## 2.9. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРИДАГИ ЭНЕРГЕТИК ЖАРАЁНЛАР

Актив қаршилиқ уланган занжирдаги оний қувват. Умуман, ўзгарувчан ток занжирининг ихтиёрый вақт лаҳзасидаги қуввати унинг *оний қуввати* дейилади. 2.12-расмдаги занжирда оний қувват кучланиш ва ток оний қийматларининг кўпайтмасига 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  $U_k = u = U_m \sin \omega t$  — занжирга берилган кучланиш.

Оний қувват графигидан (2.17-расм,  $a$ ) кўринадики, актив қаршилиқли занжирдаги қувват  $O$  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:

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

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

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

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 nisbatan 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  $O$  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  $O$  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  $O$  дан  $T_m$  гача ортади, бунда манбадан истеъмол қилинаётган энергия конденсаторда электр майдон энергияси  $W_c = Cu^2/2$  тарзида тўпланади (мусбат ярим тўлқин). Конденсатор қопламаларидаги кучланиш  $U_m$  дан  $O$  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 ўртасида доимо алмашишиб 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  $Q_C$  харфлари 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 қувват 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:

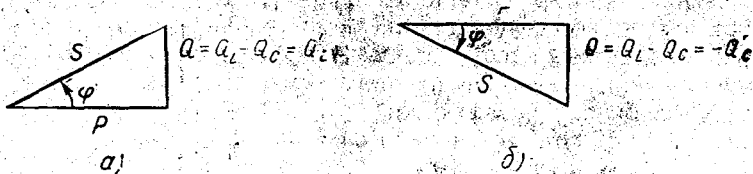
$$\begin{aligned} P &= U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= 2UI(\cos \varphi \cdot \sin^2 \omega t - \sin \varphi \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t) = \\ &= UI \cos \varphi - UI \cos 2\omega t - UI \sin \varphi \sin 2\omega t = \\ &= P(1 - \cos 2\omega t) - Q \sin 2\omega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

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). Маскур учбурчакнинг томонлари эса қуйидагиларни билдиради:

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



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 узғарувчан ток занжири энергия тўловчи 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 элекір 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 занжирда ҳосил бўлиши мумкин (2.15-расм,  $a$ ). Бунда реактив элементлар қаршиликларининг ўзаро тенг ( $X_L = X_C$ ) бўлиши резонанс шарти ҳисобланади.  $U$  ҳолда бундай занжирдаги ток:

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

Демак, резонанс пайтида занжирдаги ток актив қаршилик билан чекланиб, ўзининг максимал қийматига эришади. Бунда умумий кучланиш  $U$  билан ток  $I$  фаза бўйича мос тушиб, занжирнинг қувват коэффициенти  $\cos \varphi = 1$  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  $\vec{I} \cdot X_L = \vec{I} \cdot X_C$ , у ҳолда  $\vec{U}_L = \vec{U}_C$  ҳисобланади. Бундай пайтда  $U = U_R$  бўлади.

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

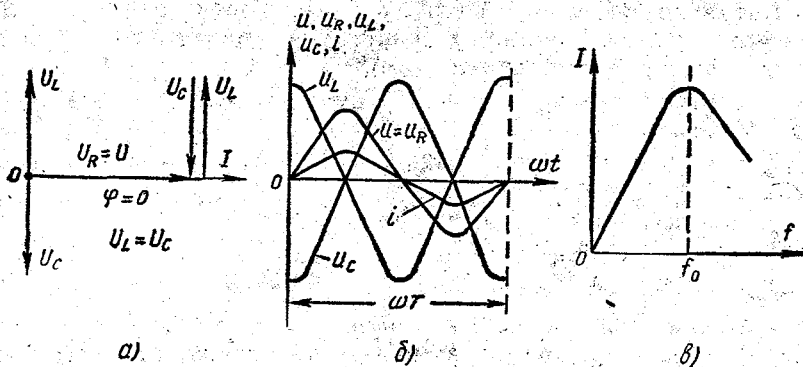
Кучланишлар резонансининг катталиги реактив элементлар қаршиликларининг актив қаршиликдан неча марта катта бўлишига боғлиқ. Бу қуйидаги ифодалардан ҳам кўриниб турибди:

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

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

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

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 сифмдаги 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 сошлаш мумкин. Бу частота *резонанс частотаси* дейилади ва  $f_0$  билан белгиланади.  $X = X_C$  шартдан  $2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$ , 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 коэффициентини  $\cos \varphi = 1$  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 кўришиб турибди:

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

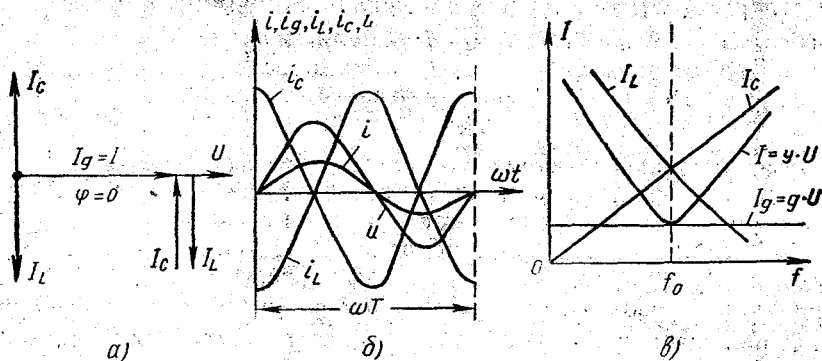
Демак, тоқлар резонанси актив ўтказувчанлиги унча катта бўлмаган занжирларда содир бўлиши мумкин. Тоқлар резонанси ҳам кучланишлар резонанси каби учта усул билан юзага келтирилиши мумкин.

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 коэффициентини ошириш мақсадида истеъмолчига конденсаторлар батареяси уланади. Конденсаторлар батареясининг реактив сифим 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 коэффициенти ошиб, узатиш симларидаги ток ва линиядаги қувват исрофи ҳамда манба тўла қувватининг камайтиришига 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 майдони ҳосил қилиб бўлмайди. Бундай майдон эса ўзгарувчан токда ишловчи барча двигателларнинг „юраги“ ҳисобланади. Технологирик 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 қўламда 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, ишончилиги ҳамда тежамлилиги нисбатан юқоридир.

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

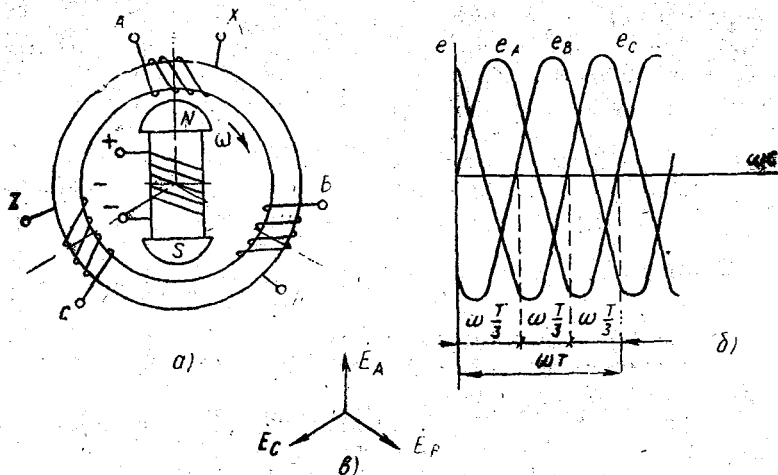
Ротор ўзгармас бурчак тезлиги  $\omega$  билан айланганда унинг магнит куч чизиқлари статорнинг ҳар бир чулғамида (фазасида) электромагнит индукцияси қонунига кўра, амплитуда ва частоталари бир хил бўлган, аммо бир-бирларидан фаза бўйича  $2\pi/3$  га (ёки  $T/3$  даврга) фарқланувчи қуйидаги синусоидал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

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

Бу ифодадаларга 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 каталекларнинг 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 ЭЮК лари ўзларининг максимумларига  $T/3$  давр ўтиб эришади. Шунга кўра, ЭЮК векторлари  $\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$  ларнинг геометрик йиғиндисини 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 мида 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 ТҶРТ 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.

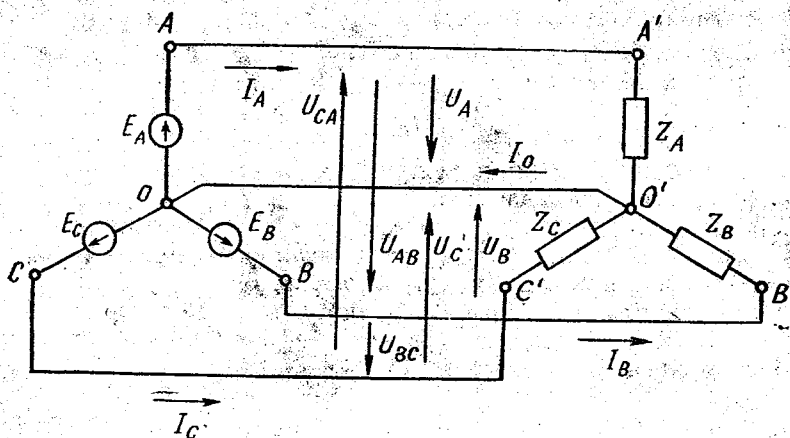
Манба ва истеъмолчининг бир номли фазаларидан ўтадиган  $I_A, I_B, I_C$  тоқлар *фаза тоқлари* дейилади ва улар  $I_\Phi$  деб белгиланади. Юлдуз усули билан улашда манба ва истеъмолчининг бир номли фазалари кетма-кет улангани учун линия ва фаза тоқлари ўзаро тенг бўлади:

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

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



3.2 расм.

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

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

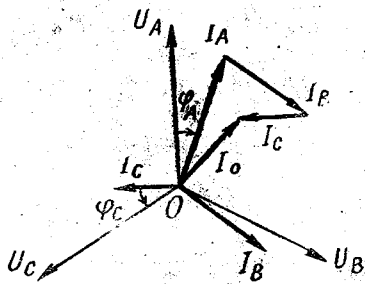
$$\sin \varphi_A = \frac{X_A}{Z_A}; \quad \sin \varphi_B = \frac{X_B}{Z_B}; \quad \sin \varphi_C = \frac{X_C}{Z_C} \quad \text{ёки} \quad \sin \varphi_\phi = \frac{X_\phi}{Z_\phi}$$

Уч фазали ЭЮК, кучланиш ва токларнинг 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 чулғамларининг охири  $X, Y, Z$  учларидан унинг бош учлари  $A, B, C$  томон йўналиши олинган. Истеъмолчиларда кучланиш ва токнинг мусбат йўналиши қилиб уларнинг бош учларидан охири учларига томон йўналиш қабул қилинган.

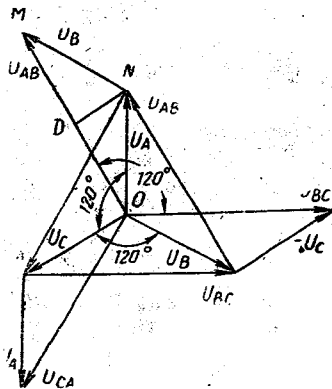
Нолинчи симдан ўтадиган ток  $I_O$  тарзда белгиланади. Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ нолинчи симдаги ток линия (ёки фаза) токларининг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

$$\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C. \quad (3.3)$$

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



расм.



3.4- расм.

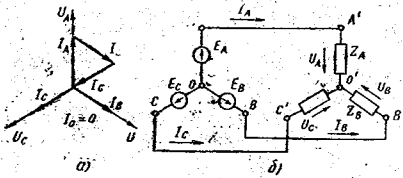
ихтиёрий  $O$  нуқтадан  $U_A, U_B, U_C$  фаза кучланишларининг векторлари  $120^\circ$  фарқ билан чизилади. Сўнгра  $I_A, I_B, I_C$  фаза токлари кучланишларга нисбатан  $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$  кечикувчи бурчаклар остида чизилиб, ток  $I_0$  нинг қиймати (3.3) ифодага биноан аниқланади.

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 қаршилиқнинг ўзгариши шу фазада ва нолинчи симдаги токнинг ўзгаришига сабаб бўлади. Агар носимметрик нагрузкада нолинчи сим узилса, нагрузкаси кичикроқ фазанинг кучланиши номиналдан ортиб кетиб, шу фазадаги қаршилиқ қизийди ёки қуйиб кетади. Нагрузкаси каттароқ фазанинг кучланиши эса номиналдан камайиб, тармоқдан камроқ қувват олади. Шунинг учун носимметрик нагрузкада фаза кучланишларининг симметриясини сақлаш мақсадида нолинчи симга сақлагич қўйилмайди. Уч фазали нотекис нагрузкага, асосан, электр ёритиш асбоблари ва маиший истеъмолчилар киради.

Фаза ва линия кучланишлари орасидаги нисбат. Агар 3.2-расмдаги схемада занжирни айланиб чиқишга 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.

векторлар диаграммасидан кўринадики, унала линия кучланишлари ўзаро тенг ва фаза жиҳатдан бир-бирларига нисбатан  $120^\circ$  га силжиган. Тенг ёнли  $OMN$  учбурчакдан қуйдагиларни 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 қаршиликлар ўзаро тенг ( $Z_A = Z_B = Z_C$ ) ва бир хил характерга, яъни бир хил сифим ва индуктивликка эга бўлса, бундай нагрузка симметрик ҳисобланади. Симметрик нагрузкада линия тоқларининг геометрик йиғиндиси нолга тенг, яъни

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

(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 кўринадики, 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:

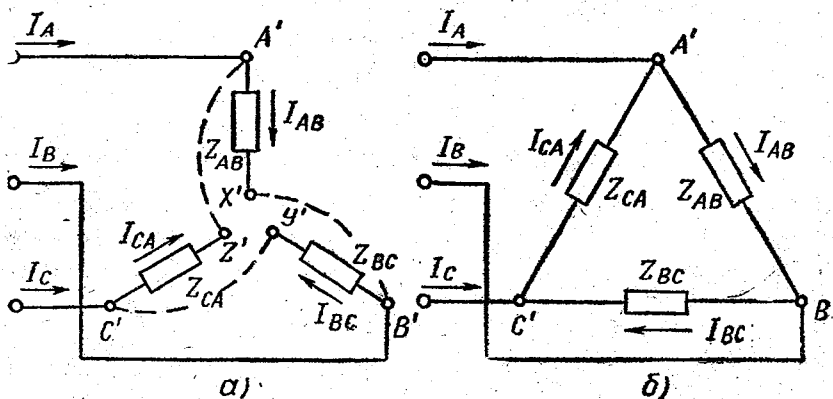
$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$$

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 токини 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

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

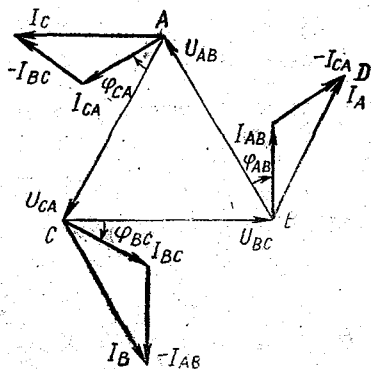
Истеъмолчининг фаза қаршиликларини юлдуз ёки учбурчак усулида улаш линия кучланишининг қийматиға ва истеъмолчининг қандай номинал кучланишга мўлжалланганига боғлиқ. Масалан, паспортида „Y/Δ—380/220“ ёзуви бўлган уч фаза асинхрон двигателни линия кучланиши  $U_{\text{л}} = 380$  В ли тармоққа юлдуз усулида,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

**Фаза ва линия тоқлари орасидаги нисбат.** Учбурчак усулида улашда фаза ва линия тоқларининг тенг эмаслиги 3.6-расмдаги схемалардан ҳам кўриниб турибди. Бу тоқлар 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 тоқлари фаза тоқларининг геометрик айирмасига тенг экан.

3.7-расмда актив-индуктив характердаги симметрик нагрузка учун линия ва фаза кучланишлари ҳамда тоқларининг вектор диаграммаси кўрсатилган. Дастлаб линия (фаза) кучланишлари векторларининг учбурчаги қурилади, сўнгра  $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$  фаза тоқларини 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 тоқларининг векторларини топиб, уларнинг қийматини аниқлаймиз.

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

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

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

эканлигини аниқлаймиз.

Демак, истеъмолчиларни учбурчак усулида улаганда линия токлари фаза токларидан  $\sqrt{3}$  марта катта бўлар экан. (3.8) ифода нагрузка симметрик бўлгандагина кучга эга. Нагрузка носимметрик бўлганда ҳар бир линия токи алоҳида ўлчанади ёки маълум фаза токлари бўйича (3.7) ифодага биноан 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.

Δ усулида уланганда

$$I_A \neq I_B \neq I_C$$

Δ 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

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

*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

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

### 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

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

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 қаршиликларини юлдуз усулидан учбурчак усулига ва аксинча ўтказиб улаш амалда учраб турлади. 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

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

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

## 4-6 о б. 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).

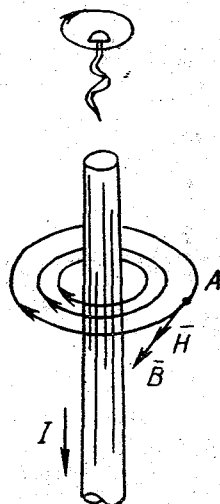
Электр токини ҳосил қилувчи магнит майдони *магнит индукцияси вектори* ( $B$ ) билан характерланади. Бу вектор магнит майдони куч чизиқларига уринма бўйлаб йўналган бўлади ва у мазкур майдон интенсивлигини билдириб, унинг таъсир этиш йўналишини кўрсатади.

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:

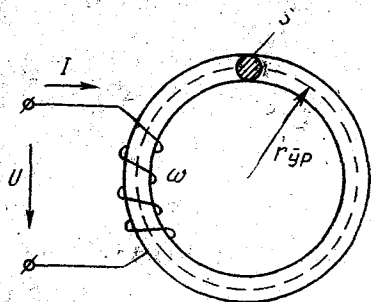
$$\Phi = \int_s \vec{B} d\vec{s} = \int_s B ds \cos(\vec{B}, \vec{ds}). \quad (4.1)$$

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

Индукцияси ҳамма нуқталарида бир



4.1- расм.



4.2-расм.

хил бўлган магнит майдони бир жинсли майдон дейлади. 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:

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

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 асоан 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 дейлади.

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 ( $E = \oint \vec{E}dl = \sum F_l$ )	МЮК ( $F = \oint \vec{H}dl = \sum I_l W_l$ )
2	Электр токи ( $I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{s}$ )	Магнит оқими ( $\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$ )
3	Электр актив қаршилик $R = \frac{l}{\gamma S}$	Магнит қаршилиги $R_M = \frac{l}{\mu_a S}$
4	Ток зичлиги $\vec{j}$	Магнит индукцияси $\vec{B}$
5	Электр майдон кучланганлиги $\vec{E}$	Магнит майдони кучланганлиги $\vec{H}$
6	Солиштирма ўтказувчанлик $\gamma$	Абсолют магнит сингдирувчанлик $\mu_a$
7	Кучланиш $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$	Магнит кучланиш $U_{Mab} = \varphi_{M_a} - \varphi_{M_b} = \int_a^b \vec{H} \cdot d\vec{l}$

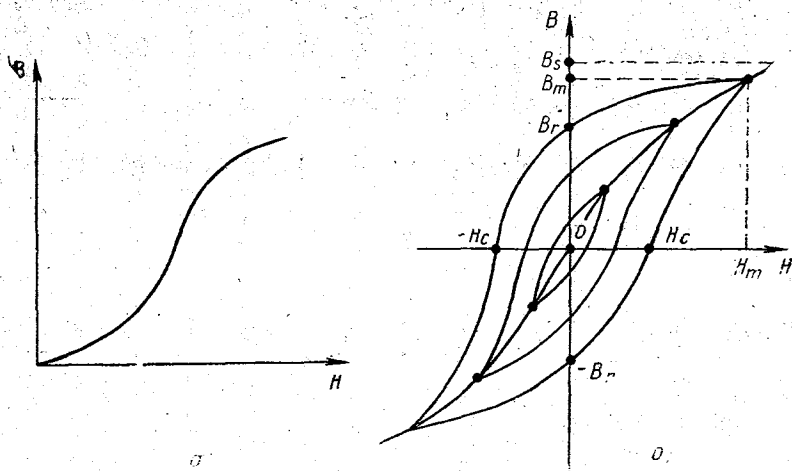
Бу ўхшашликларни ҳисобга олиб электр занжирлари қонуналарини магнит занжирлари учун ҳам ёзишимиз мумкин (3-жадвал).

№	Қонулар	Электр занжири	Магнит занжири
1.	Ом қонуни	$I = \frac{U}{R}$	$\Phi = \frac{U_M}{R_M}$
2.	Кирхгофнинг I қонуни	$\sum I_k = 0$	$\sum \Phi_l = 0$
3.	Кирхгофнинг II қонуни	$\sum I_k R_k = \sum E_l$	$\sum \Phi_k R_{M_k} = \sum F_l$

#### 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 учлари ни 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 яшда 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 тоқлари“ (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. ҲЗГАРМАС МЮК ТАЪСИРИДАГИ МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ

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

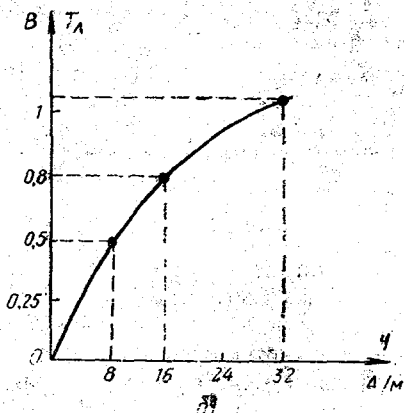
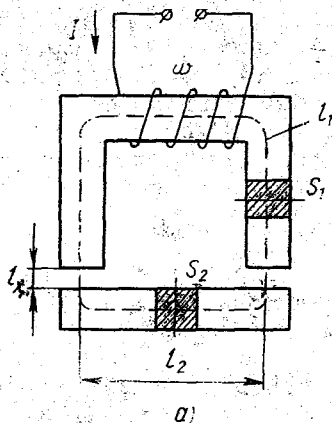
Магнит занжирини синтез қилишда берилган магнит занжирдан ўтаётган магнит оқими маълум бўлиб, унга тегишли МЮК ни топиш керак бўлади. Магнит оқимини  $\Phi$  билан белгиласак, магнит индукцияси ва айрим участкалардаги магнит майдон кучланганлиги қуйидагича аниқланади:

$$H_i = \frac{B_i}{\mu_i} = \frac{\Phi_i}{S_{\mu i}},$$

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

Нагижада МЮК:

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



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, *a* 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:

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

Ҳар бир участканинг индукцияси

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

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

Пермаллойднинг магнитланиш характеристикасидан (4.4- расм, *б*) индукцияларнинг  $B_1 = 0,5$  Тл ва  $B_2 = 0,8$  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

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



#### 4.4. УЗГАРУВЧАН МЮК ТАЪСИРИДАГИ МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ

Агар 4.6-расмдаги магнит занжирга синусоидал кучланиш бериладиган бўлса, у ҳолда чулғамдан ўтаётган ток синусоидал бўлади (4.7-расм, б). Чунки ферромагнит материалнинг магнитланиш характеристикаси гистерезис сиртмоғи бўлишича ўзгаради (4.7-расм, а). Бу занжирдаги ток даврий бўлганлиги учун ферромагнит материал гистерезис сиртмоғи бўлишича 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

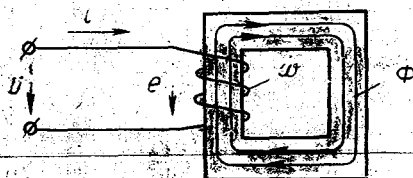
$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t, \quad (4.7)$$

бу ерда

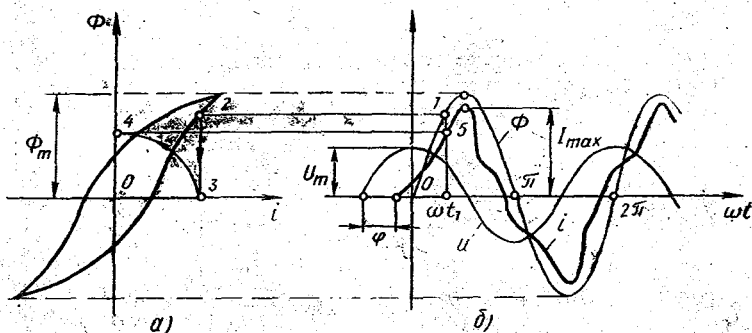
$$\Phi_m = \frac{U_m}{\omega W} = \frac{U}{4,44 f W}.$$

4.7-расмда ферромагнит материалнинг гистерезис сиртмоғини ҳисобга олган ҳолда занжирдаги токнинг ўзгаришини график равишда аниқлаш усули кўрсатилган. Бу ерда  $u$  ва  $i$  орасида фазалар силжиши ҳосил бўлишини кўралишимиз.

Умумий ҳолда, бундай занжирлар учун векторлар диаграммалари



4.6-расм.

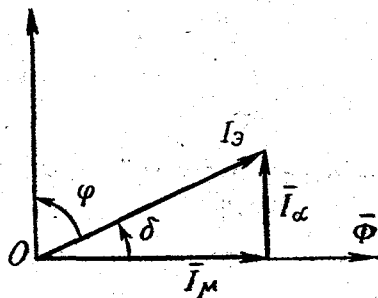


4.7-расм.



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

$$I_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}. \quad (4.8)$$



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 ( $\bar{I}_0$ ) билан кучланиш вектори ( $\bar{U}$ ) орасидаги фазалар силжиши ( $\varphi$ ) актив қувват формуласидан аниқланади:

$$P = U \cdot I_0 \cdot \cos \varphi. \quad (4.10)$$

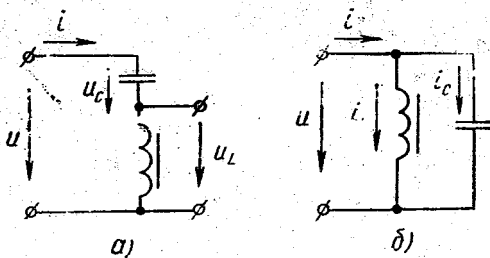
Берилган занжирнинг вектор диаграммаси 4.8- расмда кўрсатилган.

Эквивалент синусоидал ток вектори ( $\bar{I}_0$ ) ни иккита  $I_a$  ва  $\bar{I}_\mu$  ташкил этувчиларга ажратиш мумкин (4.8- расм). Бу ташкил этувчиларни актив ( $\bar{I}_a$ ) ва магнитловчи ( $\bar{I}_\mu$ ) тоқлар 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

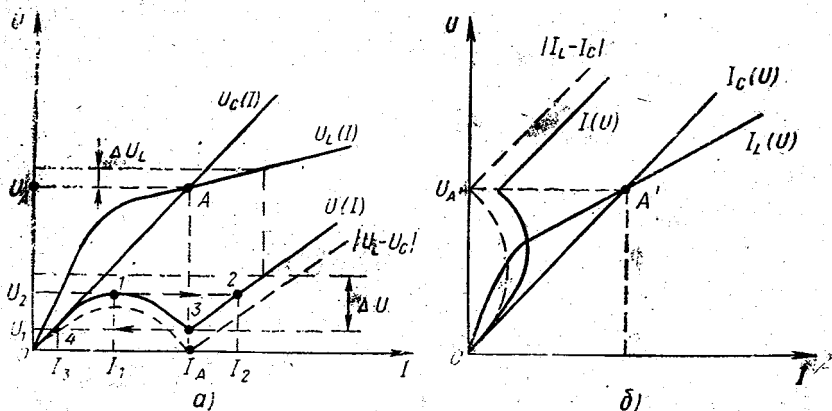
Агар ферромагнит ўзақли ғалтак (чизиқли бўлмаган индуктивлик) ва сиғим ўзаро кетма-кет ёки параллел уланган бўлса, улардан тузилган занжирларда маълум режимларда резонанс ҳодисаси содир бўлади. Бу резонанс чизиқли занжирдаги резонанс ҳодисаларидан фарқ қилади, чунки феррорезонанс ҳодисаси ферромагнит 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.

натijasida 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 ўзақли ғалтак хусусиятига боғлиқ бўлганлиги учун кетма-кет уланган занжирдаги (4.9-расм, а) резонанс ҳодисаси кучланишлар феррорезонанси, параллел улангандагиси эса тоқлар феррорезонанси дейлади. 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 дейлади. Характеристикаларга кўра, занжирга берилган кучланиш  $U$  миқдори секин-аста  $U_2$  гача қупайтирилиб борилса, ток  $I$ , кучланишлар  $U_L$  ва  $U_C$  қиймат-



4.10- расм.

## 5.2. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

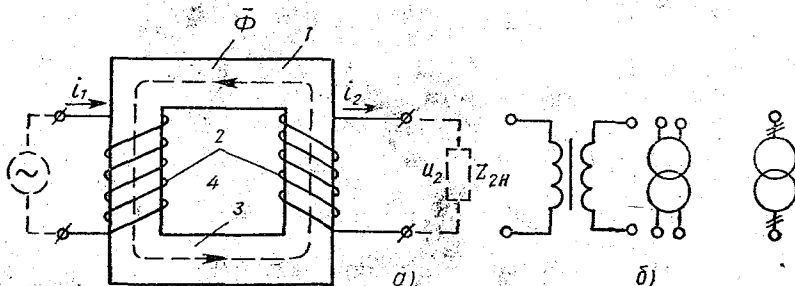
Трансформатор турларининг кўп бўлишига қарамай, уларда бўладиган электромагнит жараёнлар умумий ўхшашликка эга бўлиб, уларнинг ишлаш принципи бир хилдир. 5.2-расмда бир фазали икки чулғамли трансформаторнинг схемаси ва шартли белгиланиши кўрсатилган. Трансформатор пўлат ўзак (магнит ўтказгич) 1 дан ва иккита мис чулғамлар 2 дан иборат. Пўлат ўзакнинг индукцион тоқлар ҳисобига қизиб кетишини камайтириш мақсадида у қалинлиги  $0,35 \div 0,5$  мм бўлган электротехник пўлат пластиналардан йиғилади. Пластиналарнинг икки томонига изоляция лок суртилади 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 ўзак бўйлаб ҳаракатланади. Пўлат ўзакнинг мис чулғамлар ўралган қисми *стержень* дейилади. Трансформаторнинг манбага уланган чулғами *бирламчи*, истеъмолчига улангани *иккиламчи чулғам* дейилади. Шунинг учун бирламчи чулғамга (занжирга) оид катталиқлар 1 индексига эга, масалан, бирламчи чулғамнинг ўрамлар сони  $w_1$ , қисмаларидаги кучланиш  $u_1$ , занжирдаги ток  $i_1$  ва ҳ. к. Шунингдек, иккиламчи чулғамга оид катталиқлар 2 индексига эга, масалан,  $w_2$ ,  $u_2$ ,  $i_2$  ва ҳ. к.

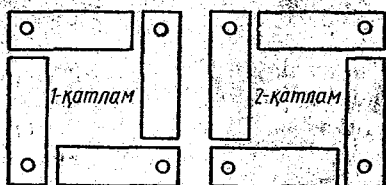
Трансформаторнинг бирламчи чулғамига берилган синусоидал кучланиш ( $u_1 = U_m \sin \omega t$ ) таъсирида чулғамдан ўзгарувчан ток оқиб ўтади. Бу ток трансформаторнинг пўлат ўзагида ўзгарувчан магнит оқими ( $\Phi$ ) ни ҳосил қилади. Чулғамларнинг ўрамларини кесиб ўтаётган бу асосий магнит оқими бирламчи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

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi, \quad (5.1)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi. \quad (5.2)$$



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,  $\alpha$  да кўрсатилган трансформаторнинг иккиламчи чулғамига нағрузка ( $Z_{2н}$ ) уласак, ЭЮК ( $e_2$ ) таъсирида ундан ток ( $i_2$ ) ўта бошлайди. Шундай қилиб, кучланиши  $u_1$ , ток кучи  $I_1$  бўлган манбанинг электр энергияси трансформатор ёрдамида кучланиши  $u_2$  ва ток кучи  $I_2$  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:

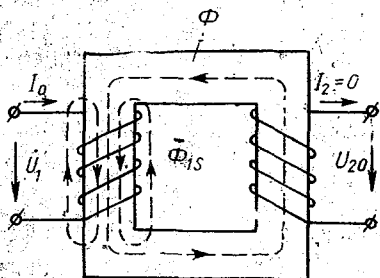
$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

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-касиэ) ишлаш режими дейлади. 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 узак бўйлаб туташувчи асосий магнит оқими  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$  ни ва қисман ҳаво ҳамда пўлат ўзак орқали туташиб тарқалган магнит оқими  $\Phi_{1s}$  ни ҳосил қилади. Бу ўзгарувчан магнит оқимлари ўзининг чулғамларда индукцияланган ЭЮК лари билан қуйидаги боғланишга эга:



5.4- расм.

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

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

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

ёки

$$\begin{aligned} E_1 &= 4,44 f_1 \omega_1 \Phi_m \\ E_2 &= 4,44 f_2 \omega_2 \Phi_m \\ E_{1s} &= 4,44 f_1 \omega_1 \Phi_{1s} \end{aligned}$$

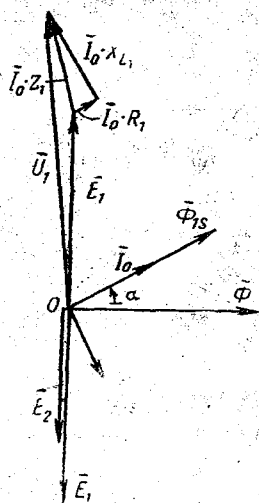
Бирламчи чулғамга берилган кучланиш  $\bar{U}_1$  ЭЮК ( $\bar{E}_1$  ва  $\bar{E}_{1s}$ ) ларни, шунингдек, чулғамнинг актив қаршилиги  $R_1$  кучланишнинг пасайишини компенсация қилади. У ҳолда Кирхгофнинг II қонунига биноан бирламчи чулғам занжирининг электр мувозанат ҳолати:

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

Агар ЭЮК  $\bar{E}_{1s}$  ни чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаяви  $I_0 \cdot X_{L_1}$  билан компенсация қилинади десак ва  $\bar{I}_0 R_1 = -\bar{U}_{R_1}$  бўлса:

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

ёки



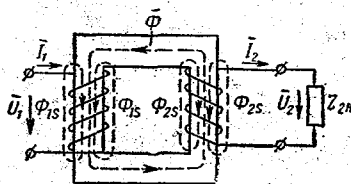
5.5- расм.

(5.6) тенглама ёрдамида трансформатор салт ишлаш режимининг вектор диаграммасини қурамиз (5.5- расм). Бош вектор сифатида ихтиёрий  $O$  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  $\vec{I}_0$  пўлат ўзакдаги қувват (магнит) исрофлари тўғайди магнит оқими  $\Phi$  дан  $\alpha$  бурчакка илгарилаб келади. Магнит оқими  $\Phi_{1s}$  ток  $\vec{I}_0$  билан бир хил йўналишда бўлади. ЭЮК  $\vec{E}_{1s}$  оқим  $\Phi_{1s}$  дан  $90^\circ$  га кечикади. Кучланиш  $\vec{U}_1$  векторини (5.6) тенгламадаги  $\vec{E}_1$  манфий ишорали бўлган учун қарама-қарши томонга йўналтирамиз. Вектор  $\vec{E}_1$  нинг давомига вектор  $\vec{I}_0 R_1$  ни ток  $\vec{I}_0$  йўналишида чизамиз. Сўнгра вектор  $\vec{I}_0 R_1$  га

нисбатан  $90^\circ$  га илгарилувчи бурчак остида вектор  $\vec{I}_0 X_L$  ни чизамиз. Вектор  $\vec{I}_0 X_L$  нинг охиригى учини  $O$  нуқта билан туташтириб, кучланиш вектори  $\vec{U}_1$  ни ҳосил қиламиз. Вектор  $\vec{I}_0 R_1$  нинг бош учини вектор  $\vec{I}_0 X_L$  нинг охири билан бирлаштириб, бирламчи чулғамдаги кучланишнинг тўла ички пасаюви ( $\vec{I}_0 z_1$ ) 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  $E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi_m$  га бйноан асосий магнит оқими  $\Phi$  ни кучланишга пропорционал дейиш мумкин. Салт ишлаш режимида 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  $\vec{U}_1$  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 чулғамнинг магнитловчи кучи  $I_1\omega_1$  шундай ўзгарадики, натижада трансформаторнинг мувозанат ҳолати сақланиб, ўзакдаги асосий магнит оқими  $\Phi$  миқдор жиҳатидан ўзгаришсиз қолади. Бу ҳолда магнитловчи кучлар мувозанати қуйидагича ифодаланади:

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

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

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

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

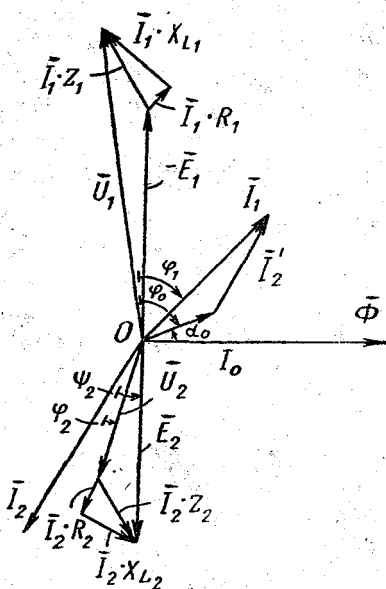
$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}'_2 \quad (5.9)$$

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  $I_0 = (2.5 \div 10\%) \cdot I_{\text{ном}}$  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:  $\bar{U}_2$  — иккиламчи чулғам



5.7- расм.

учларидаги кучланиш;  $I_2 \times R_2 = \bar{U}_{R_2}$  — иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг актив пасайиши;  $E_{2s}$  — тарқалган магнит оқими  $\Phi_{2s}$  туфайли индукцияланган ЭЮК.

$\Phi_{2s}$  иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаяуви  $\bar{U}_{L_2} = \bar{I}_2 \cdot X_{L_2}$  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) тенгламалар 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 охиригى учидан ток  $\bar{I}_2$  га перпендикуляр равишда чизамиз. Чунки иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаяуви ток  $\bar{I}_2$  дан  $90^\circ$  га илгарилаб келади. Сўнгра кучланишнинг актив пасаяуви  $\bar{I}_2 R_2$  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 охиригى учлари билан бирлаштириб иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг тўла ичк и пасаяуви 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  $I_2 = -I_2$  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 уринлидир. Бошқа ҳолларда  $\bar{I}_2$  нинг магнитсизлаш таъсири ортиб кетади.

Қисқа туташув режими. Бу режимда иккиламчи чулғам учлари ўзаро туташиб, ташқи қаршилик  $z_{2n} = 0$  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 „қисқа туташув“ пасайтирилган кучланишларда амалга оширилади.

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

Салт ишлаш тажрибасини ўтказишдан мақсад трансформа-торнинг пўлат ўзагида магнит майдони ҳосил қилиш учун сарф бўладиган қувват исрофи  $P_{\pi}$  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:

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

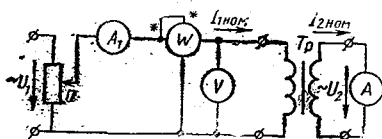
Мис чулғамларининг қизиши салт ишлаш токининг  $I_0^2 R_1 = (0,05 I_{1н})^2 \cdot R_1$  қиймати билан чеклангани учун, ундаги қув-ват исрофини  $P_{\pi} = I_0^2 \cdot R_1 \approx 0$  дейиш мумкин. У ҳолда  $P_0 = P_{\pi}$  бўлади.

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

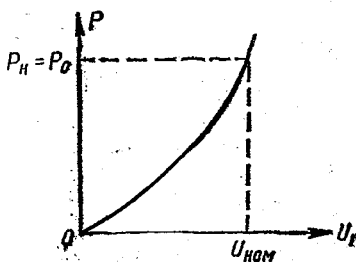
$$z_{10} = \frac{U_1}{I_0}; \quad R_{10} = \frac{P_0}{I_0^2}; \quad X_{10} = \sqrt{Z_{10}^2 - R_{10}^2}.$$

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.

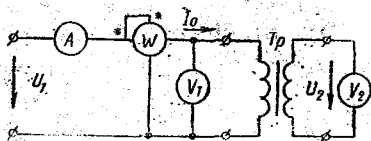
Трансформатор номинал нагрузка билан ишлаганда унинг



5.8. расм.



5.9. расм.



5.10-расм.

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:

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

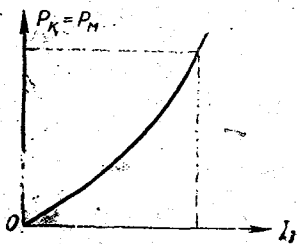
Қисқа туташув кучланиши трансформатор номинал кучланишининг кичик улушини ( $U_k \approx 0,1 U_{1\text{ ном}}$ ) ташкил этгани учун пўлат ўзакдаги қувват исрофи  $P_{\text{п}} \approx 0$  дейиш мумкин. У ҳолда қисқа туташув пайтида ваттметр кўрсатган қувват  $P_k$  мис чулғамларнинг қизишига сарф бўлган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

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

Тажрибадан олинган маълумотлар бўйича трансформаторнинг қисқа туташув параметрларини аниқлаш мумкин:

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

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.

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

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

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

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

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

дейиш мумкин.

Агар трансформаторнинг бирламчи чулғамига бериладиган кучланишни 0 дан  $U_k$  гача ортира борсак, мис чулғамдаги қувват исрофининг токка боғлиқлигини ифодаловчи эгри чи- зик ҳосил бўлади (5.11-расм).

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

Ҳар қандай электр машиналаридаги каби трансформатор- ларда 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 кел- ган пўлат ўзакдаги гистерезис ва уярма токларга сарф бўла- диган 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  $P_k$ .

Булардан  $P_M$  ва  $P_{\Pi}$  асосий исрофлар ҳисобланади. Мис чул- ғамлардаги қувват исрофлари нағрузкага боғлиқ бўлгани учун ўзгарувчан, пўлат ўзакдаги қувват исрофлари  $P_{\Pi}$  эса транс- форматорнинг иш жараёнида ўзгармас (номинал кучланиш че- гарасида) 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.

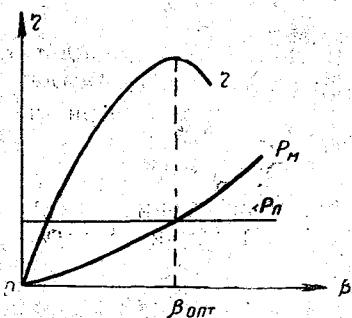
Агар трансформаторнинг фойдали иш коэффицентини унинг қандай юкланганлигини кўрсатувчи юкланиш коэффициенти

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

орқали ифодаласак,

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

$\cos \varphi_2$  — нағрузка қувват коэффицентини,  $S_{\text{ном}}$  — трансформатор- нинг 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  $R_n = P_m$  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 диния 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 ( $u_k$ ), %;
- 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

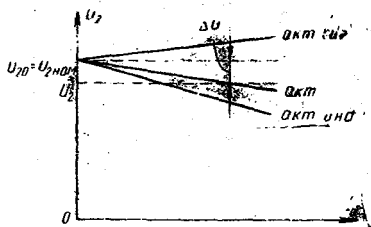
$$I_{1\text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{1\text{ ном}}} [\text{A}]; \quad I_{2\text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{2\text{ ном}}} [\text{A}]. \quad (5.14)$$

Кичик қувватли трансформаторларнинг номинал кучланиши ва токи ҳужжатда кўрсатилган бўлади.

## 5.7. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ТАШҚИ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ВА УНДАГИ КУЧЛАНИШНИНГ УЗГАРИШИ

Бирламчи чулғам кучланиши  $U$ , 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 нарузкаларга оид ташқи характеристикаси кўрсатилган. Хактеристикадан кўринадики, актив нарузкада  $\cos \varphi = 1$ , актив-индуктив нарузкада эса  $\cos \varphi < 1$  ва фаза силжиш бурчаги  $\varphi > 0$  бўлади. Ниҳоят, актив-сигим нарузкада  $\cos \varphi_2 < 1$  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 нарузка билан ишлаётгандаги кучланиш.

Ташқи характеристикадан кўринадики, актив ва актив-индуктив нарузка (истеъмолчи) учун ишлаётган трансформатордаги кучланиш номиналидан доим  $\Delta U$  га кичик, актив-сигим характерли нарузкада эса  $\Delta U$  га ортиқ бўлади. Электр истеъмолчилари, асосан, актив-индуктив характерга эга бўлади.

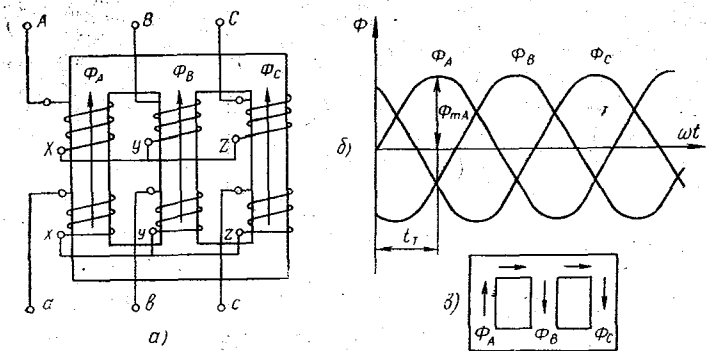
Линиядаги кучланишларнинг пасаювини ҳисобга олиб истеъмолчига ўратиладиган катта қувватли трансформаторларнинг чиқиш томонидаги кучланиши, одатда, номиналдан 5 процент ортиқ қилиб лойиҳаланади.

## 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 тоқлари 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 жойлаш. ирилган. Чулғамлар юлдуз ёки учбурчак схемада уланиши мумкин. Бу бириктириш схемалари тегишлича  $\Delta$  ва  $\Delta$  тарзда белгиланади. Чулғамлар қандай схемада уланишидан қатъи назар бирламчи чулғамнинг бош ( $A, B, C$ ) ва охири ( $X, Y, Z$ ) учлари катта ҳарфлар билан, иккиламчи чулғамнинг бош ( $a, b, c$ ) ва охири учлари ( $x, y, z$ ) кичик ҳарфлар билан белгиланади.

Биринчи ўраладиган чулғамнинг ўралиш йўналиши ихтиёрий, аммо қолган фазаларнинг чулғамлари биринчи ўралган чулғамнинг йўналишида ўралиши керак. Фақат шундагина ай-



5.14- расм.

рим фазалардаги тоқларнинг 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 лаҳзасида учала фаза магнит оқимларининг йиғиндиси доимо нолга тенг. Масалан, 5.14- расм, б даги магнит оқимларининг ўзгариш 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  $\overline{\Phi}_B$  ва  $\overline{\Phi}_C$  ларнинг манфий ярим максимал қийматларга эга бўлиши учала фаза магнит оқимларининг пўлат ўзак бўйлаб қўшилишини (5.14- расм, в) билдиради, яъни

$$\overline{\Phi}_{mA} - \frac{1}{2} \overline{\Phi}_{mB} - \frac{1}{2} \overline{\Phi}_{mC} = 0.$$

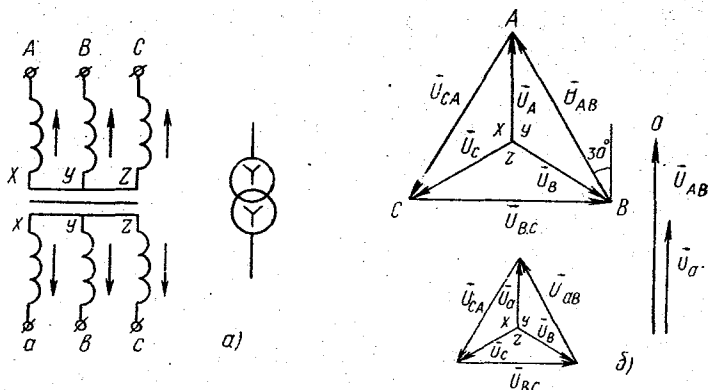
**5.9. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ЧУЛҒАМЛАРИНИ УЛАШ СХЕМАЛАРИ ВА ТУРКУМЛАРИ**

Уч фазали трансформаторлар чулғамларини улаш схемаларини каср тарзида кўрсатиш қабул қилинган. Касрнинг сура-тидаги белги бирламчи чулғамни, махражидаги белги эса иккиламчи чулғамни улаш схемасини билдиради. Масалан, 5.14-расм, а даги уч фазали трансформаторнинг чулғамлари юлдуз/юлдуз схемада уланган бўлиб,  $\Delta/\Delta$  тарзда белгиланади. Агарда юлдуз/учбурчак схемада уланган бўлса,  $\Delta/\Delta$  белги билан кўрсатилади. Амалда, асосан кичик ва ўртача қувватли (тахминан 1800 кВА гача бўлган) трансформаторларнинг иккала чулғамига нисбатан юлдуз усулида улаш схемаси қўлланади. Бундай улашда чулғамларнинг изоляцияси фаза кучланишига ( $U_\phi = U_n/\sqrt{3}$ ), учбурчак схемада уланганда эса линия кучланишига ҳисобланади. Одатда, трансформаторнинг юқори кучланишли чулғами (манба томондаги) юлдуз схемада уланади.

Бунда маълум қийматдаги линия кучланишини олиш қулай ва чулғамнинг ўрамлар сони кам бўлади. Чулғамларни учбурчак схемада улаш катта токларда маъқул бўлгани учун  $\Delta/\Delta$  схема паст кучланиш томони катта қуввагли 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, сўнгра (3.4) ифодага биноан линия кучланишларининг диаграммасини қурамыз. Агар бирламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори  $\bar{U}_A$ , ни соғ мидининг ҳаракат йўналишида  $0^\circ$  га буриб, уни 0 (ёки 12) рақамида турибди десак, иккиламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори  $\bar{U}_b$  ни ҳам ўша йўналишда  $30^\circ$  га бурсак, у ҳам 0 рақамга тўғри келади. Бу, чулғамлар юлдуз/юлдуз схемада уланганла уларнинг уланиш туркуми 0 эканлигини билдиради. Бирламчи ва иккиламчи чулғам учбурчак/учбурчак схемада уланганда  $U_\Delta = U_\Phi$  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 ( $U_A, \bar{U}_{ax} = \bar{U}_a$  ва ҳоказо) фаза бўйича мос тушса 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

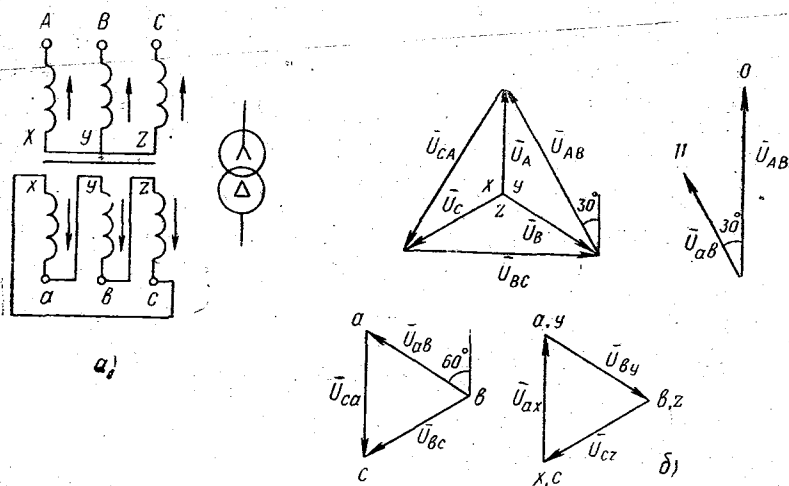


5.15-расм.

(5.15-расм, а ва 5.16-расм, а) чулғамларнинг охириг учларидан бош учларига томон олинган. Чулғам учбурчак схемада уланганда турли фазаларнинг бош ва охириг учлари бир нуқтада бирлашади, масалан, а ва у, b ва z, c ва x. Бу нуқталар орасидаги потенциаллар ўзаро тенг.

Бирламчи чулғамнинг векторлар диаграммасидан кўринадики, 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  $\gamma$  соатнинг 11 рақамига тўғри келади. Демак, бирламчи чулғами юлдуз, иккиламчи чулғами учбурчак схемада уланган уч фазали трансформатор чулғамларининг уланиш туркуми 11 бўлиб, у  $\lambda/\Delta$ —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  $\lambda/\lambda$ —0,  $\lambda/\lambda_0$ —0 ва  $\lambda/\Delta$ —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.

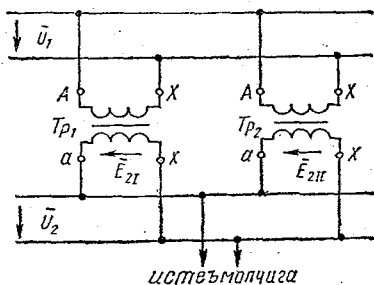
Трансформаторларнинг параллел ишлаши учун қуйидаги шарглар бажарилиши керак:

1. Бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг номинал кучланишлари бир хил бўлиши керак; трансформация коэффициентининг фарқи 0,5% дан ортиб кетмаслиги керак.

2. Қисқа туташиш 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 ишлаётган 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 чулғамлар электр жиҳатдан ўзаро боғланган бўлиб, иккиламчи чулғам бирламчи чулғамнинг 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, чулғамлари мойли бакка туширилган бўлади.

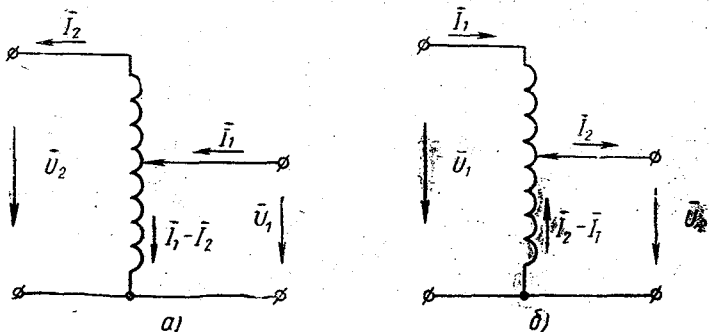
Автотрансформаторлар кучланиш кенг доирада ўзгартириладиган жойларда ишлатилади. Улар кучланишни орттириб ёки пасайтириб беради. 5.18-расм, а ва б да кучланишни орттирувчи ва пасайтирувчи автотрансформаторларнинг схемалари берилган.

Кучланишни орттириб берувчи автотрансформаторнинг (5.18-расм, а) схемасидан кўринадики, бирламчи кучланиш  $U_1$  автотрансформатор чулғамларининг 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 чулғамга берилиб, иккиламчи кучланиш  $U_2$  бутун чулғамнинг бир қисмидан олинмоқда.

Агар чулғамнинг 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 уладиган 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.

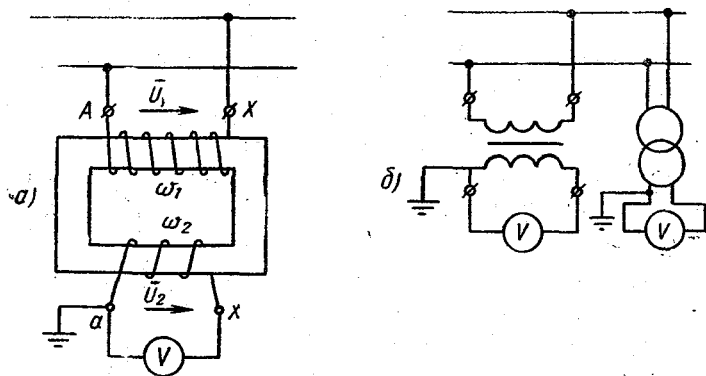
Юқори кучланишли тармоқ ва асбоб-ускуналарни ҳимоя қилиш учун турли ҳимоя релелардан фойдаланилади. Улар ҳам тармоққа ўлчаш асбоблари каби ток ва кучланиш трансформаторлари ёрдамида уланади.

Кучланишни ўлчаш трансформатори. Кучланиш трансформаторининг занжирга уланиш схемаси ва унинг белгиланиши 5.19-расм, *a* ва *б* да кўрсатилган.

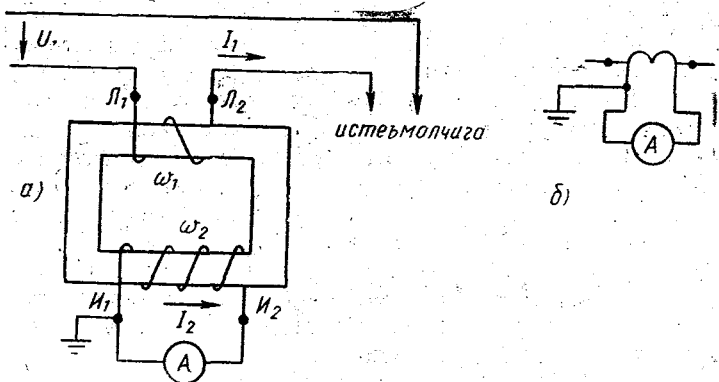
Юқори кучланишли бирламчи чулғамнинг ўрамлари сони  $w_1$  нисбатан кўп бўлиб, тармоққа параллел уланади, яъни ўлчанадиган кучланиш бевосита таъсир эттирилади. Иккиламчи чулғамнинг ўрамлари сони  $w_2$  нисбатан кам бўлиб, унга вольтметр, ваттметр, счётчик ва бошқа асбобларнинг кучланиш ғалтаклаи уланади.

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 коэффициентини:

$$k_U = \frac{U_{1 \text{ ном}}}{U_{2 \text{ ном}}} = \frac{w_1}{w_2}$$



5.19-расм.



5.20- расм.

Ўлчанаётган кучланишнинг ҳақиқий қийматини билиш учун вольтметрнинг кўрсатишини трансформация коэффициенти  $k_U$  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 фалокатнинг 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, сўтчикларнинг тоқли ғалтаклари) кетма-кет уланади.

Ток трансформаторининг занжирга уланиш схемаси ва белгиланиши 5.20-расм, а ва б да кўрсатилган.

Ток трансформаторининг трансформация коэффициенти қуйидагича ифодаланади:

$$k_I = \frac{I_{1 \text{ ном}}}{I_{2 \text{ ном}}} = \frac{w_2}{w_1}.$$

Ўлчанаётган токнинг ҳақиқий қийматини билиш учун амперметрнинг кўрсатишини трансформация коэффициенти  $k_I$  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 катта бўлмайди. Шунинг учун ток трансформатори, кўпинча, қисқа туташув режимида ишлайди. Демак, ток трансформаторларини ишлатишда иккиламчи чулғамга уланган нагруканинг 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.

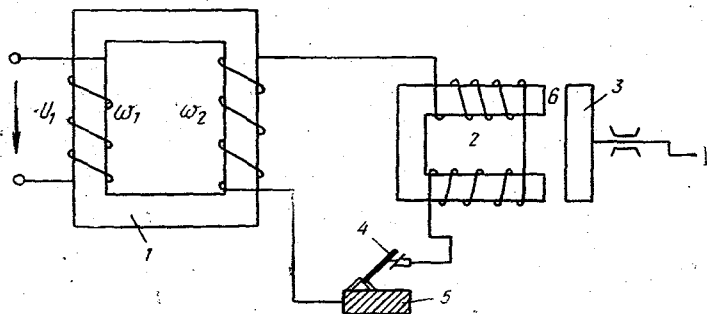
Ток трансформаторлари 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 10 аниқлик синфларига эга.

### 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. Буниг 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 токини чеклайди.

Трансформатор салт ишлаганда  $U_{20} = 60 \div 70$  В, номинал нагрузка билан ишлаганда эса 30 В ни ташкил этади.



5.21-расм.